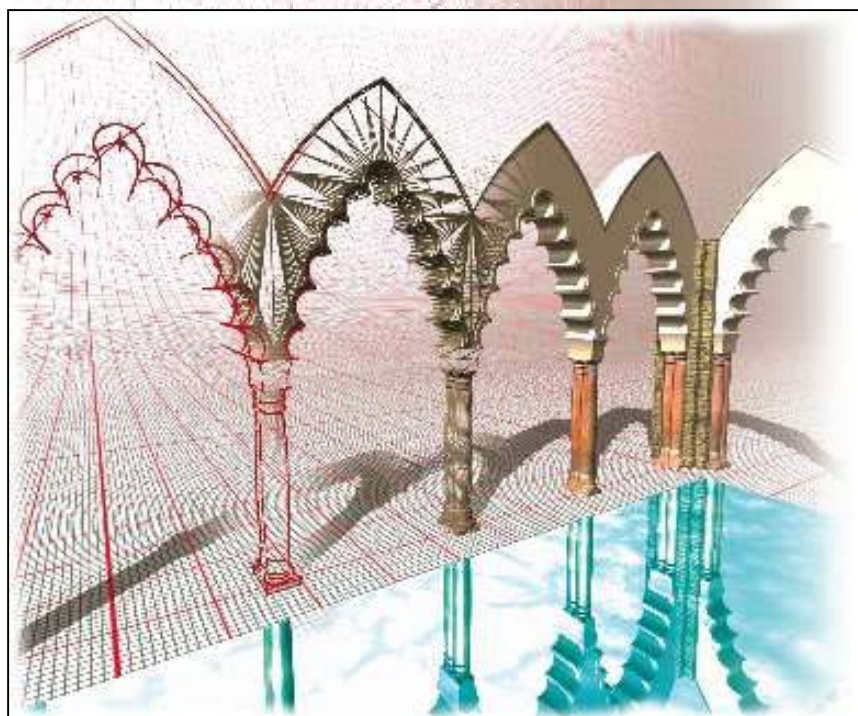


# XVI

## CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

Zaragoza / Huesca  
2, 3 y 4 de junio **2004**

# Actas del congreso



La Proyección  
de la Idea

[www.egrafico.unizar.es/ingegraf](http://www.egrafico.unizar.es/ingegraf)



INGEGRAF

# ÍNDICE TEMÁTICO

## **1. Fundamentos de la ingeniería del diseño**

### **1.1. Los proyectos y obras como símbolos identificativos de un determinado lugar.**

MORENO VARGAS, Francisco; GÓMEZ VARGAS, Juan Carlos

### **1.2. Utilización de sistemas informáticos en la representación gráfica de objetos de cuatro dimensiones.**

SALIDO REGUERA, Manuel; DOMÍNGUEZ SOMONTE, Manuel;  
BERNAL GUE-RRERO, Claudio.

### **1.3. Homología entre cuádricas.**

FERÁNDEZ RODRÍGUEZ Manuel

### **1.4. Análisis de la compacidad de formas poliédricas obtenidas por truncamiento de otras con esfera inscrita.**

SUÁREZ GONZÁLEZ, Jesús; ÁLVAREZ GÓMEZ, José Manuel;  
VEGA MENÉNDEZ, Javier; GANCEDO LAMADRID, Enrique

### **1.5. La estabilidad del vehículo en las curvas: Aspectos geométricos y su influencia en el coeficiente de seguridad.**

TOMAS JOVER, Roberto; BAÑON BLAZQUEZ, Luis;  
FERREIRO PRIETO, Juan Ignacio

### **1.6. Análisis geométrico de la bóveda ojival Tollet.**

INSUA CABANAS, Mercedes; FERNÁNDEZ IBAÑEZ, Isabel



### **1.7. El plano y la geometría de Antoine Petit 1774. Una ventilación efectiva.**

INSUA CABANAS, Mercedes; FERNÁNDEZ IBAÑEZ, Isabel

### **1.8. Análisis de la interpretación de formas expresadas por escrito y gráficamente.**

MARTÍNEZ CASAS, Irene; FADON SALAZAR, Fernando;  
VILLAR DEL FRESNO, Ricardo

### **1.9. El camino hacia las imágenes.**

VARONA SÁNCHEZ, Leonardo; OTERO VILLALOBOS, Emma

### **1.10. Análisis gráfico de obras emblemáticas de Félix Candela.**

ANDRÉS MARTÍN, Francisco Ramón; FADÓN SALAZAR, Fernando

### **1.11. Diseño en base a reglas con Unigraphics NX.**

SANZ ARRANZ, Juan Manuel; RODRÍGUEZ ALONSO, Jorge;  
PRADANOS DEL PICO, Roberto; GOBERNADO ALVAREZ, Eva M<sup>a</sup>

### **1.12. Modelado geométrico del casco de un buque.**

PÉREZ ARRIBAS, Francisco

### **1.13. Studio sull'impiego dell'algoritmo della suddivisione della tangente, per ottenere la tracciatura di curve del 2° ordine diverse dalla circonferenza.**

DE FRANCHIS Michele, CALANDRINO Massimiliano, GANCIAntonino,  
BATTISTA RINALDI Giovanni

## **2. Metodología y Técnicas**

### **2.1. Aplicación de la metodología del diseño al desarrollo de sistemas de iluminación óptica basados en Leds**

CASADO LOU, Jose Luis; TORRES PORTERO, Miguel Ángel

### **2.2. Método geométrico para la construcción de cónicas, con centro o foco dado, en la representación de Bézier.**

SÁNCHEZ-REYES FERNANDEZ, Javier; DORADO VICENTE, Rubén

### **2.3. Reconstrucción virtual del rodezno típico de los molinos hidráulicos del altiplano bastetano (baza, granada).**

DOMENE GARCÍA, Julián; ROJAS SOLA, José Ignacio

### **2.4. Normalización gráfica de las uniones estructurales mediante adhesivos.**

ARENAS REINA, José M.; GONZÁLEZ GAYA, Cristina;  
GUILLAMÓN INSA, Antonio; SEBASTIÁN PÉREZ, Miguel A.

### **2.5. Diseño e ingeniería naval. Optimización técnico-económica del proyecto.**

LEICEAGA BALTAR, Xoan A.; PRIETO VILLAR, José;  
RODRÍGUEZ PÉREZ, Manuel; GONZÁLEZ ZAPATERO, Fernando;  
SOTO RODRÍGUEZ, Eva; TEIJEIRO OTERO, Mario; DÍAZ LÓPEZ, Juan José

### **2.6. La arqueología industrial aplicada a la fábrica de San Gonzalo de Linares.**

LUPIAÑEZ CRUZ, Patricio; ROJAS SOLA, José Ignacio

### **2.7. Diseño del mecanismo de un simulador ecuestre.**

GARCIA MATÉ, Esteban; BAÑOS GARCIA, M<sup>a</sup> Esther;  
RAMOS BARBERO, Basilio; MELGOSA PEDROSA, Carlos; RUIZ CALVO Justo

## **2.8. Desarrollo de un sistema de visión estereoscópica aplicado a los estudios geológicos.**

SUÁREZ QUIRÓS, Javier; MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago;  
RUBIO GARCÍA, Ramón; GALLEGOS SANTOS, Ramón

## **2.9. Evolución del diseño de las almazaras en Jaén.**

MATA ALBENDEA, Miguel; ROJAS SOLA, José Ignacio

## **2.10. Propuesta de arquitectura para la generación interactiva de entornos colaborativos de realidad virtual para el Campus Virtual del G9.**

RUBIO GARCÍA, Ramón; SUÁREZ QUIRÓS, Javier;  
GALLEGOS SANTOS, Ramón; MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago

## **2.11. Nuevas aplicaciones de software semiautomático de moldes de inyección.**

CLAVERIA AMBROJ, Isabel; JAVIERRE LARDIÉS, Carlos;  
FERNÁNDEZ CUELLO, Ángel; CASTANY VALERI, Javier

## **2.12. Interfaz para el manejo de aplicaciones de diseño asistido por ordenador mediante dispositivos captadores de voz.**

LÁZARO CAÑEDO-ARGÜELLES, Eugenio; DOMÍNGUEZ SOMONTE, Manuel

## **2.13. Situación actual de la enseñanza de CAD en la universidad española.**

GALLEGOS SANTOS, Ramón; RUBIO GARCIA, Ramón;  
SUÁREZ QUIRÓS, Javier; MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago

## **2.14. Diseño de mobiliario urbano siguiendo la metodología de Ecodiseño.**

CAMPO RÁMILA, Francisco Jesús; FERNÁNDEZ ALCALÁ, Jose María;  
ARIAS COTERILLO, Agustín

## **2.15. Corrección de la perspectiva en la fotografía.**

HERNÁNDEZ ABAD, Francisco; HERNÁNDEZ ABAD, Vicente;  
OCHOA VIVES, Manuel; FONT ANDREU, Jordi; SELLARÉS CAMPRUBÍ, Marc

**2.16. Determinación de los parámetros de proceso industrial y su utilización en el análisis de tolerancias en ensamblajes en el CAT (Computer Aided Tolerancing).**

MELGOSA PEDROSA, Carlos; RAMOS BARBERO, Basilio;  
PELÁEZ VARA, Jesús; GARCÍA MATÉ, Esteban; BAÑOS GARCÍA, Esther

**2.17. Cad modelling and virtual simulation of an aircraft door mechanism.**

E. Pezzuti, G. Piscopo, A. Ubertini, P.P. Valentini, L. Vita

**2.18. Simulación en el marco de un sistema PDM de un proceso integrado de diseño en 3d y fabricación siguiendo la lógica de un sistema MRPII.**

DEL RIO CIDONCHA, M<sup>a</sup>Gloria; MARTINEZ PALACIOS, Juan;  
MARTINEZ VIVAS, Rafael

**2.19. Automatizacion de tareas utilizando VISUAL BASIC en el modelado de solidos con CATIA V5R9.**

DEL RIO CIDONCHA, M<sup>a</sup>Gloria; MARTINEZ PALACIOS, Juan;  
ORTUÑO ORTIZ, Francisco

**2.20. Intercambio de modelos solidos entre distintos sistemas de CAD mediante el formato neutro Step.**

DEL RIO CIDONCHA, M<sup>a</sup>Gloria; MARTINEZ PALACIOS, Juan;  
RONQUILLO JAPON, Mariano

**2.21. Interfaces Hapticos. Aplicacion en entornos virtuales.**

MARTIN DOÑATE Cristina

**2.22. Integración de diseño y fabricación en entornos de Ingeniería Concurrente: Iniciativas para la mejora del proceso de desarrollo de productos.**

MARTIN DOÑATE, Cristina; RUBIO PARAMIO, Miguel Angel

**2.23. Diseño e implementación de una visita multimedia a una central de hormigón.**

HERNANDEZ ALBALADEJO, Mariano

## **2.24. La documentación gráfica en el plan de calidad de obra (PCO) de ingeniería civil.**

R. Tomás, L. Bañón, M.C. Díaz, J.I. Ferreiro, M. Jaúregui, M.T. Pérez, R.E. Pigem, E. Sentana, I. Sentana

## **2.25. Reconstrucción virtual de un ecosistema del Cretácico Inferior en Teruel.**

LOPEZ GOMEZ, Carmelo; ALCALA MARTINEZ, Luis;  
BERGES MURO, Luis; YOLDI HERNANDEZ, Víctor;  
COBOS PERIAÑEZ, Alberto; ROYO TORRES, Rafael

## **2.26. Dos formas de representar la misma realidad: trazados y geometría descriptiva. Su representación en el tiempo.**

ORTEGA SUCA, Antonio; ROJAS SOLA, José Ignacio;  
ORTEGA MONTORO, Amelia; ORTEGA MONTORO, Antonio

## **2.27. Sistema de modelización automática de tuberías industriales normalizadas.**

BERNAL GUERRERO, Claudio; DOMINGUEZ SOMONTE, Manuel;  
SALIDO REGUERA, Manuel

## **2.28. Visualización en Tiempo Real de la Locomoción Humana.**

BALDASSARRI, Sandra; SERON ARBELOA, Francisco José

## **2.29. Implicaciones de la norma UNE166000 sobre la gestión de proyectos.**

BELLO GARCÍA, Antonio; RODRÍGUEZ MONTEQUÍN, Vicente;  
MESA FERNÁNDEZ, José Manuel; ORTEGA FERNÁNDEZ, Francisco;  
ROQUEÑÍ GUTIERRES, Nieves

## **2.30. Aplicación del modelado paramétrico al diseño industrial.**

LÓPEZ SOTO, Jaime; RAMÍREZ LÓPEZ-PARA, Pilar;  
CARO RODRÍGUEZ, José Luis

## **2.31. La proyección estereográfica de una cuádrlica como sistema de representación (I): Fundamentos y definición.**

PASCUAL ALBARRACÍN, M<sup>a</sup> Esther

### **2.32. La proyección estereográfica de una cuádrlica como sistema de representación (II): Resolución de problemas fundamentales.**

PASCUAL ALBARRACÍN, M<sup>a</sup> Esther

### **2.33. Curved photon mapping : beyond the curved ray tracing algorithm.**

MUÑOZ ORBAÑANOS, Adolfo; GUTIERREZ PEREZ, Diego;  
JIMENEZ CHAPRESTO, Eduardo; SERON ARBELOA, Francisco José

### **2.34. Establecimiento de la cadena de cotas funcionales en conjuntos mecánicos.**

SERRANO MIRA, Julio; ROMERO SUBIRÓN, Fernando;  
BRUSCAS BELLIDO, Gracia M<sup>a</sup>

### **2.35. Rilievi antropometrici tramite tecniche di reverse engineering per la personalizzazione di prodotto.**

DE NAPOLI, Luigi; MUZZUPAPPA, Maurizio; TAVANO, Massimiliano

### **2.36. S·E·K·E·R: Tone reproduction based on the Human Visual System.**

ANSON LOPEZ, Oscar; GUTIERREZ PEREZ, Diego;  
SERON ARBELOA, Francisco José

### **2.37. Aplicación de la informática en la actividad de proyectos. Una innovación tecnológica.**

CORUGEDO MÉNDEZ, Angel Alberto

### **2.38. Diseño de pilares trenzados de sección variable.**

DELGADO OLMOS, Angel Humberto; MARQUEZ GARCIA, M. Luisa

### **2.39. Superficies regladas controladas por puntos. Unión y contracción del modelo. Aplicación al diseño de una cubierta singular.**

DELGADO OLMOS, Ángel Humberto (1); MÁRQUEZ GARCÍA, M. Luisa (2)

## **2.40. Estudio y funcionamiento virtual de una instalación de calefacción por suelo radiante.**

DE CÓZAR MACÍAS, Óscar D.; LADRÓN DE GUEVARA LÓPEZ, Isidro, CASTILLO RUEDA, Francisca J.

## **2.41. Interpretación 3D de murallas Fenicio-Púnicas.**

MANZANO AGUGLIARO, Francisco; PACHON VEIRA, Ramón Francisco

## **2.42. Combinación de un modelo de malla y CAD para describir la ventilación natural en invernaderos.**

JIMÉNEZ HORNERO, Francisco José; HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael; GUTIÉRREZ DE RAVÉ AGÜERA, Eduardo; GIRÁLDEZ CERVERA, Juan Vicente

## **2.43. Diseño, análisis y tratamiento informático de las losas alabeadas de espesor variable.**

DELGADO OLMOS, Angel H.; MÁRQUEZ GARCÍA, Maria Luisa; RODRÍGUEZ RUIZ, Francisco de Asís; ESCUTIA RECIO, María Teresa

## **2.44. El modelado analítico-paramétrico frente a la creación gráfica directa. Ventajas e inconvenientes.**

DELGADO OLMOS, Angel H.; MÁRQUEZ GARCÍA, Maria Luisa; RODRÍGUEZ RUIZ, Francisco de Asís

## **2.45. Aproximación de superficies de aperos agrícolas mediante splines de base.**

GUTIERREZ DE RAVÉ, Eduardo; MUÑOZ PIORNO, José M.; AGÜERA VEGA, Juan; HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael E.; GIRÁLDEZ CERVERA, Juan V.

## **2.46. Representación gráfica de la evolución en las almazaras, entre 1850 y 1950, mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (DAO).**

LÓPEZ DE HERRERA, J.Carlos; GÓMEZ-ELVIRA GONZÁLEZ, Miguel Ángel; ROJAS SOLA, José Ignacio



## **2.47. Automatización de procesos para Solid Edge.**

APERIBAY MAIZTEGUI, Víctor ; MARTIN AMUNDARAIN, Iñaki ;  
SAN MARTÍN DÍAZ, José Javier ; ALONSO GIRÓN, Jesús M<sup>a</sup> ;  
ARRIETA ALBIZU, José M<sup>a</sup>; JIMÉNEZ ARABOLA, Mikel ;  
PEREZ MANSO, Ángel

## **2.48. Métodos de generación en el diseño de superficies de estilo - construction methods in surface styling.**

MINGUEZ GABIÑA, Rikardo; ARIAS COTERILLO, Agustín;  
BARRENETXEA APRAIZ, Lander; SIERRA URIA, Egoitz

## **2.49. Concepto de calidad en el diseño de superficies de estilo - Quality concept in surface styling.**

MINGUEZ GABIÑA, Rikardo; RUIZ RUIZ, Javier; ISPIZUA ANDUIZA, Rafael;  
GOROZIKA BIDAURAZAGA, Jokin

## **2.50. Levantamiento topográfico de la sección longitudinal de la iglesia catedral de Guadix (Granada).**

MARTÍNEZ RUIZ, Alfonso; VALDERRAMA ZAFRA, Jose M.;  
CASTRO GUZMÁN, Pedro

## **2.51. Proceso de diseño industrial dentro del contexto del desarrollo de producto.**

TRESSERRAS PICAS, Josep; VERDAGUER PUJADES, Narcis;  
ESPINACH ORUS, Xavier; JULIÁN PÉREZ, Fernando

## **2.52. Las maquetas y los modelos tridimensionales como auxiliares didácticos para la enseñanza de la topografía y el riego.**

PAZ GÓMEZ, Oscar; MÁRQUEZ GURRI, Raimundo;  
BROWN MANRIQUEZ, Oscar; SEMIONOVNA BABIY, Larisa

## **2.53. Los modelos digitales de terreno aplicados a la investigación histórica: Un vuelo por la costa de granada hace 6.000 años.**

ALDAYA GARCÍA, Víctor P.; MOLERO MELGAREJO, Fco. Emilio

**2.54. Programa de dibujo para la Ingeniería Eléctrica.  
Un diseño curricular.**

RAMÍREZ VALLVEY, Jorge; MORCIEGO GARCÍA, Carlos

**2.55. Stereo vision and laser stripers for three-dimensional surface measurements.**

BARONE, Sandro; BRUNO, Andrea

**2.56. Análisis del producto vs. Decisiones sobre el diseño.**

TRONCOSO SARACHO, José Carlos; ALONSO RODRÍGUEZ, José Antonio

**2.57. Metodología para la implantación del análisis de valor en el diseño de producto en Pymes.**

CERQUEIRO PEQUEÑO, Jorge; LÓPEZ PÉREZ, Luís;  
PATIÑO BARBEITO, Faustino; POSE BLANCO, José

**2.58. El Proyecto WEBD: aplicación de los gráficos WEB3D en la ingeniería.**

MARTÍNEZ MUNETA, M. L.; ROMERO REY, G.; FÉLEZ MINDÁN; J.

**2.59. Mejora de la calidad en el proceso de diseño mediante la identificación de problemas de fabricación y montaje.**

LÓPEZ PÉREZ, Luis; CERQUEIRO PEQUEÑO, Jorge;  
PATIÑO BARBEITO, Faustino; POSE BLANCO, José

**2.60. Un programa para dibujo de Ingeniería Química.**

VIDAL AGUILAR, Enrique; MORCIEGO GARCÍA, Carlos E.

**2.61. Control metrológico en planta de los valores de diseño de una pieza.**

ZUBIAURRE EIZAGUIRRE, Verónica; FERNANDEZ SORA, Alberto;  
GARCES TEBAR, Antonio.

**2.62. Vuelo virtual integral por La Rioja.**

SANTAMARÍA PEÑA, Jacinto; SANZ ADÁN, Felix; DIEZ LEGLISE, Fransua

## **2.63. A reverse engineering methodology to capture complex shapes.**

BARONE, Sandro; RAZIONALE, Amrnado Viviano

## **3. Aplicaciones y desarrollos.**

### **3.1. La representación gráfica de variables regionalizadas. Aplicación al estudio de distribución de una plaga.**

MORAL GARCÍA, Fco. Jesús; GUTIÉRREZ DE RAVÉ AGÜERA, Eduardo;  
HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael

### **3.2. Caracterización geomorfológica y geométrica de los movimientos de ladera. Estudio del deslizamiento de la carretera del molinar (Alcoy, Alicante).**

R. Tomás; L. Bañón; A. Cuenca; J. Delgado; C. Doménech

### **3.3. Diseño de un modelo geológico-geotécnico 3D de la Vega Baja del río Segura (Alicante, España)**

R. Tomás; A. Cuenca; J. Delgado; C. Doménech

### **3.4. Imagen y Ortofoto, elementos clave en la representación de eventos en el territorio, mediante la utilización de técnicas GIS.**

PUEYO ECHEVARRÍA, Javier; LARRAZ DUERTO, Carlos

### **3.5. Aplicación de la Ingeniería Gráfica en la Investigación de Yacimientos y la Planificación Minera.**

TORAÑO ÁLVAREZ, Javier; RODRÍGUEZ DÍEZ, Rafael; RIVAS CID, José M.;  
PELEGRY CUESTA, Ángel

### **3.6. Creación de entornos 3D para un simulador de conducción de automóviles.**

MORER CAMO, Paz; NAYA VILLAVERDE, Miguel Angel;  
MONZÓN GÓMEZ, Luis

### **3.7. Diseño de elementos volumétricos para el tratamiento de residuos en la industria del automóvil.**

SENTANA GADEA, Irene; SENTANA CREMADES, Eloy; PÉREZ CARDA, Jorge

### **3.8. Generación de Cartografía de usos de suelo mediante la segmentación de imágenes digitales a partir de la caracterización de texturas.**

RUIZ LENDINEZ, Juan José; RUBIO CAMPOS, Tomas Jesús

### **3.9. Desarrollo de una aplicación para la consulta de expedientes de obras hidráulicas e información gráfica asociada sobre un sistema de información geográfica.**

MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago; SUÁREZ QUIRÓS, Javier;  
GALLEGO SANTOS, Ramón; RUBIO GARCÍA, Ramón

### **3.10. Empleo de la Cartografía y base de datos gráfica catastral en los trabajos relativos a la actualización del Inventario de Bienes Inmuebles del Estado.**

RUIZ LENDINEZ, Juan José; BLAZQUEZ PARRA, E. Beatriz

### **3.11. An itegrated methodology to improve the design of wings.**

E. Pezzuti, A. Ubertini, P.P. Valentini, L. Vita

### **3.12. Diseño y desarrollo de una máquina por medidas antropométricas.**

E. PEZZUTI; A. UBERTINI; G. SOLA; P.P. VALENTINI; L. VITA

### **3.13. Incorporación de características de relieve a las clasificaciones de vegetación realizadas con imágenes LANDSAT 7 ETM+.**

ALVAREZ DE PRADO, Laura; VALLE FEIJÓO, Miryam Elena

### **3.14. Monitorización gráfica de procesos industriales mediante termografías.**

BELLO GARCÍA, Antonio; MENÉNDEZ FERNÁNDEZ, César;  
DE COS JUEZ, Javier; RODRÍGUEZ MONTEQUÍN, María Teresa

### **3.15. Obtención de curvas fotométricas desde diagrama polar. Aplicación de programa de CAD.**

LÓPEZ LÓPEZ, Antonio; DURÁN MOZO, Fco. Félix

### **3.16. Cubicación de tierras mediante perfiles. Influencia de algunos factores como la morfología del terreno y la distancia entre perfiles.**

AGUILAR TORRES, Manuel Ángel; SANCHEZ LOPEZ, Jaime Antonio;  
AGÜERA VEGA, Francisco; AGUILAR TORRES, Fernando José;  
CARVAJAL RAMIREZ, Fernando

### **3.17. Modelización Virtual de Entornos Urbanos con Herramientas SIG.**

REBOLLO CASTILLO, Javier; RODRIGUEZ GORDILLO, Manuel de la Cruz;  
MORILLO BARRAGAN, Juan

### **3.18. Valutazione dell'usabilita' di prodotti industriali in ambiente virtuale.**

BRUNO, Fabio; DE NAPOLI, Luigi; MATTANÒ Rosa Maria;  
MUZZUPAPPA Mauricio

### **3.19. Estudio de un caso de modelado paramétrico: Diseño de un dispositivo de sujeción-liberación aplicable en ensayos de micro-gravedad.**

CAPPELLARI, Fernando; STAFFOLANI, Pedro; LIFSCHITZ, Luís; BRITO, Hector

### **3.20. Bastidor para filmación estereoscópica.**

VALERO RUIZ, Carlos; GONZALEZ GIL, Alfredo; MARCO RUBIO, Javier;  
OLIVEROS COLAY, Maria; BERGES MURO, Luis; TORRES LEZA, Fernando;  
HUERTAS TALON, José

### **3.21. Estudio de la evolución de la línea de costa entre Almería y Retamar mediante la integración de diferentes fuentes de información en un SIG.**

MANZANO AGUGLIARO, Gil; MUÑOZ GUILLEN, Andrés;  
MANZANO AGUGLIARO, Francisco

### **3.22. Digitalización rápida de modelos: métodos, instrumentos, estrategias de digitalización y análisis de la precisión obtenida mediante un sensor láser por triangulación.**

SANTOLARIA MAZO, Jorge; AGUILAR MARTÍN, Juan José;  
LOPE DOMINGO, Miguel Ángel; YAGÜE FABRA, José Antonio;  
ROYO SÁNCHEZ, Jesús; PUERTAS ERAUSO, Jorge

### **3.23. Diseño y simulación numérica de asiento de avión comercial.**

SUÁREZ RIVERO, José P.; HERNÁNDEZ RÍOS, Víctor

### **3.24. Técnicas de prototipado rápido.**

SANCHEZ JIMENEZ, F. Javier; FERNANDEZ DE LA PUENTE, Arturo;  
LLORENTE GENIZ, Julian

### **3.25. Segmentación de elementos lineales de comunicación para su generalización en cartografía.**

REINOSO GORDO, Juan Fco.; PASADAS FERNÁNDEZ, Miguel;  
ARIZA LÓPEZ, Fco. Javier; GARCÍA BALBOA, José Luis

### **3.26. Semiótica aplicada a la creación de interfaces usuario-producto en el diseño industrial.**

GARCÍA HERNÁNDEZ, César

### **3.27. La cartografía aplicada a la representación de las obras públicas españolas en el siglo XVIII.**

SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de; GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio;  
LEÓN CASAS, Miguel Ángel

### **3.28. Integración de la información medioambiental disponible del Parque Natural Sierra de Hornachuelos, en un SIG enfocado al sector apícola.**

HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael E.; GUTIÉRREZ DE RAVÉ AGÜERA, E.;  
MORAL GARCÍA, Francisco Jesús; JIMÉNEZ HORNERO, Francisco J.;  
SERRANO JIMÉNEZ, Salud.

### **3.29. Aplicación del GPS al control de la cartografía catastral de urbana.**

MANZANO AGUGLIARO, Francisco; MONTERO RODRIGUEZ, Miguel Ángel;  
MANZANO AGUGLIARO, Gil

### **3.30. Diseño del proceso de generación de energía eléctrica de origen eólica y su almacenamiento en forma de hidrógeno.**

SAN MARTÍN DÍAZ, José Javier; APERRIBAY MAIZTEGUI, Víctor;  
MUÑOZ PÉREZ, Iván; ALONSO GIRÓN, Jesús M<sup>a</sup>; JIMÉNEZ GUIASOLA,  
Tomás; PÉREZ MANSO, Ángel; OLEAGORDIA AGUIRRE, Iñigo

### **3.31. Metodología para la determinación de un punto de la superficie topográfica en sombra o iluminado. Modelo matemático y aplicación informática.**

MARTÍNEZ GARCÍA, José; MONTES TUBIO, Francisco;  
BURGOS LADRÓN DE GUEVARA, Enrique; CARRANZA CAÑADAS, Pilar;  
MARTÍNEZ RUEDA, Javier

### **3.32. Planificación de inversiones en infraestructuras viarias mediante sistemas de información geográfica.**

SOTO FERNÁNDEZ, Francisco; SANTAMARÍA PEÑA, Jacinto;  
SANZ ADÁN, Felix

### **3.33. Aplicaciones de lógica difusa en Ingeniería gráfica.**

ALONSO RODRÍGUEZ, José Antonio; TRONCOSO SARACHO, José Carlos

### **3.34. Aspectos histórico - gráficos de una observación a escala intercontinental: las instrucciones del cosmógrafo López de Velasco.**

ESTEVE SECALL, Carlos E.

### **3.35. Distribución de redes de servicios energéticos mediante sistema CAD.**

TURON RODRIGUEZ, Carlos; GOMIS SANCHEZ, Jordi



### **3.36. Apoyo de campo con GPS para la obtención de una ortofotografía color 1:10.000 de Andalucía.**

AGUILERA UREÑA, María Jesús; GÓMEZ MOLINA, Alfonso,  
MEROÑO DE LARRIVA, José Emilio

### **3.37. Estimación de la ondulación del geoide en Andalucía.**

AGUILERA UREÑA, María Jesús; GARCÍA CASTILLO, Rafael;  
GÓMEZ MOLINA, Alfonso; JIMÉNEZ BERNI, José Antonio;  
MEROÑO DE LARRIVA, José Emilio

### **3.38. G-Map Una aplicación multiplataforma para topografía con GPS.**

JIMÉNEZ BERNI, José Antonio; AGUILERA UREÑA, M<sup>a</sup> Jesús;  
LÓPEZ HERNANDEZ, Manuel; MEROÑO DE LARRIVA, José Emilio

### **3.39. Problemática de la integración de información digital a distintos niveles de escala.**

CASTILLEJO GONZÁLEZ, I. L.; SÁNCHEZ DE LA ORDEN, M.;  
GARCÍA-FERRER PORRAS, A.

### **3.40. Diseño del mecanismo de un simulador ecuestre.**

GARCIA MATÉ, Esteban; BAÑOS GARCIA, M<sup>a</sup> Esther;  
RAMOS BARBERO, Basilio; MELGOSA PEDROSA, Carlos; RUIZ CALVO, Justo

## **4. Complementos.**

### **4.1. Una propuesta para la enseñanza de la Expresión Gráfica**

CARDENAS CARDENAS, Ramón R; ALFONSO PARDO, José A

### **4.2. Desarrollo de la geometría descriptiva en el siglo XIX.**

ALTEMIR GRASA, José M<sup>a</sup>

### **4.3. Optimización de periféricos de entrada en el manejo de programas de diseño asistido por ordenador. Uso de filtros en programas CAD.**

VALLE FEIJÓO, Miryam Elena; ALVAREZ DE PRADO, Laura

### **4.4. Nuevos planteamientos metodológicos en la enseñanza de la geometría. Geometría Dinámica con CABRI.**

GOMEZ GABALDON, José Arquímedes

### **4.5. Experiencias en la formación universitaria sobre las tecnologías y aplicaciones del actor virtual.**

LÓPEZ GÓMEZ, Carmelo; ROYO VÁZQUEZ, Emilio;  
OLIVEROS COLAY, María José; YOLDI HERNÁNDEZ, Víctor

### **4.6. Estudio para el diseño de contenidos de Geometría para Ingenieros.**

SENTANA GADEA, Irene; SENTANA CREMADES, Eloy;  
SERRANO CARDONA, Manuel; TOMÁS JOVER, Roberto;  
PIGEM BOZA, Ricardo; GOMEZ GABALDÓN, Arquímedes;  
PEREZ CARRION, M<sup>a</sup> Teresa; DIAZ IVORRA, Carmen;  
FERREIRO PRIETO, Ignacio; POVEDA PÉREZ, J.L.; MARTINEZ SENTANA, A

### **4.7. Dibujo electrónico y su normalización: Aplicación mediante software de diseño.**

LLORENTE GENIZ, Julián; MATEO CARBALLO, Fernando;  
SANCHEZ JIMENEZ, Javier

### **4.8. Características geométricas de las microcurvas Apolonio-Soddy.**

RODRÍGUEZ GORDILLO, Manuel de la Cruz

### **4.9. Enseñanza de la visualización de piezas como resolución de problemas.**

GARMENDIA MUJICA, Mikel; GISASOLA ARANZABAL, Jenaro;  
GOROZIKA BIDAURAZAGA, Jokin

#### **4.10. Adaptación de la docencia de materias gráficas al nuevo cómputo de créditos ECTS.**

PEREZ CARRION M.T.; SERRANO CARDONA, M.; FERREIRO PRIETO J.I.; TOMÁS JOVER R.; PIGEM BOZA, R.

#### **4.11. Ingeniería Gráfica: Proyectos Virtuales en la Escuela de Caminos de Granada.**

ALDAYA GARCÍA, Víctor Pablo; LEÓN CASAS, Miguel Ángel

#### **4.12. Web-3D Technologies in e-learning application for Engineering Drawing.**

RIZZUTI, Sergio; BRUNO, Fabio; BASILE, Máximo

#### **4.13. Experiencias sobre la implantación en red de un procedimiento para prácticas de normalización.**

DIAZ BLANCO, I. J.; FERNANDEZ VILLEGAS, A.; LOPEZ VAZQUEZ, J. A.; SOUTO LOPEZ, J. R.

#### **4.14. El medio computacional como material didáctico en la enseñanza gráfico-visual.**

ANIDO DE LÓPEZ, Mercedes; LÓPEZ, Roberto

#### **4.15. Ecodiseño, una herramienta para la gestión de la innovación en el desarrollo de productos competitivos.**

LOPEZ FORNIER, Ignacio; MANCHADO PEREZ, Eduardo; AGUSTÍN HERNADEZ, Luis.

#### **4.16. Diseño y aplicación de sistema de retículas en la realización de proyectos de desarrollo de producto.**

MANCHADO PEREZ, Eduardo; FERNÁNDEZ SORA, Alberto; GARCIA HERNÁNDEZ, Cesar.

---

# **1. FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA DEL DISEÑO**



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### LOS PROYECTOS Y OBRAS COMO SÍMBOLOS IDENTIFICATIVOS DE UN DETERMINADO LUGAR

MORENO VARGAS, Francisco (1); GÓMEZ VARGAS, Juan Carlos (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de GRANADA, España

Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA, ARQUITECTÓNICA Y EN LA INGENIERÍA  
Correo electrónico: fmorenov@ugr.es

<sup>(2)</sup>Universidad de GRANADA, España

Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA, ARQUITECTÓNICA Y EN LA INGENIERÍA  
Correo electrónico: jcgomvar@ciccp.es

### RESUMEN

En la comunicación visual, el signo ocupa un valor importante y es fundamental a la hora de facilitar el entendimiento entre las personas de forma universal, rápida y cómoda. Junto a estos aspectos, es importante destacar la importancia del signo en sí mismo.

Por otra parte, todo proyecto produce una transformación del lugar donde se ubica en mayor o menor medida e, irremediabilmente, va a condicionar la evolución futura del mismo interviniendo diversos factores como pueden ser la complejidad del proyecto y la superposición de valores y funciones en el espacio y en el tiempo.

De esta forma, podemos comprender como el propio proyecto presiona el desarrollo urbano y, en consecuencia, la extensión de la mancha pudiendo hacer extensible esta reflexión al ámbito interurbano.

**Palabras clave:** Símbolo, semiótica, señalización, proyecto, urbano, interurbano, entorno.

### ABSTRACT

In the visual communication, the sign occupies an important value and is fundamental at the moment of facilitating the understanding between the persons of universal, rapid and comfortable form. Close to these aspects, it is important to emphasize the importance of the sign.

Any project produces a local transformation where it is located in major or minor measurement and, irremediably, it is going to determine the future evolution of the same one controlling diverse factors as like it can be the complexity of the project and the overlapping of values and functions in the space and in the time.

Of this form, we can understand as the own project presses the urban development and, consequently, the extension of the spot being able to make this reflection to the interurban scope tensile.

**Key words:** Symbol, semiotic, signaling, project, urban, interurban, surroundings.

## 1. Introducción

Cuando una persona pretende orientarse y circular por un determinado itinerario, le resulta imprescindible disponer de una serie de elementos a tal fin. Por otra parte, los mismos pueden perdurar en el tiempo para, en un futuro, producir el mismo efecto, bien en el mismo observador o cualquier otro.

Dependiendo del entorno donde nos encontremos y que el ámbito sea urbano o interurbano, estos elementos serán de distinta índole, desde los propios elementos intrínsecos del paisaje, que es lo que podemos denominar signos naturales pues son aquellos que no tienen un productor de origen humano, hasta los proyectos y obras erigidos a lo largo del tiempo y que son en los que nos centraremos en este documento.

Por tanto, analizaremos como determinados elementos del paisaje, bien urbano o interurbano se convierten en signos que identifican al lugar donde se ubica entendiendo por signo y en palabras de Umberto Eco *“algo que significa algo para alguien”*, o bien según la reflexión que hace Charles Morris al respecto *“algo es un signo solamente porque es designado como un signo de una cosa por un intérprete”*.

## 2. Revisión Bibliográfica

- **Bertin, Jacques.** *“Semiologie Graphique”*. Arnold Colina. París. 1969
- **Bertin, Jacques.** *“Semiología Gráfica. Traducción al español de F<sup>o</sup> Mozas Martínez”*. Escuela Técnica Superior de la Universidad de Jaén. Jaén. 1995
- **Bertrand, G.** *“Paisaje et géographie physique globale”*. Revue Géographique des Pyrénées et du SuOuest. 39 (3) : 249 – 272
- **Eco, Umberto,** *“La estructura ausente. Introducción a la semiótica”*. Lumen. Barcelona. 1981
- **Español Echaniz, Ignacio.** *“Las Obras Públicas en el Paisaje. Guía para el análisis y evaluación del impacto ambiental en el paisaje”*. CEDES. Madrid. 1998
- **Morris, Ch,** *“Fundamentos de la teoría de los signos”*. Universidad Nacional. México. 1958
- **Español Echaniz, Ignacio.** *“Paisaje. Conceptos Básicos”*. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. Madrid. 1995
- **Madreruelo, Javier.** *“El Espacio Raptado. Interferencia entre arquitectura y escultura”*. Ed. Biblioteca Mondadori. España. 1990
- **Motloch, J.L.** *“Introducción al diseño del paisaje”*. Van Nostrand Reinhold. Nueva York. 1991

### 3. Desarrollo del Trabajo

#### Los proyectos y obras en los ámbitos urbano y periurbano

Toda actuación que efectuemos en un espacio urbano va a condicionar de forma significativa y sin remedio el crecimiento y forma posterior de la ciudad.



*Fotos 1 y 2: Ronda Aérea y Vista frontal del Puente Nuevo*

Podemos poner como un primer ejemplo el Puente Nuevo de la ciudad de Ronda – Málaga (fotografías adjuntas).

Constituye junto con la Plaza de Toros de la Real Maestranza de Caballería, el símbolo y el alma de la ciudad. Pensar en esta ciudad malagueña es pensar en su puente sin el que la ciudad no tendría su actual fisonomía.

Mediante esta singular y espectacular obra maestra de impresionantes dimensiones, 98 metros de altura y construido con sillares de piedra que fueron extraídos del fondo de la propia garganta del Tajo, permitió la conexión del barrio moderno o del Mercadillo con el barrio antiguo de la ciudad de Ronda y, al mismo tiempo, posibilitó la expansión urbanística de la ciudad.

Así, y desde un determinado punto de vista, se podría entender el tipo de signos abarcados en la definición de signo emblema entendiendo como tal al tipo de signo en el que un conjunto de cualidades se vinculan convencionalmente a otro conjunto de cualidades que posee su objeto y, evidentemente, como hemos apuntado, hablar de Ronda es hablar de su puente.

Otro ejemplo más al respecto lo encontramos en Sevilla y su Plaza de España que se construyó con motivo de la Exposición Iberoamericana de 1929 que se desarrolló en la ciudad andaluza y que podemos contemplar de forma parcial en la Foto 3.

Este acontecimiento supuso para Sevilla una importante renovación arquitectónica y cultural. Entre las construcciones que se realizaron para tal evento está la citada Plaza, obra del arquitecto sevillano Aníbal González, que comenzó las obras en 1914.

Se caracteriza sobre todo por ser un espacio en el que se mezclan cerámica policroma, ladrillo visto y hierro forjado, dentro del más puro estilo regionalista sevillano.



Integrada en la Parque de Maria Luisa, esta plaza peatonal ofrece la oportunidad de disfrutar al aire libre de la belleza arquitectónica del edificio.

La Plaza tiene forma semicircular de grandes dimensiones (200 metros de diámetro) franqueada por dos torres en los extremos que simbolizan el abrazo de España y sus antiguas colonias y mira al río como camino a seguir hacia América.



*Foto 3. Vista parcial de la Plaza de España - Sevilla*

En la misma ciudad de Sevilla y con objeto de la Exposición Universal, esta vez la del año 1992, se proyectaron y construyeron una serie de elementos que ya desde su nacimiento estaban destinados a convertirse en claras referencias del entorno donde se encontraban ubicados y, en consecuencia, en símbolos representativos del lugar donde se ubicaban.



*Foto 4. Puente del Alamillo - Sevilla*

Podíamos citar muchos ejemplos pero por destacar uno de ellos, por su singularidad, ubicación,... se nombrará el Puente del Alamillo (Foto 4). Como ocurre en estos casos, el levantamiento de estas construcciones condiciona el desarrollo de la ciudad pues reforzó la conexión con la otra margen del río y potenció el desarrollo de

la Isla de la Cartuja, primero durante el propio desarrollo de la Exposición Universal y más tarde para los usos que se le están dando a las infraestructuras resultantes de la misma.

De igual forma y como se ha apuntado, el propio diseño y singularidad del puente lo convierte en sí mismo en un hito y referencia del lugar.

Ahora bien, hemos de comprender el ámbito de intervención como parte de un sistema ecológico de interrelaciones múltiples de forma que es imposible segregar espacios estancos lo que se agudiza en los ámbitos periféricos o periurbanos

Hay, por tanto, una enorme dificultad de definir límites, o bien variabilidad de los límites en función de los estratos que confluyen en el lugar y que interrelacionan con territorios geográficos diversos.

Así, nos podemos encontrar el carácter abierto espacial y temporalmente de la intervención en contraposición al proyecto tradicional de ornamentación del espacio público, de dudosas posibilidades de éxito.

Insistiendo en el entorno periurbano, es decir, aquellos espacios que rodean o que se encuentran anexos a las ciudades hemos de apuntar que no existen espacios vírgenes en el mismo por lo que no procede entonces un medioambientalismo maniqueo.

En este sentido, podemos citar las palabras de Ábalos y Herrero: *“lo que parece primordial es reconocer que sólo un desarrollo técnico mayor y una atención cultural crítica pueden poner fin a la depredación que la técnica moderna instauró sobre el territorio”*

## **Los proyectos y obras en el ámbito interurbano**

Todo aquello que se proyecta y más aún, si como en los casos anteriores produce una alteración clara del entorno donde se ubica hasta el punto de convertirse en un símbolo por sí mismo, ha de tener, obligatoriamente, una relación con las infraestructuras ya construidas y con los elementos de conformación del territorio.

En este sentido, y según *Español Echaniz*, los estudios del paisaje han desarrollado técnicas para el análisis y diagnóstico de áreas de interés paisajístico y de valoración y gestión.

Así, y para entender el razonamiento que estamos intentando expresar, hemos de señalar que existen elementos naturales que son claves en la forma del territorio y su posterior desarrollo, de forma que toda actuación en el mismo se ve claramente condicionada por éstos.

Es cierto que aunque en un primer periodo los hombres podían aprovechar los caminos abiertos entre la vegetación por las migraciones estacionales de los animales, es muy probable que a partir de un determinado momento empezasen por sí mismos a

abrir nuevas pistas, de igual forma aprenderían a orientarse a partir de determinadas referencias geográficas y como consecuencia dejarían en el paisaje unos signos de reconocimiento cada vez más estables.

La única arquitectura que poblaba el mundo paleolítico era el recorrido: el primer signo antrópico capaz de insinuar un orden artificial en los territorios del caos natural. En el neolítico, sin embargo, se empiezan a ver en el espacio los primeros elementos de orden.

De esta forma, el acto de andar, si bien no constituye una construcción física de un espacio implica una transformación del lugar y de sus significados con lo que se puede afirmar que sólo la presencia física del hombre en un espacio no cartografiado, así como la variación de las percepciones que recibe del mismo cuando lo atraviesa, constituyen ya formas de transformación del paisaje que aunque no dejan señales tangibles, modifican culturalmente el significado del espacio y por tanto, el espacio en sí mismo.

En este orden de cosas hemos de apuntar que el primer objeto situado del paisaje proveniente directamente del universo del errabundeo y del nomadismo es el *Menhir*. Mientras el horizonte es una línea más o menos estable y recta en relación al paisaje donde se encuentra el observador, el sol sigue una trayectoria más incierta puesto que realiza un movimiento que sólo parece claramente vertical en sus dos momentos más cercanos al horizonte: el alba y el crepúsculo.

Puede ser que con el objeto de estabilizar la dirección vertical fue creado el primer elemento artificial vertical, esto es, el menhir. Su levantamiento constituye la primera acción humana de transformación física del paisaje: una gran piedra tendida horizontalmente en el suelo y, sin embargo, tan sólo una simple piedra sin ninguna connotación simbólica. No obstante, su rotación de noventa grados y el hincarla en la tierra transforman dicha piedra en una nueva presencia que detiene el tiempo y el espacio.

De esta forma, y enmarcado en el ámbito objeto de nuestro análisis, surgen históricamente ciertos elementos que caracterizan a ese lugar de forma que con el tiempo éste se ve referenciado hasta el punto de asimilarse al elemento en cuestión, esto es, son el símbolo de ese enclave.

Para entender mejor nuestro razonamiento nos vamos a apoyar en las fotografías que acompañan a este texto (Fotos 5, 6 y 7) y que corresponden al puente de acceso a la Alpujarra de Granada, en sus diferentes etapas históricas, todos en el mismo enclave geográfico, y que se han ido construyendo a lo largo del tiempo en función de las necesidades y los medios técnicos y humanos existentes en cada caso.

Tienen la particularidad que la construcción de cada uno de ellos ha sido respetando al anterior, no destruyendo ni alterándolo, de forma que en un reducido lugar podemos hacer historia del desarrollo del mismo con sólo echar una ojeada a estos singulares elementos, símbolos indiscutibles de este enclave.

En un primer momento fue construido el puente árabe con objeto de salvar el barranco y conformar una vía rápida y segura para los viajeros que transitaban por estos parajes. El mismo fomentó el desarrollo de este ámbito hasta el punto de convertirse en referencia clara de él.



*Fotos 5, 6 y 7: Puente de acceso a la Alpujarra – Granada en sus diferentes etapas históricas*

Con el desarrollo de la civilización y la aparición de nuevas tecnologías y otras necesidades, se vio relegado por la construcción de su sustituto que ha estado en servicio activo hasta hace bien poco. No obstante, su construcción no produjo la destrucción del antiguo debido al carácter histórico del mismo y su catalogación como monumento lo que produjo la convivencia de ambos erigiéndose como símbolos conjuntos del lugar teniendo cada cual su parte de protagonismo, uno como historia viva del lugar y el otro por el servicio prestado y la contribución al desarrollo de la zona.

Las necesidades actuales han hecho que el puente quedase obsoleto lo que ha obligado a la construcción de uno nuevo que se contempla en la foto siguiente pero nuevamente se ha respetado a los antecesores hasta el punto que el trazado de la vía va a un nivel superior a las anteriores, de hecho se ha incluido unas pasarelas peatonales, tal y como podemos apreciar en la fotografía, cuyo suelo es una malla metálica que permite la visión de la antigua carretera y, por tanto, los puentes antiguos.

De esta forma, se mantiene la simbología propia del lugar y se incluye un nuevo elemento que reclama su protagonismo y lejos de querer hacer caer en olvido a sus

antepasados se une a ellos para formar entre todos una unidad que incluya el pasado y el presente a través de los elementos que han sido referencia clave de ese determinado entorno.

Teniendo en cuenta estas premisas y como continuación a lo anterior hemos de decir que toda intervención en el medio ha de estar en perfecta consonancia con la infraestructuras construidas tanto para producir una perfecta integración con ellas o como elemento diferenciador para el futuro con objeto forme un símbolo en sí mismo y una referencia clara.

#### **4. Conclusiones**

Como hemos podido comprobar a lo largo de este documento, las figuras del propio paisaje, y en particular los proyectos y obras, conforman en sí mismos signos que caracterizan al mismo y sirven de referencia clara del entorno en el que se ubican (Fotos 8 y 9).



*Fotos 8 y 9: Presa y Embalse del Negatín – Granada*

De igual forma, los propios proyectos y obras pueden llegar a convertirse en símbolos plenamente identificativos de un determinado lugar (Foto 10). Así, hemos de contar con la gran cantidad de factores que intervienen entre los que podemos citar, por supuesto, la complejidad del propio proyecto y otros conceptos como la superposición de valores y funciones en espacio y tiempo.



*Foto 10. Molinos de Viento en la zona de Tarifa - CÁDIZ*

En el caso particular de las ciudades, estos proyectos condicionan plenamente el desarrollo urbano de forma que todo crecimiento posterior al mismo se ve claramente beneficiado o perjudicado por él.

Como podemos deducir, las interrelaciones entre los distintos elementos es múltiple con lo que no resulta posible segregar espacios estancos. Este hecho resultaría más fácil de entender en espacios abiertos pero, de todas formas y como hemos podido comprobar en las matizaciones anteriores, a medida que vamos disminuyendo de lo general a lo particular podemos entender que se pierde la perspectiva real de lo que estamos intentando representar o interpretar.

Así mismo, el tipo de señalética descrita marca en cierta medida los itinerarios, hasta el punto que los mismos quedarían definidos por los elementos que constituyen los signos de referencia y que conforman esta señalización. De esta manera, podemos deducir que se produce una iteración del sujeto que circula por un itinerario determinado con el medio donde se encuentran estos elementos que señalizan al mismo.

Por tanto, y como síntesis de lo expuesto, se han de establecer los distintos signos e identificarlos para que puedan ser percibidos de forma eficaz y rápida por el observador y así pueda captar la información precisa. Como se puede observar, el verdadero protagonista es el observador, al que se orienta los elementos de señalización y que ha de captar rápidamente la información precisa, aislándola del resto y sin posibilidad que se produzca ambigüedad alguna.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### UTILIZACIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS EN LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE OBJETOS DE CUATRO DIMENSIONES

SALIDO REGUERA, Manuel (1); DOMÍNGUEZ SOMONTE, Manuel (2); BERNAL GUERRERO, Claudio (3)

<sup>(1)</sup>U.N.E.D., España, E.T.S. Ingenieros Industriales  
Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación  
Correo electrónico: [msalido@iies.es](mailto:msalido@iies.es)

<sup>(2)</sup>U.N.E.D., España, E.T.S. Ingenieros Industriales  
Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación  
Correo electrónico: [mdominguez@ind.unes.es](mailto:mdominguez@ind.unes.es)

<sup>(3)</sup>U.N.E.D., España, E.T.S. Ingenieros Industriales  
Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación  
Correo electrónico: [cbernal@ind.unes.es](mailto:cbernal@ind.unes.es)

### RESUMEN

Tradicionalmente los objetos tridimensionales se han representado en dos dimensiones, siguiendo las normas de la perspectiva para conseguir una representación que parezca lo más aproximada posible a la realidad, o mediante diversas vistas correspondientes a la proyección del objeto sobre diferentes planos, acompañadas de cotas, secciones, vistas de detalle, etc. que permitan reproducir exactamente el objeto dibujado. El salto cuantitativo que supone en los últimos programas informáticos prescindir del dibujo de las vistas planas del objeto, dibujar directamente el objeto tridimensional y de ahí deducir automáticamente las vistas permite predecir un salto proporcional en el tipo de objetos que puedan representarse gráficamente: si una serie de vistas planas acotadas definen de forma unívoca a un objeto tridimensional, no hay razones que impidan que un objeto de cuatro dimensiones no pueda ser reproducido unívocamente mediante una serie de vistas bi- o tridimensionales. La pantalla del ordenador permite utilizar el tiempo como cuarta variable, ligada mediante una relación o fórmula sencilla con la cuarta variable espacial, lo que hace accesibles a un observador tridimensional los objetos tetradimensionales. Las relaciones que se establecen entre el universo euclídeo tetradimensional y el universo espacio-temporal de Einstein abren una interesante línea de investigación. Utilizaremos como ejemplo de objetos tetradimensionales los hipersólidos geométricos regulares obtenidos por yuxtaposición tetradimensional de los poliedros regulares tridimensionales. A finales del siglo XIX se estudiaron geométricamente los hiperpoliedros de



cuatro o más dimensiones por el matemático suizo Ludwig Schläfli, determinándose que son seis los hiperpoliedros de cuatro dimensiones, y sólo tres los de cinco o más dimensiones. Comenzando por los hiperpoliedros más sencillos determinaremos las vistas y secciones necesarias para una adecuada representación.

**Palabras clave:** Cuatro dimensiones. Espacio-temporalidad.

## ABSTRACT

Three-dimensional objects have traditionally been represented on two-dimensional medium by applying the laws of perspective to achieve a resemblance to reality or by a number of projections on different planes, sections and details, together with dimensions, that allow a faithful reproduction of the object. Modern computer design programs allow three-dimensional drawing of the object, and deduce from it the required two-dimensional views. This quantitative jump increases the types of objects that can be reproduced graphically: four-dimensional objects can be represented by a number of two- or three-dimensional views, and the computer screen allows time to be introduced as a fourth variable, that can be linked to the fourth dimensional variable by a simple formula, allowing the representation of four-dimensional objects to three dimensional spectators. A promising line of investigation arises from the relationship thus established between the four dimensional Euclidean space and the Einsteinian space-time universe. We will study as four dimensional objects the regular hyper-polyhedres that can be constructed by folding in the fourth dimension a number of equal regular polyhedres. The subject was first covered by the swiss mathematician Ludwig Schläfli at the end of the nineteenth century, determining that there are six regular four dimensional hiper-polyhedra, or politopes, and only three on all other higher dimensions. Starting with the simplest ones, we will determine the views and sections required for an adequate graphic representation.

**Key words:** Four dimensions. Time-space.

## 1. Introducción

Desde Descartes la Geometría Analítica trabaja en espacios  $n$ -dimensionales para resolver problemas en los que intervienen  $n$  variables. Sin embargo hasta ahora la representación gráfica quedaba limitada a tres dimensiones, adoptando determinadas convenciones para la representación de sólidos tridimensionales en un medio bidimensional como es el papel.

Los programas de diseño asistido por ordenador permiten la construcción de prototipos virtuales de apariencia y textura similares a las del prototipo físico, que mediante las operaciones de rotación y zoom puede ser observado en todos sus detalles, pueden ser desmontados en sus elementos componentes y someterse a ensayos físicos de tensiones y deformaciones aplicando el método de cálculo por elementos finitos.

Aunque aún no desarrollada comercialmente, la representación holográfica tridimensional es perfectamente posible.

El ordenador puede trabajar en espacios de más de tres dimensiones sin ninguna dificultad; la limitación viene dada por los dispositivos de salida que, obviamente, han de adaptarse a las limitaciones del observador tridimensional. La representación de objetos tetradimensionales se hace posible recurriendo a un cambio de variable, del tipo  $w = kt$ , que ligue la cuarta dimensión geométrica con el tiempo. De esta forma representamos la intersección del objeto tetradimensional en movimiento ante un observador tridimensional estático.

Seleccionamos para el estudio los objetos tetradimensionales más sencillos: los hipersólidos geométricos regulares construibles plegando en la cuarta dimensión un conjunto de poliedros regulares iguales. Estos objetos quedan completamente definidos mediante las coordenadas cartesianas de cuatro dimensiones de sus vértices y la determinación de las aristas que enlazan dichos vértices. Además de determinar número de caras, longitudes, superficies y volúmenes, podemos calcular el número de poliedros componentes, y una nueva magnitud, el hipervolumen, de dimensión  $l^4$ . El estudio de estos objetos lo realizó el matemático suizo Ludwig Schläfli (1814-1895).

Las relaciones que así se establecen entre el universo euclídeo tetradimensional y el universo espacio-temporal de Einstein abren una interesante línea de investigación sobre cuál de ellos es el más adecuado para la explicación de las leyes físicas.

## **2.- Sistema de coordenadas rectangulares de cuatro dimensiones**

En un sistema de coordenadas rectangulares de cuatro dimensiones  $x, y, z, w$  la posición de un punto **A** queda unívocamente definida por sus cuatro coordenadas  $(x_a, y_a, z_a, w_a)$ , y puede representarse gráficamente mediante dos proyecciones, sobre los ejes  $XY$  (quedando definidas  $x_a$  e  $y_a$ ) y sobre los ejes  $ZW$  (quedando definidas  $z_a$  y  $w_a$ ). Si un punto queda definido mediante sus dos proyecciones, todos los puntos de un objeto, (siempre que sean identificables) quedan definidos mediante esas dos proyecciones. En principio la representación gráfica de un objeto de cuatro dimensiones no es más complicada que la de uno de tres dimensiones y únicamente las limitaciones de nuestros sentidos e inteligencia, acostumbrados a operar en un espacio tridimensional, nos lo hacen parecer así. Además de las proyecciones sobre los ejes  $XY$  y  $ZW$  proponemos el uso de una representación que denominaremos tetraisométrica, sobre los cuatro ejes  $XYZW$  dispuestos según indica la figura 3. La posición de cada punto vendrá representada por el vector suma del producto de cada coordenada por el vector unitario en la dirección del eje de coordenadas correspondiente.

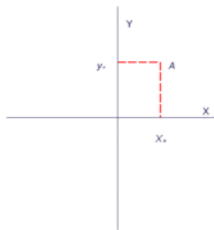


Figura 1

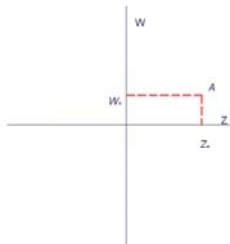


Figura 2

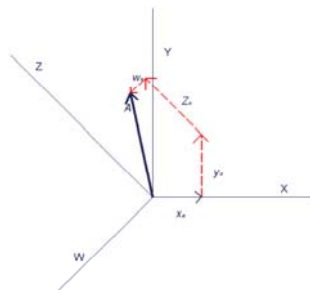


Figura 3

Al resolver problemas matemáticos que incluyan ecuaciones de dos o tres variables, la representación gráfica de las mismas ayuda a comprender mejor las soluciones y a desarrollar intuiciones que permiten enfocar y resolver más fácilmente problemas similares. Esta ayuda no se consideraba posible cuando el número de variables era superior a tres, y muchos problemas usuales implican la resolución de sistemas de ecuaciones con cuatro variables. La representación gráfica de objetos de cuatro dimensiones podría resultar de interés práctico, además de su indudable interés teórico.

El ordenador no tiene las limitaciones de nuestros sentidos y opera en espacios  $n$ -dimensionales con total normalidad. Los programas de representación gráfica permiten obtener en pantalla representaciones de objetos tridimensionales que pueden girarse, desplazarse, ampliarse o reducirse a voluntad, y es posible generar automáticamente las vistas bidimensionales necesarias que sirvan como planos de construcción de dicho objeto. Si adoptamos la convención de representar la cuarta dimensión mediante una gama de colores tendríamos de una primera posibilidad de representar superficies tetradimensionales adecuada para la representación gráfica de numerosos problemas. Una sencilla modificación a los programas permitiría asimismo generarlas proyecciones bidimensionales necesarias para la completa definición del objeto sobre el papel.

## Hiper-poliedros o politopos

Para ilustrar la representación gráfica de objetos de cuatro dimensiones vamos a tomar como modelos los hiper-poliedros (o politopos) de cuatro dimensiones más sencillos. Ante la imposibilidad de imaginar físicamente este tipo de objetos, la analogía del paso de dos a tres dimensiones, de polígonos a poliedros regulares, nos proporciona un camino para entender sus propiedades. Desde mediados del siglo XIX, gracias a los trabajos del matemático suizo Ludwig Schläfli, sabemos que hay seis hiper-poliedros regulares de cuatro dimensiones, y sólo tres en sistemas  $n$ -dimensionales, siendo  $n$  superior a cuatro.

El hiper-poliedro regular más sencillo es el hiper-tetraedro, formado al añadir un nuevo vértice al tetraedro en la dirección del eje  $W$  y unirlo con los otros cuatro vértices mediante aristas de la misma longitud que las originales, con lo que tenemos un cuerpo de cinco vértices, diez aristas y diez caras triangulares que puede representarse

gráficamente mediante sus proyecciones sobre los ejes  $XY$  y sobre los  $ZW$ , como se indica en la figura. En cuatro dimensiones no tiene sentido (salvo que establezcamos reglas convencionales al respecto) hablar de partes vistas u ocultas de las figuras. El hiper-tetraedro puede desplegarse y está formado por cinco tetraedros.

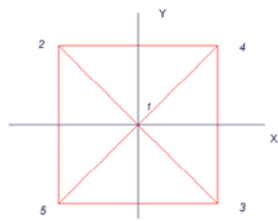


Figura 4

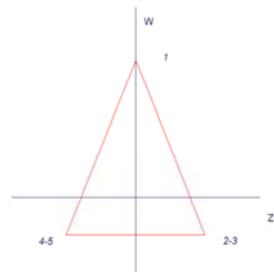


Figura 5

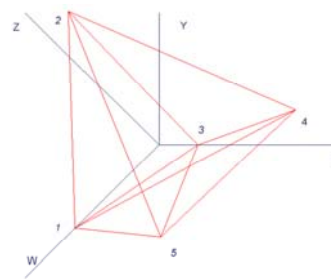


Figura 6

El siguiente hiper-poliedro es el hiper-cubo, de 16 vértices, 32 aristas y 24 caras cuadradas, derivado del cubo, definiendo para cada vértice, en el caso del cubo unitario, un nuevo vértice con las mismas coordenadas, excepto con  $w = 1$  en lugar de  $w = 0$ . El hiper-cubo puede desplegarse en ocho cubos

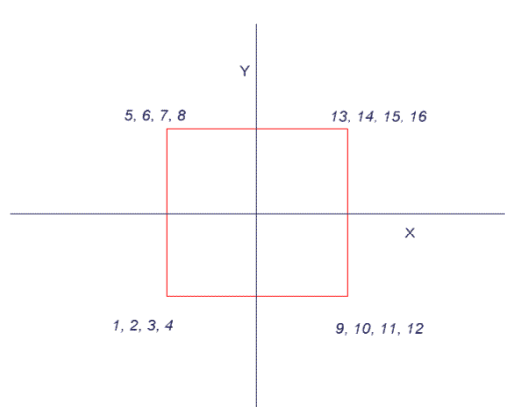


Figura 7

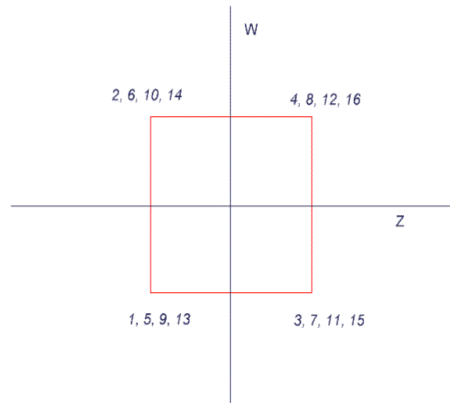


Figura 8

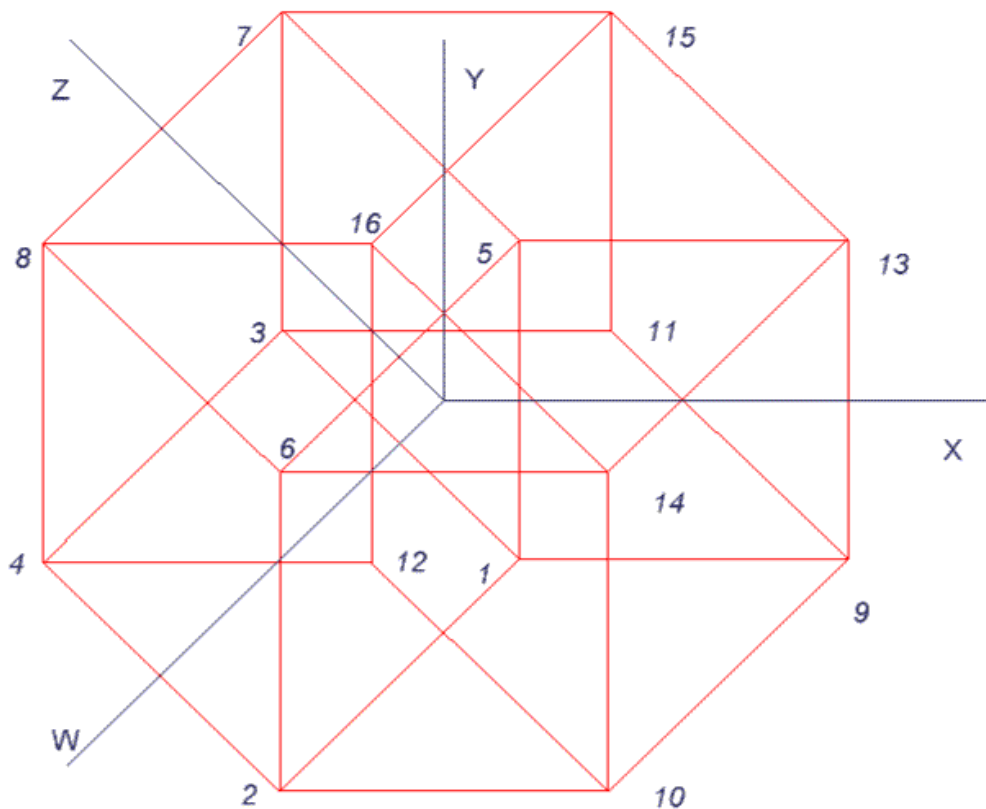


Figura 9

El tercer hiper-poliedro que estudiaremos es el hiper-octaedro, de 8 vértices, 24 aristas, 32 caras triangulares y desplegable en 16 tetraedros.

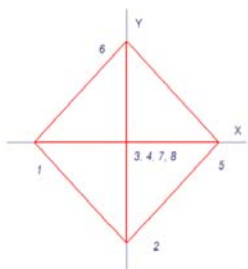


Figura 10

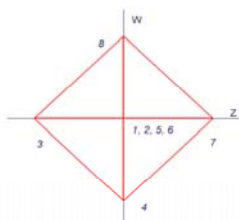


Figura 11

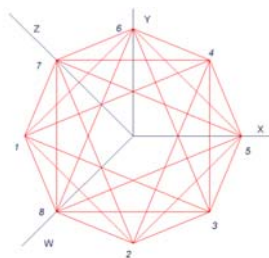


Figura 12

El cuarto hiper-poliedro tiene 24 vértices, 96 aristas, 96 caras triangulares y puede desplegarse en 24 octaedros.

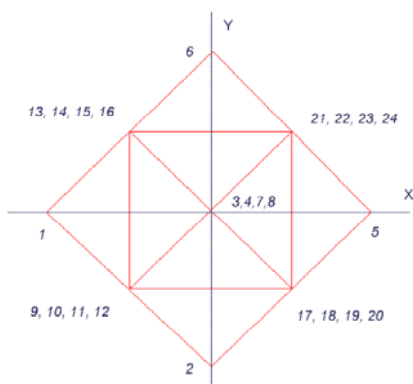


Figura 13

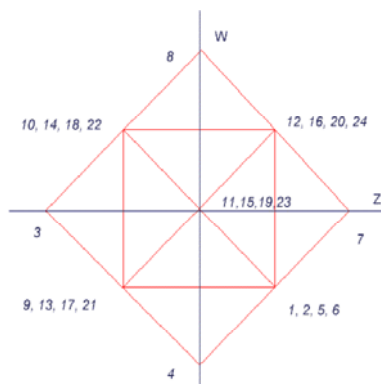


Figura 14

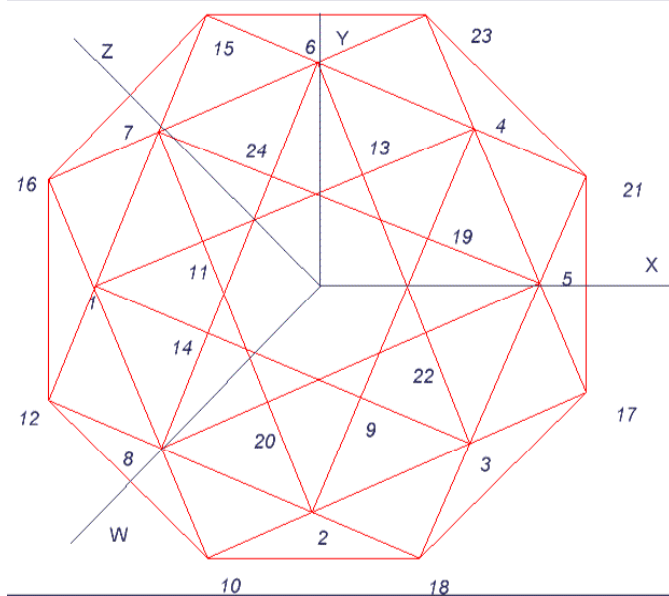


Figura 15

El quinto hiper-poliedro tiene 120 vértices, 720 aristas, 1200 caras triangulares y puede desplegarse en 600 tetraedros.

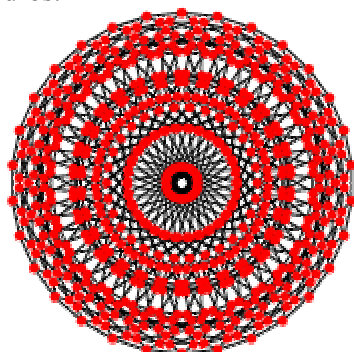


Figura 16

El sexto y último hiper-poliedro tiene 600 vértices, 1.200 aristas, 720 caras pentagonales y puede desplegarse en 120 dodecaedros.

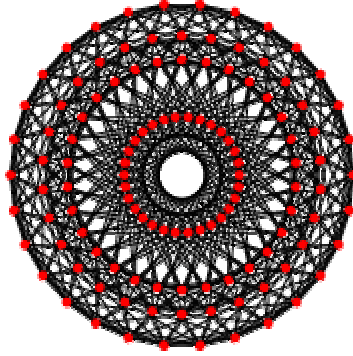


Figura 17

### 3.- Distancia entre dos puntos

Definimos como distancia  $S_{AB}$  entre dos puntos **A** y **B** la integral:

$$S_{AB} = \int_B^A ds \quad (1)$$

a lo largo de la línea geodésica que une a **A** con **B**. Por definición, en valor absoluto:

$$S_{AB} = \pm S_{BA} \quad (2)$$

En un espacio euclideo tetradimensional la distancia entre dos puntos **A** ( $x_a, y_a, z_a, w_a$ ) y **B** ( $x_b, y_b, z_b, w_b$ ) viene dada por la longitud de la recta que los une, según la expresión:

$$S_{AB}^2 = (x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2 + (w_a - w_b)^2 \quad (3)$$

En un espacio de *Riemann* positivo-definido con la métrica

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dw^2 \quad (4)$$

se aplicaría la ecuación (1) integrando sobre la línea geodésica que une **A** con **B**. Si consideramos constante la velocidad de la luz  $c$ ,  $ds^2 = c^2 dt^2$ , con lo que (4) se convierte en:

$$c^2 dt^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dw^2 \quad (5)$$

$$dw^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (6)$$

En su teoría de la relatividad restringida *Einstein* concibió un universo tetradimensional con dimensiones (x, y, z, t) en el que las dimensiones geométricas (x, y, z) y el tiempo t cumplieran la métrica (no positivo-definida) del espacio de *Minkowsky*:

$$d\sigma^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (7)$$

en la que  $c$  representa la velocidad de la luz, considerada constante. La distancia entre dos puntos **A** ( $x_a, y_a, z_a, t_a$ ) y **B** ( $x_b, y_b, z_b, t_b$ ) se calcularía mediante la integral (1) aplicando la métrica (7). En particular, si tomamos **A** como origen y estudiamos la trayectoria de todos los rayos de luz que pasan por A (no necesariamente rectos) se cumplirá para todos ellos

$$dx^2 + dy^2 + dz^2 = c^2 dt^2, \text{ y } ds^2 = 0 \text{ para toda trayectoria de un rayo de luz} \quad (8)$$

Integrando (8) obtenemos que para toda trayectoria de la luz  $S = 0$ , es decir que, como sabíamos, las trayectorias de los rayos de luz forman geodésicas nulas. El sentido geométrico de estas relaciones es que la intersección de la superficie  $S_A = 0$  con el universo (x, y, z, t) define dos universos tridimensionales, el universo visible desde **A** y el universo desde el que **A** es visible, para los que la distancia de todo punto al **A** es nula según la métrica de *Minkowsky*.

La semejanza entre las ecuaciones (6) y (7) sugiere que (7) sería la ecuación que deduciría un observador tridimensional inmerso en un universo tetradimensional, y  $d\sigma^2 = dw^2$  representaría la distancia (medida en la cuarta dimensión geométrica) al universo observable.



#### **4.- Bibliografía**

Blanchoff, Thomas F., *Beyond the Third Dimension*, Scientific American Library, Nueva York, 1996.

Hughston, L.P. y Tod, K.P., *An Introduction to General Relativity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Ludvigsen, Malcom, *General Relativity; A Geometric Approach*, Cambridge University press, Cambridge, 1999.

Rucker, Rudolf v.B., *Geometry, Relativity and the Fourth Dimension*, Dover Publications, Nueva York, 1977

Schläfli, Ludwig, *Theorie der Vielfachen Kontinuität*, Georg & Co., Basilea, 1901..

Schouten, J.A., *Tensor Analysis for Physicists*, Dover Publications, nueva York, 1989.

Taibo, Ángel, *Geometría Descriptiva y sus Aplicaciones*, Tipografía Blass, Madrid, 1943.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### HOMOLOGÍA ENTRE CUÁDRICAS

FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Manuel

Universidad de Oviedo, España  
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, de Computadores y Sistemas  
manuelfr@uniovi.es

#### RESUMEN

Se presenta el método para el cálculo gráfico de la homología entre figuras de tercera categoría, aplicándolo sobre todo a las homologías entre superficies cuádricas .

**Palabras clave:** homología, cuádricas homólogas, cuádricas, homología entre figuras de tercera categoría.

#### ABSTRACT

A graphic procedure to define an homology transformation between third-class figures is presented, emphasizing homologies between quadrics surfaces

**Key words:** homology, homologue quadrics, quadrics , homology between third-class figures.

#### 1. Introducción

Resulta, al menos chocante, que, cuando con profusión se utilizan los frutos de la Geometría, se haya relegado su estudio. Disponemos de instrumentos gráficos como nunca hubo. ¿Qué habría descubierto Arquímedes si en vez de dibujar circunferencias en la arena, dispusiera de la versión más modesta de Autocad?

Este letrero, (Cfr.: [1],117.18), colocado sobre la puerta de la Academia de Platón:

ἀγεωμέτρητος  
μὴ εἰσίστω

'Que nadie entre sin saber Geometría', apetece, a veces, colocarlo sobre el menú de nuestros programas gráficos.

La Geometría no es una ciencia cerrada.

El tratamiento de las superficies cuádricas sigue siendo una asignatura pendiente de nuestros programas. Intentamos abordar la generación proyectiva de las cuádricas desde la geometría proyectiva con procedimientos geométricos. Incluso los procedimientos analíticos podrán simplificarse.

### Convenios de notación

Para evitar confusiones llamaremos t-homólogos a los elementos homólogos en una homología espacial y homólogos simplemente a los correspondientes en una homología plana.

Como una homología espacial es susceptible de ser representada en cualquiera de los sistemas habituales de representación, a fin de conservar la notación propia de éstos, pretildaremos con acento grave, ` , los elementos t-homólogos. Así, cuando adoptamos la representación diédrica:

	elementos origen		elementos imagen	
punto	$A'$	$A''$	$`A'$	$`A''$
recta	$r'$	$r''$	$`r'$	$`r''$
plano	$\delta_1$	$\delta_2$	$`\delta_1$	$`\delta_2$

N.B.: Esta notación es exclusivamente apta, en diédrico, cuando escogemos como planos de proyección

$H$ , plano horizontal tal que [ rayo principal,  $VF \perp (\kappa || \epsilon || \lambda)$  ]  $\in H$   
 $V$ , plano vertical =  $\epsilon$

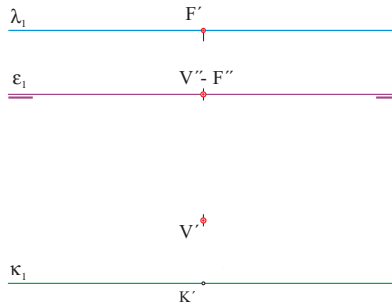


Figura 1: Elementos en diédrico

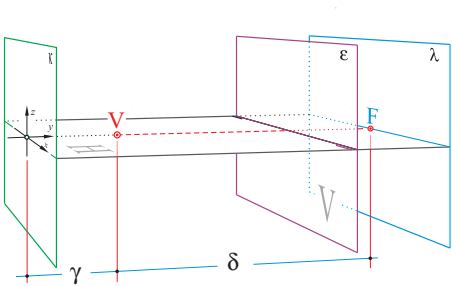


Figura 2: Elementos t-homólogos

Sólo escogiendo este  $H$  ocurre que las proyecciones horizontales de puntos y rectas y traza horizontal de plano tengan por t-homólogos las correspondientes proyecciones y trazas de sus correspondientes t-homólogos.

No en vano estos planos son planos dobles sin puntos dobles a excepción del centro de t-homología,  $V$ , y la recta intersección con  $\epsilon$ .

Al escoger el plano doble como plano vertical de proyección logramos que las proyecciones verticales de las trazas con el plano vertical de rectas y planos sean dobles:

$$V''_{r''} = V''_{`r''} \text{ y escribiremos } V''_{r''} = V''_{`r''}$$

$$\delta_2 = \delta_2 \text{ y escribiremos } \delta_2 = \delta_2$$

## 2. Elementos de t-homología

Una t-homología de centro V, característica,  $\xi = \gamma/\delta$ , plano doble,  $\varepsilon$ , y planos limite origen e imagen,  $\kappa$  y  $\lambda$ , es una transformación geométrica que a todo punto, A, le hace corresponder otro punto, 'A, colineal con V y E, tal que la razón doble  $(VEA'A) = \xi$

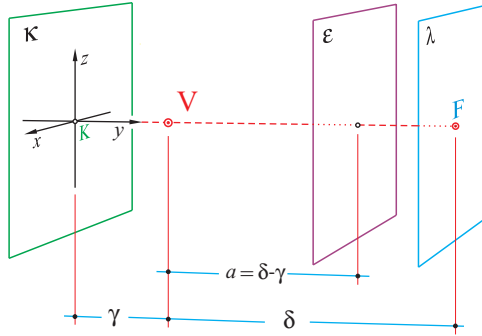


Figura 3: Parámetros y coordenadas

Si tomamos el origen de coordenadas en el punto K la tradicional expresión del factor proyectivo donde  $\lambda = \xi$  y  $a = \delta - \gamma$ , con origen en V. Cfr.: [2], pg 185

$$\begin{aligned} 'x &= \frac{a}{\lambda\alpha + y(1-\lambda)} \cdot x & 'y &= \frac{a}{\lambda\alpha + y(1-\lambda)} \cdot y & 'z &= \frac{a}{\lambda\alpha + y(1-\lambda)} \cdot z \end{aligned}$$

se convierte en

$$\begin{aligned} 'x &= \frac{\delta}{y} \cdot x & 'y &= \gamma + \delta - \gamma \cdot \frac{\delta}{y} & 'z &= \frac{\delta}{y} \cdot z \end{aligned}$$

que supone un ahorro computacional para los correspondientes algoritmos, aún utilizando coordenadas homogéneas. La expresión de las dos coordenadas del sistema cónico sobre el plano de dibujo, caso particular (y singular) de la t-homología, cuando  $\gamma = 0$ , serán 'x y 'z.

## 3. T-homología del punto

Llamamos  $A_0$  a la intersección de la línea de referencia  $A'-A''$  con  $\varepsilon_1$ .

Mientras que la característica de la t-homología que nos transforma A en 'A es  $\gamma/\delta$ , la que nos hace la transformación inversa: de 'A a A, tiene la característica inversa  $\delta/\gamma$ .

Geométricamente equivale a permutar los roles de  $\lambda_1$  y  $\kappa_1$ , de F y K'.

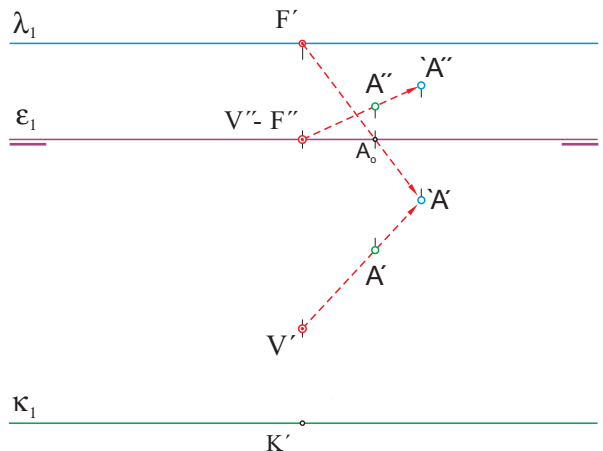


Figura 4: Cálculo de punto imagen

#### 4. T-homología de la recta

Como su traza E con el plano vertical  $\epsilon$  es un punto doble, basta trazar por E una recta paralela al V-rayo dirigido al punto límite K de la recta origen.

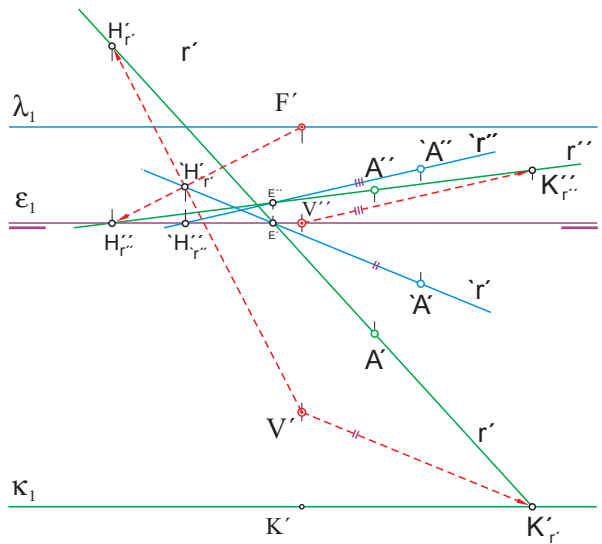


Figura 5: Cálculo de recta  $r''$  t-homóloga de  $r$

Bastaría con hallar el t-homólogo de cualquier punto  $A$  de la recta

#### 5. T-homología del plano

Como la traza con el plano vertical es doble y el punto 1 pertenece a la traza  $\delta_1$ , basta hallar el t-homólogo de un sólo punto de  $\delta_1$ . En nuestro caso hemos hallado el t-homólogo de su punto límite.

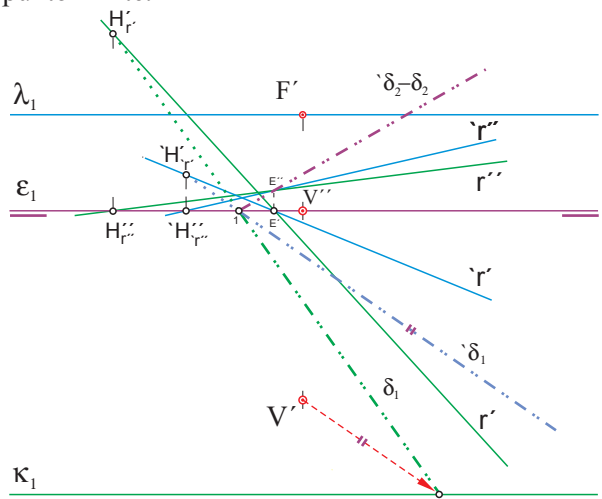


Figura 6: Cálculo de plano t-homólogo

## 6. T-homología esfera-elipsoide

En los ejemplos que siguen utilizaremos nuestros propios métodos de homología plana entre cónicas que pueden encontrarse en un archivo .pdf en

<http://aegi.eutig.uniovi.es/investigar.php>

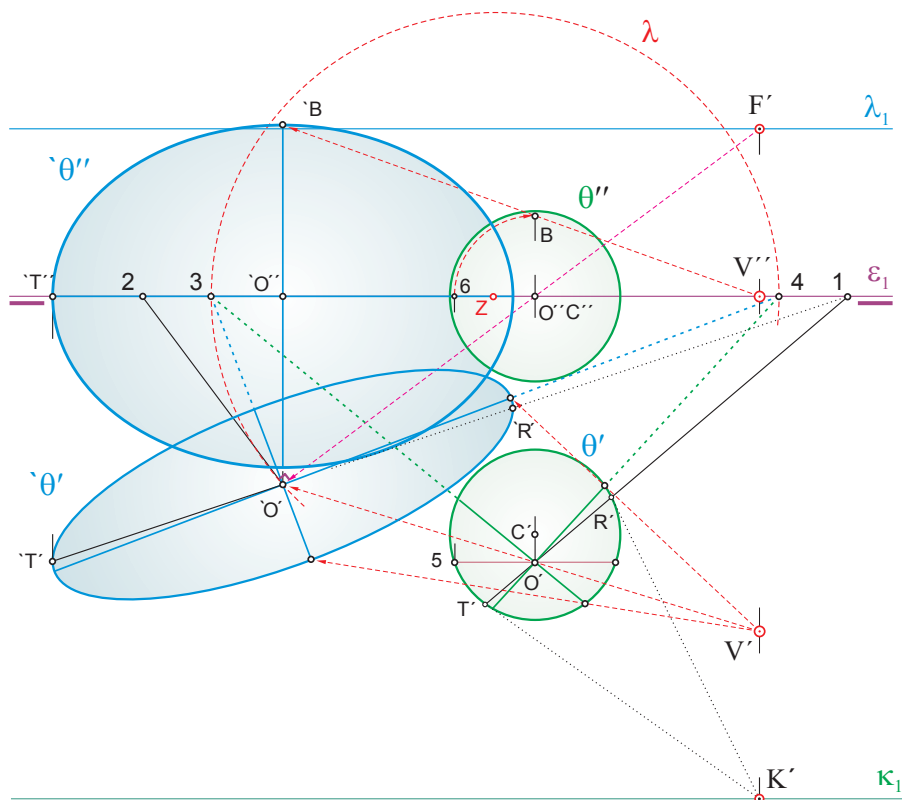


Figura 7: Elipsoide t-homólogo de esfera

La proyección horizontal  $\theta'$  del elipsoide la hallamos como figura homóloga de la circunferencia proyección horizontal,  $\theta'$ , de la esfera, en una homología plana cuyos elementos son:  $V=V'$ ,  $e-e'=\epsilon_1$ ,  $k=\kappa_1$  y  $l=\lambda_1$ .

El contorno aparente del elipsoide en su proyección vertical  $\theta''$  es precisamente la elipse sección provocada por el plano t-homólogo del plano polar de  $K'$  respecto a la esfera a la que corta según la circunferencia  $T'R'$  que en proyección vertical tiene en su punto B el antihomólogo del extremo del eje menor de la elipse contorno aparente  $\theta''$ .

La proyección horizontal de la elipse contorno aparente vertical es precisamente el segmento  $T'R'$ , perteneciente a la traza del plano thomólogo del plano polar que nos permite calcular el eje mayor de ésta.

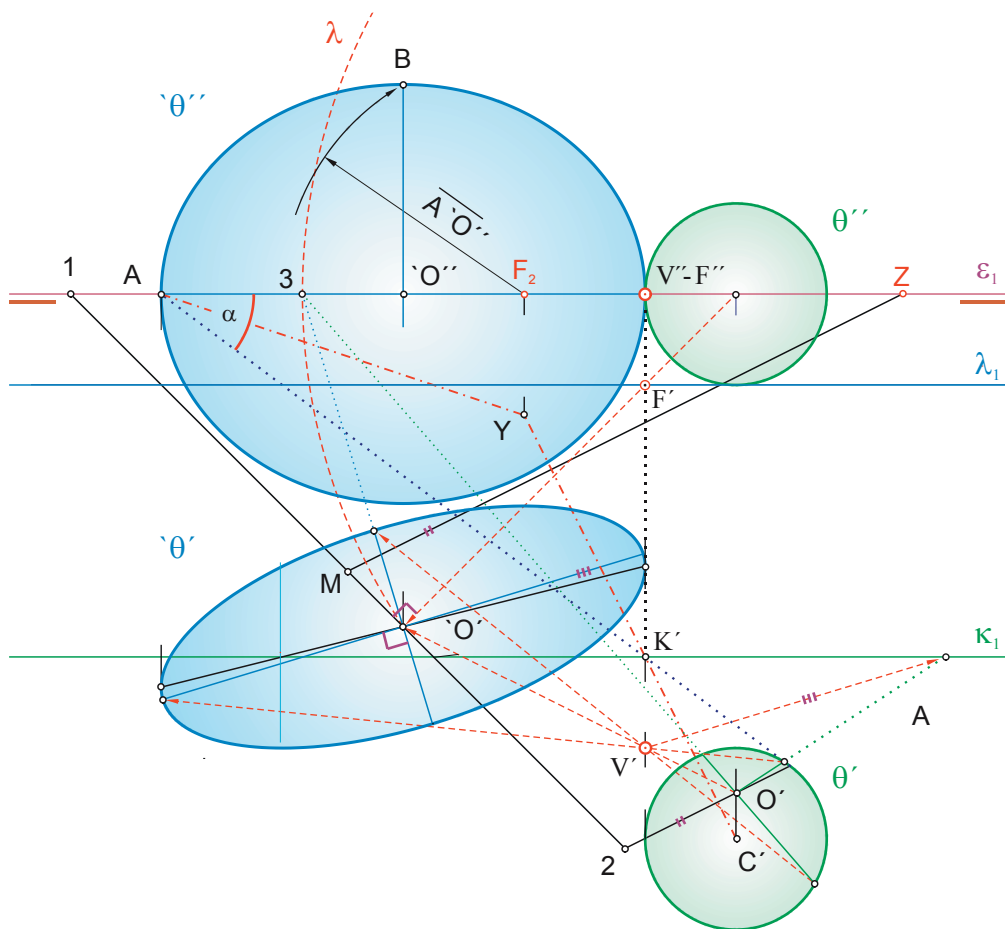


Figura 8: Elipsoide t-homólogo de esfera

En este otro caso hemos escogido una t-homología de característica negativa: Los segmentos orientados  $\gamma$  y  $\delta$  tienen sentidos contrarios.

Para hallar la proyección horizontal del elipsoide mediante una homología plana de elementos:  $V=V'$ ,  $e=e'=\varepsilon_1$ ,  $k=\kappa_1$  y  $l=\lambda_1$ , hemos utilizado uno de nuestros métodos, distinto al utilizado en la Fig. 7, que puede verse en la dirección precitada.

Otra alternativa para hallar el contorno aparente  $\theta''$  consiste en aplicar el teorema de Dandelin: Trazando una perpendicular a  $\varepsilon_1$  por el punto Y, incentro del triángulo  $V''AK$  obtenemos el foco de la elipse  $F_2$

Calculamos el eje mayor de la elipse del contorno aparente vertical como en el caso anterior. Con centro en el foco y radio, el semieje mayor, dibujamos un arco que nos determina, en una perpendicular a  $\varepsilon_1$  trazada por  $O''$ , el punto B, extremo superior del eje menor.

## 7. T-homología esfera-paraboloide

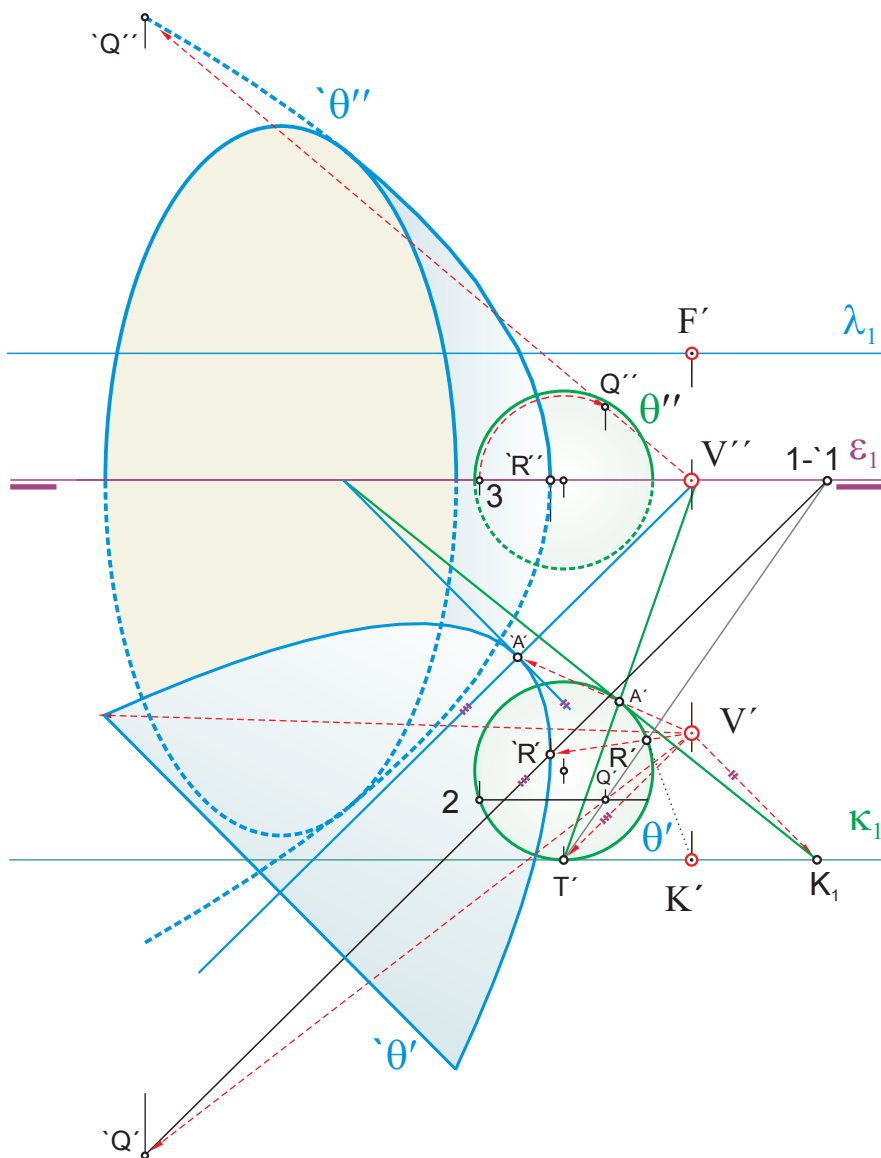


Figura 9: Paraboloide t-homólogo de esfera

La parábola  $\theta'$  la hemos hallado mediante una homología plana de elementos:  $V=V'$ ,  $e=e'$ ,  $k=\kappa_1$  y  $l=\lambda_1$  como homóloga de  $\theta'$

R'T' es la traza con el plano horizontal del plano polar de K' respecto a  $\theta$ . y tal segmento es la proyección horizontal de la circunferencia antihomóloga de la parábola contorno aparente de la proyección vertical cuyo vértice será 'R''.

Para dibujar tal parábola por haces proyectivos hemos hallado un punto Q de ella.



## 8. T-homología esfera-hiperboloide

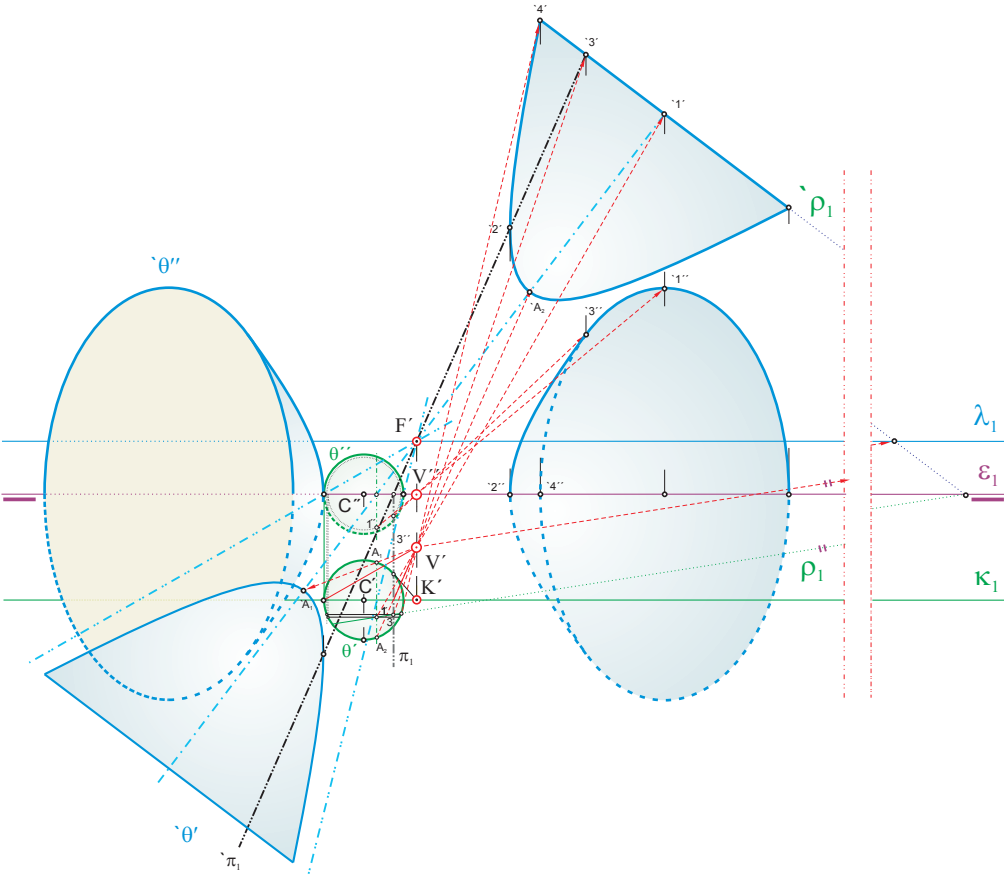


Figura 10: Hiperboloide t-homólogo de esfera

Como hemos hecho con las demás cuádricas el contorno aparente de la proyección horizontal,  $\theta'$ , lo hallamos mediante la homología de elementos:  $V=V'$ ,  $e=e'=\epsilon_1$ ,  $k=\kappa_1$  y  $l=\lambda_1$ , como homóloga de  $\theta'$ . Los vértices de  $\theta'$  quedan determinados por el antieje  $A_1A_2$

El plano  $\pi$ , t-homólogo del plano polar de  $K'$  respecto a  $\theta'$ , determina, (segmentos de  $\pi_1$  superpuestos a  $\theta'$ ), la proyección horizontal de la hipérbola  $\theta''$  contorno aparente vertical

El punto  $2'$  determina el vértice  $2''$  y su simétrico respecto al centro que es  $V''=F''$ .

El punto  $3''$  nos permite la construcción de la hipérbola, contorno aparente,  $\theta''$ , por haces proyectivos

## 9. Secciones en elipsoide t-homólogas de secciones de planos de meridianos y paralelos en la esfera

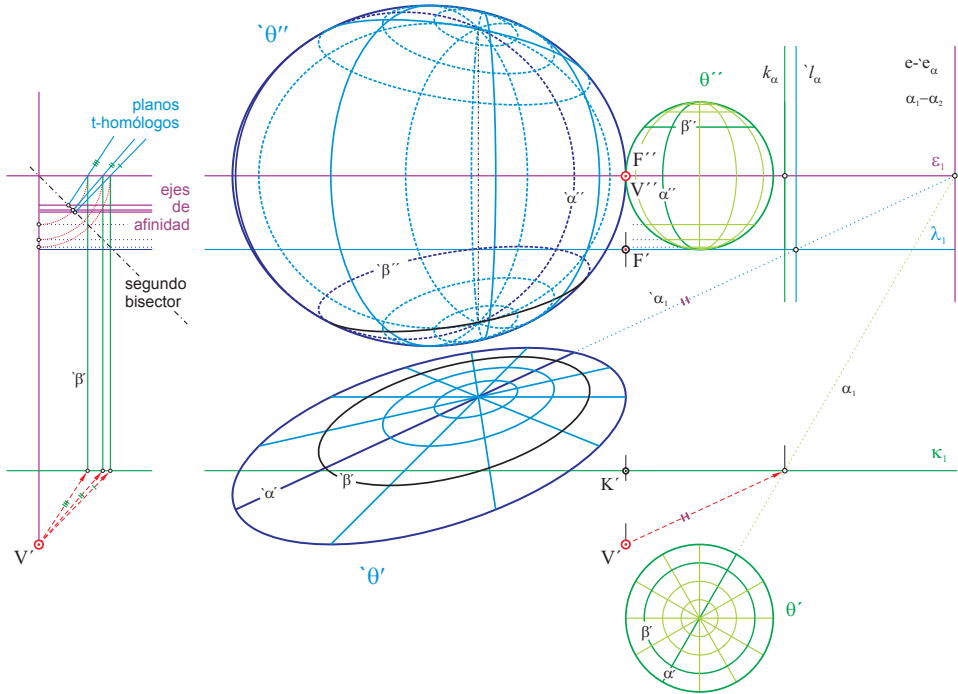


Figura 11: Secciones t-homólogas en elipsoide

En esta t-homología de característica,  $\xi = -0.25$ , los contornos aparentes del elipsoide les hemos hallado por procedimientos ya explicados en la sección 6.

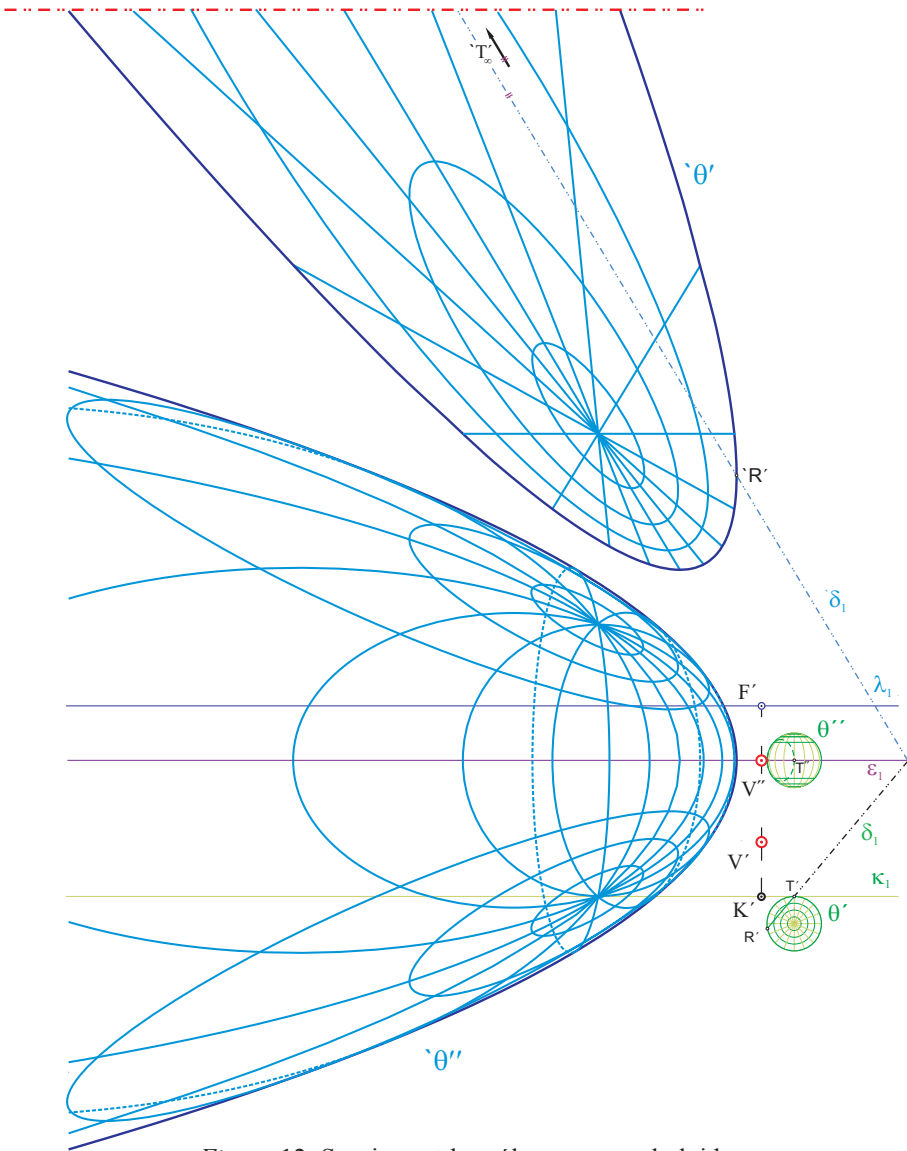
Las elipses,  $\beta'$ , proyecciones horizontales de las cónicas homólogas de los paralelos las hemos calculado mediante la homología plana de elementos:  $V=V'$ ,  $e-e=\epsilon_1$ ,  $k=\kappa_1$  y  $l=\lambda_1$ . Las proyecciones verticales,  $\beta''$ , las hallamos mediante la afinidad existente entre proyección horizontal y vertical de una figura plana contenida en un plano, con dirección perpendicular a  $\epsilon_1$  y como eje de afinidad la intersección del plano, portador de la elipse, homóloga del paralelo, con el segundo bisector. Para ellos hemos utilizado el procedimiento: 'elipse afín de elipse, hallando ejes', expuesto en la dirección ya citada.

Para calcular la proyección horizontal de los meridianos,  $\alpha'$ , basta aplicar la t-homología entre planos, Cfr.: sección 5.

Las elipses proyecciones verticales de los meridianos las calculamos mediante la homología plana de elementos  $V''$ ,  $e-e_\alpha$ ,  $k_\alpha$  y  $l_\alpha$ , resultante de la proyección de la t-homología sobre el plano vertical.

Para hallar elipse homóloga de elipse hemos utilizado el método expuesto en nuestro archivo .pdf.

El mismo sistema de dibujo lo aplicamos en la Fig.12 al paraboloides.



## 10. Aplicaciones

Dibujo de cuádricas, algoritmos de diseño. Holografía. Óptica Física. Estudio de trayectoria de estados y campos electromagnéticos.

## Referencia

- [1] ALEXANDRINUS. J. P, *In Aristotelis libros de anima commentaria*, VI p.C.
- [2] MARAVALL C., Dario. *Geometría analítica y proyectiva del espacio*. Editorial Dossat, Madrid, 1961.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ANÁLISIS DE LA COMPACIDAD DE FORMAS POLIÉDRICAS OBTENIDAS POR TRUNCAMIENTO DE OTRAS QUE POSEAN ESFERA INSCRITA

SUÁREZ GONZÁLEZ, Jesús; ÁLVAREZ GÓMEZ, José Manuel; VEGA MENÉNDEZ,  
Javier; GANCEDO LAMADRID, Enrique.

Universidad de Oviedo. Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Departamento de Construcción e Ingeniería de  
Fabricación. Campus de Viesques – Gijón - ASTURIAS  
Correo electrónico: suarezg@uniovi.es

### RESUMEN

Los estudios llevados a cabo hasta la fecha, en esta Universidad, acerca de la compacidad o esfericidad de las formas poliédricas que se pueden obtener mediante la metodología de truncamiento de los vértices y biselamiento de las aristas de un poliedro regular, han llevado siempre a una conclusión que relaciona los poliedros de máxima compacidad con planos de truncamiento y biselamiento tangentes a la esfera inscrita en el sólido regular de partida.

Con la finalidad de indagar en las características de los poliedros de máxima compacidad, se ha decidido llevar a cabo un estudio de la compacidad de las formas poliédricas que se pueden obtener mediante el truncamiento de los vértices de otra forma poliédrica cualquiera, regular o no, con la única exigencia de que tenga una esfera inscrita.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la forma poliédrica más compacta que se puede obtener a partir de otra que posea esfera inscrita, por truncamiento de sus vértices, se obtiene siempre para truncamientos tangentes a la esfera inscrita en el poliedro de partida.

**Palabras clave:** compacidad, truncamiento, poliedro, esfera inscrita.

### ABSTRACT

An English version of the “resumen” is required in this location.

**Key words:** to write an English version of the “palabras clave”.

## 1. Introducción

En anteriores trabajos [<sup>1</sup>] se han llevado a cabo varios estudios dirigidos a evaluar de alguna manera la esfericidad de una forma poliédrica o, lo que es lo mismo, a investigar en que medida una forma poliédrica cualquiera se aproxima a la forma esférica. La finalidad que se perseguía era la de poder comparar unas formas poliédricas con otras para tratar de averiguar cuales son las que presentan una mayor esfericidad.

Partiendo de la base de que una forma poliédrica cualquiera será tanto mas esférica cuanto mayor volumen encierre con una misma superficie, el procedimiento empleado para medir la esfericidad ha sido el de definir un parámetro que relacione la superficie con el volumen del poliedro en cuestión. A este parámetro se le ha denominado compacidad y queda definido mediante la expresión

$$K = \frac{S}{V^{2/3}}$$

Posteriormente se ha considerado la metodología de truncamiento de los vértices de un poliedro regular para obtener nuevas formas poliédricas de mayor esfericidad, con lo cual ha sido posible averiguar cuales son los poliedros mas compactos que se pueden obtener truncando los vértices de un octaedro o de un icosaedro. Este estudio ha permitido llegar a la conclusión de que las formas poliédricas mas compactas que se pueden obtener mediante este procedimiento son las únicas que presenta la peculiaridad de tener una única esfera inscrita, tangente a todas y cada una de las caras del poliedro [<sup>2</sup>].

Finalmente, se ha añadido la posibilidad de biselar las aristas, para generar así poliedros mediante truncamiento y biselamiento de un sólido platónico. El resultado obtenido es que las formas poliédricas más esféricas que se pueden obtener son las únicas que presentan una única esfera inscrita [<sup>3</sup>] [<sup>4</sup>], de forma similar al caso anterior.

Estos resultados se pueden exponer, también, de una manera mas interesante, indicando que los sólidos de mayor compacidad se obtienen cuando los planos de truncamiento y biselamiento son tangentes a la esfera inscrita en el poliedro de partida.

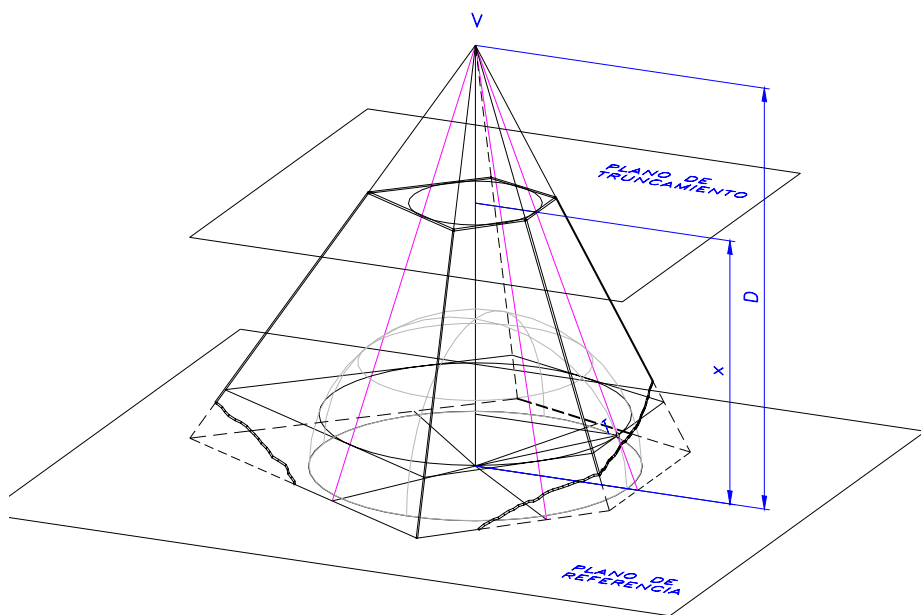
Estas conclusiones han inducido a formular una hipótesis de trabajo y es que, probablemente, en cualquier poliedro con esfera inscrita (sea o no regular), el plano de truncamiento que da lugar a la forma poliédrica más compacta sea aquel que es tangente a dicha esfera.

El objeto del presente trabajo es verificar si esta hipótesis es cierta.

## 2. Compacidad de formas poliédricas obtenidas por truncamiento de los vértices de poliedros con esfera inscrita

Tomando como punto de partida un poliedro convexo cualquiera es posible obtener nuevas formas poliédricas mediante el truncamiento de uno de sus vértices. Se va a analizar a continuación, como varía la compacidad de la forma poliédrica resultante en función de la situación del plano de truncamiento. Para ello se seguirán unos criterios, que se citan seguidamente, con la finalidad de delimitar con claridad las características del poliedro de partida así como la situación del plano de truncamiento sobre el poliedro.

El plano de truncamiento se elegirá de forma que sea perpendicular a la recta que une el vértice a truncar con el centro de la esfera inscrita en el poliedro de partida. Se ha elegido este tipo de truncamiento para mantener un criterio similar al elegido en estudios anteriores para el estudio de la compacidad de formas poliédricas derivadas de las formas platónicas por truncamiento de sus vértices, en donde se han considerado siempre planos perpendiculares al eje de rotación que pasa por el vértice a truncar



*Figura 1*

El intervalo de variación de la distancia  $x$  se va a considerar, en principio, desde el valor  $0$  (correspondiente a un plano que pasa por el centro de la esfera inscrita) hasta el valor  $D$  (equivalente a un truncamiento nulo).

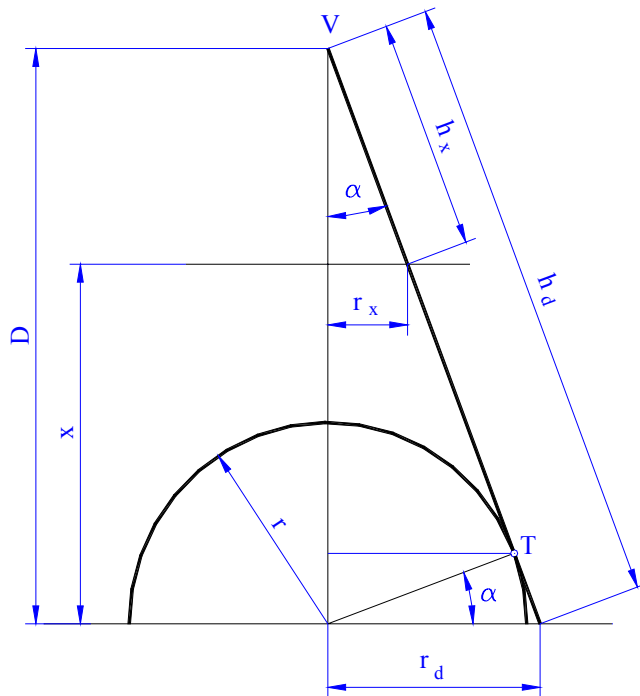
Se va suponer, por otra parte que el plano de truncamiento afecta únicamente a un solo vértice poliédrico a lo largo del intervalo de variación de la distancia  $x$ .

En la figura (

*Figura 1*) se muestra un fragmento de una forma poliédrica con esfera inscrita a la que se ha aplicado un truncamiento sobre uno de sus vértices según los criterios mencionados.

Aparecen representados: uno de sus vértices ( $V$ ), la esfera inscrita y las aristas que concurren en el vértice considerado. Se ha exagerado la situación del vértice con la finalidad de facilitar la interpretación del dibujo. También aparecen representados dos planos. Uno de ellos es el plano de truncamiento, perpendicular a la recta que une el vértice con el centro de la esfera inscrita, y el otro es un plano paralelo que pasa por el centro de la esfera inscrita y que se ha tomado como referencia para la representación.

En otra figura (*Figura 2*) se ha dibujado una sección del poliedro a lo largo de un plano que pasa por el vértice a trincar y por el centro de la esfera inscrita, y es perpendicular a una de las caras que concurren en el vértice considerado.



*Figura 2*

La situación del plano de truncamiento se va a determinar midiendo a que distancia se encuentra dicho plano del centro de la esfera inscrita.

El efecto que produce la operación de truncamiento de un vértice es equivalente a eliminar un fragmento de forma piramidal del poliedro de partida. A partir de ahora se hará referencia con frecuencia a esta pirámide ya que el calculo de su superficie y

volumen será imprescindible para llevar a cabo el cálculo de la compacidad de la forma poliédrica resultante.

### 3. Obtención de la función compacidad

Antes de proceder al cálculo es conveniente disponer del valor de las razones trigonométricas del ángulo  $\alpha$ . Estas se pueden calcular a partir de la figura (*Figura 2*)

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{r}{D} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{D^2 - r^2}}{D} = \frac{c}{D} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{\sqrt{D^2 - r^2}} = \frac{r}{c}$$

habiendo hecho  $\sqrt{D^2 - r^2} = c$

Volviendo al fragmento piramidal eliminado, este presenta las particularidades siguientes que se mencionan a continuación.

Los triángulos que forman las caras laterales tienen todos la misma altura. Esto se puede verificar centrando la atención en el caso concreto de la pirámide que tiene su base situada en el plano de truncamiento que contiene los puntos de tangencia de la esfera inscrita con las caras que concurren en el vértice. En este caso se observa que las alturas de los triángulos que forman las caras laterales de la pirámide se corresponden con la distancia que hay desde el vértice hasta los puntos de tangencia con la esfera. Estas distancias son iguales. Por ello, para cualquier otro plano de truncamiento paralelo al mencionado, se verifica que las alturas de los triángulos que forman las caras de la pirámide también son iguales.

Su base es siempre un polígono circunscrito a una circunferencia. Esta circunstancia también se puede comprobar centrando la atención en el caso del plano de truncamiento que pasa por los puntos de tangencia de las caras de la pirámide con la esfera inscrita en el poliedro de partida. En este caso los puntos de tangencia están situados sobre una circunferencia. Por ello, para cualquier otro plano paralelo al mencionado, al ser las bases de las pirámides homotéticas unas de otras, se sigue verificando que existe una circunferencia inscrita en el polígono que forma la base de la pirámide.

La altura de esta pirámide dependerá de la distancia a que se efectúe el truncamiento del poliedro. Para calcular todos los datos de la misma, se partirá del valor que adquieren cuando se considera que su base esté situada en el plano que pasa por el centro de la esfera inscrita en el poliedro de partida. Se van a emplear las siguientes denominaciones:

$P_D$  = perímetro de la base de la pirámide cuando se considera que la misma esta situada en el plano que pasa por el centro de la esfera inscrita en el poliedro de partida.



$r_D$  = radio de la circunferencia inscrita en la base de la pirámide cuando se considera que su altura es  $D$ . Se puede expresar como:

$$r_D = \frac{r}{\cos \alpha} = \frac{Dr}{c}$$

$h_D$  = altura de los triángulos que forman las caras laterales de la pirámide de altura  $D$ . Toma el siguiente valor:

$$h_d = \frac{D}{\cos \alpha} = \frac{D^2}{k}$$

Si en vez de considerar una pirámide de altura  $D$ , se considera una altura dada por la situación del plano de truncamiento a una distancia  $x$  del centro de la esfera inscrita en el poliedro de partida, los parámetros anteriores tomarán valores proporcionales a la altura de la misma  $(D - x)$ :

$$P_x = P_d \frac{D-x}{D} \quad r_x = \frac{Dr}{c} \frac{D-x}{D} = \frac{r(D-x)}{c} \quad h_x = \frac{D^2}{c} \frac{D-x}{D} = \frac{D(D-x)}{c}$$

A partir de estos valores ya es posible calcular la superficie y el volumen del poliedro truncado. La superficie del poliedro truncado es la superficie del poliedro origen menos la superficie lateral de la pirámide más la superficie de la base de la pirámide:

$$\begin{aligned} S &= S_0 - (1/2)P_x h_x + (1/2)P_x r_x = \\ &= S_0 - (1/2)P_D \frac{D-x}{D} \frac{D(D-x)}{c} + (1/2)P_D \frac{D-x}{D} \frac{r(D-x)}{c} \\ S &= S_0 - P_D \frac{(D-x)^2 (D-r)}{2cD} \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Y el volumen del poliedro truncado es el volumen del poliedro de partida menos el volumen del fragmento piramidal eliminado como consecuencia del truncamiento:

$$\begin{aligned} V &= V_0 - (1/3)(1/2)P_x r_x (D-x) = \\ &= V_0 - (1/3)(1/2)P_D \frac{D-x}{D} \frac{r(D-x)}{c} (D-x) \\ V &= V_0 - (1/6)P_D \frac{r(D-x)^3}{cD} \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Como ya son conocidos la superficie y el volumen, se puede calcular la compacidad del poliedro truncado:

$$K = \frac{S}{V^{2/3}} = \frac{S_0 - P_D \frac{(D-x)^2(D-r)}{2cD}}{\left[ V_0 - (1/6)P_D \frac{r(D-x)^3}{cD} \right]^{2/3}}$$

#### 4. Estudio de las características de la función compacidad

Se desea hacer un estudio, en líneas generales, sobre la forma de la gráfica de la función compacidad, con la finalidad de analizar su variación con la distancia de truncamiento y, en particular, comprobar en que punto alcanza la compacidad su valor mínimo.

Observando el valor que toma la primera derivada de la función se va a comprobar si la función es creciente o decreciente y en que intervalo. El valor de la primera derivada de la función, teniendo en cuenta las expresiones que siguen

$$\frac{dS}{dx} = P_D \frac{D-r}{cD} (D-x) \qquad \frac{dV}{dx} = \frac{1}{2} P_D (D-x)^2 \frac{r}{cD}$$

ofrece el siguiente resultado, después de simplificar

$$\frac{dK}{dx} = \frac{P_D \frac{1}{cD} (D-x) \left[ (D-r)V - \frac{1}{3} S(D-x)r \right]}{V^{5/3}}$$

Si se tiene en cuenta que se puede expresar el volumen del poliedro de partida en función de su superficie y del radio de la esfera inscrita como:

$$V_0 = (1/3)S_0r$$

se tiene el siguiente resultado:

$$\frac{dK}{dx} = \frac{P_D \frac{1}{cD} (D-x)V(x-r)}{V^{5/3}}$$

Puesto que siempre se cumple  $D \geq x$ , el valor de la derivada de la función depende únicamente del valor de  $x - r$ . Es decir, la función será creciente para  $x > r$ , decreciente para  $x < r$ , y presenta dos puntos de tangente horizontal: en  $x = r$  y en  $x = D$ .

De este primer análisis parece deducirse que la función presenta un mínimo en  $x = r$  y un máximo relativo en  $x = D$ . Para verificar si esto es así, es preciso averiguar qué valor toma la segunda derivada de la función compacidad.

El valor de la segunda derivada de la función, después de simplificar, se puede expresar como:

$$\frac{d^2 K}{dx^2} = \frac{\frac{d^2 S}{dx^2} V^2 - \frac{4}{3} V \frac{dS}{dx} \frac{dV}{dx} - \frac{2}{3} S V \frac{d^2 V}{dx^2} + \frac{10}{9} S \left( \frac{dV}{dx} \right)^2}{V^{8/3}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Si se tienen cuenta los valores de  $S$  y  $V$ , calculados con anterioridad (Ecuaciones 1 y 2), se pueden calcular sus derivadas con respecto a  $x$ .

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dx} &= P_D \frac{D-r}{cD} (D-x) & \frac{d^2 S}{dx^2} &= -P_D \frac{D-r}{cD} \\ \frac{dV}{dx} &= \frac{1}{2} P_D \frac{r}{cD} (D-x)^2 & \frac{d^2 V}{dx^2} &= -P_D \frac{r}{cD} (D-x) \end{aligned}$$

Particularizando el valor de estas expresiones para  $x = r$  y sustituyendo estos resultados en la expresión que da el valor de la segunda derivada de la función compacidad (Ecuación 3), se obtiene, después de simplificar:

$$\left( \frac{d^2 K}{dx^2} \right)_{x=r} = \frac{P_D \frac{D-r}{cD} \left( -V^2 + \frac{2}{3} S V r \right) + P_D^2 \frac{(D-r)^4}{c^2 D^2} r \left( \frac{5}{18} S r - \frac{2}{3} V \right)}{V^{8/3}}$$

Si se tiene en cuenta que se trata de calcular el valor de la segunda derivada para  $x = r$ , en este punto se verifica que todas las caras del poliedro truncado son tangentes a la esfera inscrita en el poliedro de partida, por tanto se verifica:

$$V = (1/3) S r$$

Sustituyendo este valor en la expresión de la derivada, resulta:

$$\left( \frac{d^2 K}{dx^2} \right)_{x=r} = \frac{P_D \frac{D-r}{cD} V^2 + P_D^2 \frac{(D-r)^4}{c^2 D^2} \frac{1}{6} r V}{V^{8/3}} > 0$$

puesto que  $D - r$  es mayor que cero

Lo cual indica que el valor encontrado  $x = r$  es, tal como se sospechaba, un mínimo relativo de la función compacidad.

Con relación al otro resultado  $x = D$ , si calculan las segundas derivadas de las funciones superficie y volumen particularizadas para este valor y se sustituyen en la expresión de la segunda derivada de la función compacidad (*Ecuación 3*) se obtiene:

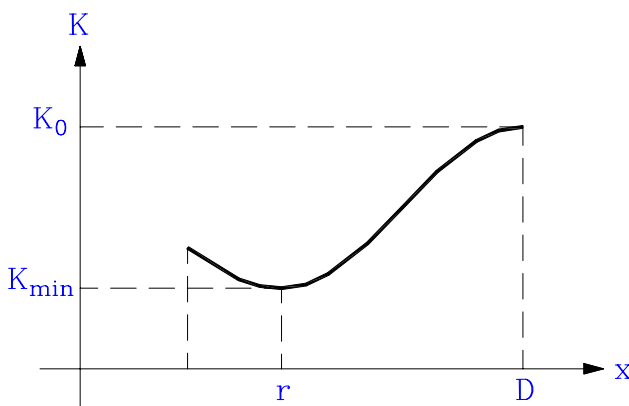
$$\left( \frac{d^2 K}{dx^2} \right)_{x=D} = \frac{-P_D \frac{D-r}{cD} V_0^2}{V^{8/3}} < 0$$

Lo que demuestra que  $x = D$  representa, tal como era de prever, un máximo relativo de la función compacidad.

## 5. Representación de la función compacidad

Las conclusiones obtenidas en cuanto a la forma de la gráfica son, en resumen:

- La función tiene pendiente negativa para valores  $x < r$ .
- Presenta un mínimo en el punto  $x = r$ .
- Tiene pendiente positiva para  $x > r$ .
- Presenta un punto de tangente horizontal para  $x = D$ .



*Figura 3*

Con estos datos se puede aproximar cual será el aspecto que, en líneas generales, presentará la función compacidad. En la figura (*Figura 3*) se muestra la forma de la gráfica. Hay que precisar que no se puede extender la forma de la gráfica hasta el punto  $x=0$  puesto que puede darse la circunstancia de que en el intervalo  $(0,r)$  el plano

de truncamiento intercepte a más de un vértice del poliedro en cuyo caso, la función obtenida deja de tener validez.

El resultado obtenido indica, en definitiva, que el poliedro más compacto se genera cuando el plano de truncamiento es tangente a la esfera inscrita en el poliedro de partida, con lo que queda demostrada la validez de la hipótesis planteada inicialmente.

## 6. Conclusiones

La conclusión a la que se ha llegado es que si se parte de una forma poliédrica cualquiera con esfera inscrita y se trunca uno de sus vértices por un plano perpendicular a la recta que une el vértice a trincar con el centro de la esfera inscrita, la forma poliédrica más compacta se obtiene cuando el plano de truncamiento es tangente a dicha esfera.

Esta conclusión encaja perfectamente con los resultados obtenidos en estudios anteriores relativos al truncamiento de los vértices de las formas platónicas y confirma la hipótesis que entonces se había planteado en cuanto a la situación del plano de truncamiento que da lugar a la obtención de la forma poliédrica más compacta.

Por otra parte, se ha averiguado cual es el aspecto que, en líneas generales, presenta siempre la gráfica de la función compacidad. El resultado alcanzado es totalmente coherente con las formas de las gráficas de la función compacidad obtenidas con anterioridad para el truncamiento de formas platónicas.

## Referencias

---

[<sup>1</sup>] Alvarez Gómez, J.M. y Gancedo Lamadrid, E. “Compacidad de los poliedros convexos, regulares y arquimedianos”. *Ponencia presentada al VIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería*, Jaén. (Junio, 1996)

[<sup>2</sup>] Alvarez Gómez, J.M. y Gancedo Lamadrid, E. “Curvas de compacidad de los poliedros arquimedianos en función de las distancias de truncamiento”. *Ponencia presentada al VIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería*, Jaén. (Junio, 1996)

[<sup>3</sup>] Alvarez Gómez, J.M.; Suárez González, J.; y Gancedo Lamadrid, E. “Superficie de compacidad de los sólidos arquimedianos obtenidos truncando y biselando el hexaedro regular”. *Ponencia presentada al IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería*, Bilbao (Junio, 1997).

[<sup>4</sup>] Alvarez Gómez, J.M., Suárez González, J. y Gancedo Lamadrid, E. “Superficie de compacidad de los sólidos arquimedianos que se obtienen mediante truncamiento y biselamiento del icosaedro regular”. *Ponencia presentada al X Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería*, Málaga (Junio, 1998)

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### LA ESTABILIDAD DEL VEHÍCULO EN LAS CURVAS: ASPECTOS GEOMÉTRICOS Y SU INFLUENCIA EN EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

#### *VEHICLE STABILITY IN CURVES: GEOMETRICAL ASPECTS AND ITS INFLUENCE IN SAFETY FACTOR*

TOMÁS JOVER, Roberto <sup>(1)</sup>; BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis <sup>(2)</sup>;  
FERREIRO PRIETO, Juan Ignacio <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidad de Alicante, España  
Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía  
Correo electrónico: roberto.tomas@ua.es

<sup>(2)</sup>Grupo Ortiz, Construcción y Servicios, S.A.  
Correo electrónico: lbanon@gruportiz.com

### RESUMEN

Las curvas son los elementos de trazado en planta en los que la estabilidad del vehículo se ve más comprometida. Por ello, su geometría debe adaptarse a la dinámica del vehículo para garantizar la seguridad de sus ocupantes, en cada una de las condiciones climáticas que puedan presentarse. El objetivo de este artículo es efectuar un análisis pormenorizado de los diferentes elementos geométricos que influyen en la dinámica del vehículo cuando circula por una alineación curva y determinar cuál es su importancia en el factor de seguridad que ésta ofrece, en cada una de las situaciones climáticas previsibles.

**Palabras clave:** Ingeniería de carreteras, peralte, estabilidad, dinámica, vehículos, seguridad vial.

### ABSTRACT

Curves are horizontal alignment road design elements whose vehicle stability gets in compromise. Thus, its geometry must be adapted to vehicle dynamics in order to assure the safety of its occupants, in each climatic condition possible. The purpose of this work is to make a detailed analysis of the different geometrical elements that have influence in vehicle dynamics when it transits through a circular alignment and to determine what's its relative influence in its safety factor, in each predictable climatic condition.

**Key words:** Road engineering, superelevation, stability, dynamics, vehicles, road safety

# 1. Introducción

Las curvas son los elementos de trazado de la carretera que presentan una mayor problemática desde el punto de vista de su proyecto, de forma que garanticen una correcta estabilidad de cualquier vehículo que transita por ellas. Este hecho es debido a la peculiar distribución de fuerzas que actúan sobre el automóvil cuando éste aborda este tipo de alineaciones en planta, mucho más crítica que la existente en alineaciones rectas.

Por tanto, para diseñar correctamente una curva es necesario determinar qué requisitos deben presentar para que los vehículos transiten por ésta en condiciones de seguridad y comodidad adecuadas, así como cuantificar el factor de seguridad existente en diversas condiciones de circulación.

La presente comunicación analizará las condiciones de estabilidad del vehículo en las alineaciones curvas, determinará los parámetros que ejercen una mayor influencia sobre aquélla, para finalmente obtener indicadores destinados a la evaluación del factor de seguridad existente en una curva y aplicar dichos resultados a las condiciones de proyecto estipuladas por la normativa española vigente.

## 2. Dinámica del vehículo en alineaciones curvas

El comportamiento de un vehículo al tomar una curva es, como consecuencia del sistema de fuerzas actuantes sobre el mismo, más inestable que cuando se halla circulando por línea recta. La principal diferencia entre ambas situaciones es la aparición en el primer caso de la fuerza centrífuga; esta fuerza ficticia no es más que consecuencia de la Ley de Inercia -primera ley de Newton-, ya que al tomar la curva el vehículo se halla constantemente cambiando su dirección. Para contrarrestar dicho efecto, se dota a la curva de un peralte o inclinación transversal.

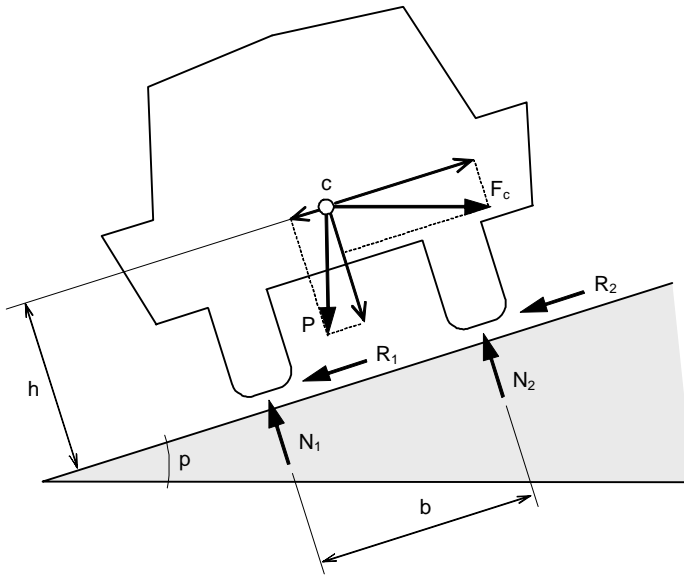
Las fuerzas actuantes sobre el vehículo (Fig. 1) son las siguientes:

- Peso del vehículo (P): Fuerza vertical aplicada en el centro de masas del móvil,  $c$ , generada como consecuencia de la acción del campo gravitatorio terrestre. Puede expresarse en función de la aceleración de la gravedad,  $g$ , y de la masa del vehículo,  $m$ :

$$P = m \cdot g$$

- Fuerza centrífuga ( $F_c$ ): Provocada por la variación en la dirección del vehículo dentro de la curva circular. Es proporcional a la aceleración normal,  $a_n$ , que depende de la velocidad a la que circula el vehículo,  $v$ , y del radio  $r$  de la curva. Su expresión matemática es la siguiente:

$$F_c = m \cdot a_n = m \cdot \frac{v^2}{r}$$



*Fig. 1.- Diagrama de fuerzas actuantes sobre el vehículo en una curva*

- Fuerza de rozamiento (R): Fuerza pasiva producida por el contacto entre neumático y pavimento. Depende de la reacción normal a la superficie de contacto,  $N$ , y del coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal,  $f_t$ . Su expresión matemática es la siguiente:

$$F_c = f_t \cdot N$$

### 3. Condiciones de estabilidad

Para evaluar la estabilidad del vehículo es necesario analizar dos hipótesis diferenciadas: la hipótesis de deslizamiento y la hipótesis de vuelco.

#### 3.1. Hipótesis de deslizamiento

En este caso se estudia el movimiento del vehículo en el plano de rodadura, que coincide con la superficie del pavimento en contacto con el neumático. Planteando la ecuación de equilibrio de fuerzas en dicho plano, según el esquema expuesto en la Fig. 1, se obtiene la siguiente igualdad:

$$F_c = R_1 + R_2 + P \cdot \sen p$$

Sustituyendo por las correspondientes expresiones equivalentes, anteriormente citadas:



$$m \frac{v^2}{r} = f_t(N_1 + N_2) + mg \cdot \text{sen} p$$

Teniendo en cuenta que para ángulos pequeños, puede hacerse la aproximación  $\text{sen} p = \text{tan} p = p$ , por tratarse de infinitésimos equivalentes, y que  $\text{cosp} \approx 1$ , la anterior expresión queda simplificada:

$$m \frac{v^2}{r} = mgf_t + mgp$$

Cancelando la masa a ambos lados de la ecuación y trasladando el radio al otro miembro, quedará:

$$v^2 = rg \cdot (f_t + p)$$

siendo ésta la condición de equilibrio de fuerzas horizontales en una curva circular.

Sin embargo, la condición de deslizamiento dependerá de los valores adoptados por el peralte y la velocidad de circulación del vehículo, pudiéndose dar un desplazamiento del vehículo hacia el exterior de la curva, provocado por una velocidad excesiva, por insuficiencia de peralte o por una baja adherencia neumático-pavimento, o por el contrario, un deslizamiento hacia el interior de la curva, ocasionado normalmente por un peralte excesivamente pronunciado (Tabla 1). De ambos casos, el primero es el más común.

Tabla 1: Condiciones de deslizamiento en curvas

<i>Caso</i>	<i>Premisa</i>	<i>Condición de deslizamiento</i>	<i>Causas</i>
Desplazamiento hacia el exterior	$p < \frac{v^2}{gr}$	$v^2 > rg \cdot (p + f_t)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad excesiva</li> <li>- Peralte insuficiente</li> <li>- Baja adherencia</li> </ul>
Desplazamiento hacia el interior	$p > \frac{v^2}{gr}$	$v^2 < rg \cdot (p + f_t)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peralte excesivo</li> <li>- Velocidad baja</li> </ul>

### 3.2. Hipótesis de vuelco

El vuelco del vehículo tendrá lugar si el momento producido por las fuerzas desestabilizadoras o volcadoras supera al momento generado por las fuerzas estabilizadoras que sobre él inciden.

Planteando el equilibrio de momentos respecto del centro de gravedad del vehículo, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{b}{2}(N_2 - N_1) = h \cdot (R_1 + R_2)$$

Teniendo en cuenta que la fuerza de rozamiento,  $R_i$ , puede expresarse en función de la normal correspondiente,  $N_i$ , la anterior expresión de equilibrio puede describirse como:

$$\frac{b}{2}(N_2 - N_1) = f_t h \cdot (N_1 + N_2)$$

Los puntos críticos donde puede producirse este vuelco son aquellos donde se produce el contacto del vehículo con el firme, pudiéndose ocasionar vuelco hacia el exterior o hacia el interior de la curva. La condición de vuelco se producirá si el valor de cualquiera de las dos reacciones verticales,  $N_1$  ó  $N_2$ , se anula totalmente, con lo cual la condición límite que se obtiene en ambos casos –vuelco hacia el exterior o vuelco hacia el interior de la curva- es la siguiente:

$$f_t > \frac{b}{2h}$$

### 3.3. Hipótesis crítica

A la vista de los anteriores resultados, puede afirmarse que predominará la condición de vuelco en aquellos supuestos en los que el rozamiento movilizado sea alto y el vehículo presente centros de gravedad más elevados, es decir, si se trata de vehículos pesados en condiciones climáticas favorables, firme seco, con altos valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal (CRDt).

Por contra, será más probable que la condición crítica sea la de deslizamiento en aquellos casos en los que los vehículos involucrados presenten un centro de gravedad bajo y circulen bajo condiciones climáticas adversas, en las que el firme se encuentra firme húmedo o deslizante, presentando valores bajos de rozamiento transversal. Este fenómeno se agrava con velocidades elevadas, ya que el valor del CRDt disminuye conforme aumenta aquélla, en presencia de agua (Tabla 2).

## 4. Parámetros determinantes de la estabilidad del vehículo

De lo anteriormente expuesto, se deduce que hay cuatro tipos de parámetros cuya adecuada combinación determina la estabilidad del vehículo al abordar una curva. Estos parámetros pueden a su vez agruparse en dos subgrupos:

- (a) Parámetros intrínsecos: Son aquellos cuyo valor no depende de condicionantes externos a la geometría de la curva y del vehículo, que permanecen constantes. Pueden distinguirse los siguientes:

- Relativos al trazado de la carretera: Radio horizontal de la curva,  $r$ , y peralte de la misma,  $p$ .
  - Relativos al vehículo: Relación entre la posición del centro de masas del vehículo respecto al pavimento,  $h$ , y la distancia existente entre caras exteriores de neumáticos de un mismo eje,  $b$ .
- (b) Parámetros extrínsecos: A diferencia de los anteriores, dependen de condiciones externas variables, tales como el tipo de usuario o la climatología. Cabe diferenciar los siguientes:
- *Velocidad de circulación*,  $v$ , dependiente del usuario y de las condiciones climáticas que influyen en aquél a la hora de regular la velocidad del vehículo.
  - *Coefficiente de resistencia al deslizamiento transversal*,  $f_t$ , dependiente en gran medida de las condiciones climáticas -presencia de agua o hielo en el pavimento-, de la velocidad de circulación y del estado del pavimento.

Tabla 2: Condiciones de inestabilidad en curvas. Hipótesis críticas.

<i>Hipótesis</i>	<i>Caso</i>	<i>Causas</i>	<i>Situaciones desencadenantes</i>
Deslizamiento	Exterior de la curva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad excesiva</li> <li>- Peralte insuficiente</li> <li>- Bajo CRDt</li> </ul>	Vehículos circulando a elevada velocidad en condiciones climáticas adversas
	Interior de la curva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peralte excesivo</li> <li>- Velocidad baja</li> <li>- Bajo CRDt</li> </ul>	Vehículos circulando a baja velocidad en condiciones climáticas adversas
Vuelco	Exterior de la curva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto rozamiento movilizado</li> <li>- Relación <math>b/h</math> baja</li> <li>- Velocidad elevada</li> </ul>	Vehículos pesados circulando a velocidad elevada en condiciones climáticas favorables
	Interior de la curva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peralte excesivo</li> <li>- Alto rozamiento movilizado</li> <li>- Relación <math>b/h</math> baja</li> </ul>	Vehículos pesados circulando a baja velocidad en condiciones climáticas favorables

## 5. Evaluación del factor de seguridad de una curva

Una vez evaluados los parámetros que intervienen de forma directa en la estabilidad del vehículo, pueden confeccionarse diferentes índices que evalúen el grado de seguridad que presenta una curva.

Un parámetro que da una idea de la seguridad de una curva es el **factor de seguridad intrínseco** de la curva,  $\beta$ , que determina la proporción de aceleración centrífuga compensada únicamente por el peralte:

$$\beta = \frac{gp}{v^2/r} = \frac{rgp}{v^2}$$

siendo  $v$  la velocidad máxima permitida en dicha alineación, que suele coincidir con la velocidad específica del elemento.

A medida que la velocidad específica de la curva aumente, es lógico pensar que dicho coeficiente sea más próximo a la unidad, ya que el rozamiento transversal movilizado será cada vez menor. Este hecho, por otro lado, es necesario, ya que cuanto mayor es la velocidad por la que un vehículo puede circular en la curva, más fiables deben ser las condiciones de seguridad que aseguren su correcta circulación.

Asimismo, puede calcularse la velocidad  $v_0$  a la que el vehículo podría tomar la curva sin ejercer acción alguna sobre el volante, es decir, sin movilizar rozamiento transversal:

$$v_0 = \sqrt{rgp} = v \cdot \sqrt{\beta}$$

Por tanto, también puede definirse el factor de seguridad intrínseco como la relación entre el cuadrado de la velocidad necesaria para no movilizar rozamiento transversal y el de la velocidad específica de dicha curva.

$$\beta = \left( \frac{v_0}{v} \right)^2$$

Un segundo parámetro útil para evaluar la seguridad existente en una determinada curva es el **factor de seguridad extrínseco** de la curva,  $\gamma$ , que relaciona la máxima velocidad a la que puede circularse por la curva en condiciones estrictas de seguridad,  $v_I$ , y la velocidad específica de dicha alineación,  $v$ :

$$\gamma = \frac{rg(p + f_t)}{v^2} = \left( \frac{v_I}{v} \right)^2$$

Al igual que en caso anterior, puede calcularse la velocidad  $v_I$  a la que el vehículo podría tomar la curva en condiciones estrictas de seguridad, es decir, movilizando la totalidad del rozamiento transversal:

$$v_I = \sqrt{rg(p + f_t)} = v \cdot \sqrt{\gamma}$$

6. Aplicación a de la normativa vigente

La actual Instrucción de Carreteras, en su Norma 3.1-IC, aprobada por Orden Ministerial del 27/12/1999, especifica los criterios, parámetros y valores con los que se deben proyectar alineaciones curvas y, por tanto, deben satisfacer la totalidad de las carreteras integrantes de cualquier red viaria española.

En lo que respecta a esta comunicación, son de utilidad los datos proporcionados por dicha norma acerca de los radios mínimos a adoptar en función de la velocidad, así como los valores a adoptar en peraltes y del máximo coeficiente de rozamiento transversal movilizado.

El radio mínimo a adoptar depende directamente de la velocidad específica de la curva, mientras que el valor del peralte viene condicionado por el radio de la curva horizontal al que se vincula, así como por la categoría de la vía considerada (Tabla 3), mientras que el del CRDt de proyecto viene determinado por la velocidad de proyecto, en condiciones de firme húmedo (Tabla 4).

Tabla 3: Radios mínimos y peraltes a adoptar en carreteras (Norma 3.1-IC, 2000)

Grupo 1 Autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras C-100			Grupo 2 Carreteras C-80, C-60 y C-40		
v (km/h)	r (m)	p (%)	v (km/h)	r (m)	p (%)
80	250	8,00	40	50	7,00
85	300		45	65	
90	350		50	85	
95	400		55	105	
100	450		60	130	
105	500		65	155	
110	550		70	190	
115	600		75	225	
120	700		80	265	
125	800		85	305	
130	900	7,51	90	350	
135	1050	6,97	95	410	6,50
140	1250	6,25	100	485	5,85
145	1475	5,49	105	570	5,24
150	1725	4,84	110	670	4,67
		4,29			

Tabla 4: Valores de CRDt a adoptar en proyectos de carreteras (Norma 3.1-IC, 2000)

v (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
f <sub>t</sub>	0,180	0,166	0,151	0,137	0,122	0,113	0,104	0,096	0,087	0,078	0,069	0,060

Aplicando dichos valores a las condiciones de inestabilidad estudiadas, pueden evaluarse las condiciones existentes de seguridad en diversas condiciones climáticas: firme seco ( $f_i = 0.45$ ), húmedo ( $f_i$  en función de  $v$ ) o con hielo ( $f_i = 0,10$ ), obteniendo los coeficientes  $\beta$  y  $\gamma$ , así como la máxima de velocidad a la que se puede circular en condiciones de seguridad,  $v_l$  (Tablas 5 y 6).

Tabla 5: Evaluación de la seguridad en las curvas aplicando condiciones normativas (carreteras del Grupo 1, Norma 3.1-IC)

v (km/h)	$\beta$	$\gamma$			v <sub>l</sub> (km/h)		
		SECO	HUMEDO	HIELO	SECO	HUMEDO	HIELO
80	0.40	2.63	1.00	0.45	130	80	53
90	0.44	2.91	1.06	0.49	154	93	63
100	0.46	3.03	1.05	0.51	174	103	72
110	0.46	3.06	1.02	0.52	193	111	79
120	0.49	3.28	1.03	0.56	217	122	89
130	0.47	3.52	1.00	0.54	244	130	95
140	0.45	4.09	1.00	0.53	283	140	102
150	0.42	4.80	1.00	0.52	329	150	108

Tabla 6: Evaluación de la seguridad en las curvas aplicando condiciones normativas (carreteras del Grupo 2, Norma 3.1-IC)

v (km/h)	$\beta$	$\gamma$			v <sub>l</sub> (km/h)		
		SECO	HUMEDO	HIELO	SECO	HUMEDO	HIELO
40	0.28	2.07	0.99	0.32	57	40	23
50	0.30	2.25	1.02	0.35	75	51	29
60	0.32	2.39	1.01	0.37	93	60	36
70	0.35	2.56	1.02	0.39	112	71	44
80	0.37	2.74	1.01	0.42	132	80	52
90	0.38	2.86	1.01	0.44	152	90	60
100	0.36	3.14	1.00	0.42	177	100	65
110	0.33	3.50	1.00	0.40	206	110	69

## 7. Conclusiones

Tras analizar las condiciones dinámicas a las que se ve sometido un vehículo cuando aborda una curva, queda patente la importancia de los parámetros geométricos de la carretera a la hora de garantizar su estabilidad y, por ende, la seguridad de sus ocupantes.

Los resultados obtenidos en el anterior análisis reflejan una gran importancia del peralte como elemento geométrico que contrarreste la fuerza centrífuga e impida el

deslizamiento del vehículo. Así lo indican los valores obtenidos del factor de seguridad intrínseco, tanto en carreteras del Grupo 1, con un valor medio de  $\beta = 0,45$ , como del Grupo 2, con un valor medio algo inferior, de  $\beta = 0,34$ . Ello supone que la velocidad a la que no se moviliza rozamiento oscila entre el 67 y el 58% de la velocidad específica de la curva,  $v$ , lo que favorece la seguridad en condiciones climáticas desfavorables, como puede ser el firme heladizo, en donde la estabilidad no puede confiarse a la adherencia neumático-pavimento.

Otro resultado llamativo son los elevados valores del factor de seguridad extrínseco  $\gamma$  en caso de condiciones climáticas favorables y firme seco, con elevados valores de  $f$ , llegándose a alcanzar velocidades máximas en condiciones de seguridad estricta que doblan la específica del elemento.

Por otro lado, no suele ser habitual que la condición de vuelco sea la más restrictiva, teniendo en cuenta que el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal movilizado en condiciones de firme seco suele oscilar entre 0,55 y 0,40 (Kraemer *et al*, 1999), con lo que harían falta relaciones geométricas del orden de  $h > b$  y suficiente velocidad para movilizar la totalidad del rozamiento transversal para conseguir que el vehículo volcara.

Estos resultados pueden ayudar a explicar el comportamiento de determinados conductores, que circulan a velocidades superiores a las máximas establecidas, pero que sin duda lo hacen dentro del margen de seguridad que impide que el vehículo abandone la trayectoria que debe seguir. Ello es debido probablemente a que el conductor evalúa diversos parámetros externos –estado del firme, tráfico circundante, condiciones climáticas y geometría de la vía- y adapta su velocidad a dichas circunstancias puntuales.

## 8. Bibliografía

BAÑÓN, L., BEVIÁ, JF. (2000). *Manual de Carreteras*. 1ª ed. Enrique Ortiz e Hijos, S.A. Alicante.

KRAEMER, C. *et al* (1999). *Carreteras I*. 1ª ed. Colección Escuelas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

MINISTERIO DE FOMENTO (2000). *Norma 3.1-IC: Trazado*. O.M. de 27 de diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, número 28, de 2 de febrero de 2000. Madrid.

# ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA BÓVEDA OJIVAL TOLLET.

Insua Cabanas M<sup>a</sup> Mercedes; Fernández Ibáñez M<sup>a</sup> Isabel.

Insua Cabanas, M<sup>a</sup> Mercedes  
Universidad de A Coruña  
E.U.P. Departamento de Ingeniería Industrial  
minsua@cdf.udc.es

Fernández Ibáñez, M<sup>a</sup> Isabel  
Universidad de A Coruña  
E.U.P. Departamento de Ingeniería Industrial.  
isafer@cdf.udc.es

## RESUMEN

La evolución de la arquitectura hospitalaria, derivó, durante el período pre-antiséptico, en una tipología de pabellones aislados, destinados a diferenciar grupos de enfermos.

Un período donde era primordial eludir el contagio miasmático, obligó a adoptar diversas soluciones arquitectónicas que trataron de favorecer la ventilación.

Solución novedosa, empleada en los hospitales más vanguardistas del mundo (1850-1930) fueron las salas tipo Tollet (Ingeniero militar francés) para cuya concepción se empleó como base fundamental la geometría de una bóveda ojival específica, que de acuerdo a los estudios de la circulación del aire caliente (miasmático) favorecía la distribución del aire y también su rápida evacuación.

Un ejemplo de esta tipología es el actual Comedor Universitario del Campus de Esteiro de la Universidad de la Coruña, antiguo Pabellón de Presos del “Hospital Nuestra Señora de los Dolores” de Ferrol.

Las geometrías de estas bóvedas, su antigüedad, el ser posiblemente el único ejemplo de esa tipología en Europa y la única en España, merecen un análisis específico. Este trabajo estudia en tres dimensiones su geometría y su funcionamiento.

**Palabras clave:** Geometría, diseño, bóvedas.



## 1. Introducción.

En 1878 el jurado de la Exposición Universal de París concedía el primer premio a la solución para la ventilación de salas comunes en hospitales o cuarteles propuesta por el Ingeniero militar Casimir Tollet. Su propuesta se basaba en el empleo de la forma geométrica ojival aplicada a la sala definida con anterioridad por el médico francés Jacques Tenón.

Desde entonces, e incluso antes, C. Tollet construyó multitud de edificios hospitalarios en todo el mundo occidental, (Italia, España -con el hoy llamado Gregorio Marañón-, Bélgica, Rusia, Argelia, América, etc.) que fueron la vanguardia de su época y su ejecución, en todos los casos fue encargada a la sociedad francesa por él creada “*Société Nouvelle de Constructions systeme Tollet*”.

Pocos son los hospitales de esta tipología que aún perduran. La mayoría han sido demolidos y otros totalmente rehabilitados, por lo que en la actualidad, únicamente tenemos constancia de la vigencia de una bóveda ojival de este tipo. Se trata de la existente en un pequeño pabellón, destinado en su origen a presos dentro del hospital “Nuestra Señora de los Dolores” de Ferrol, que a lo largo de su vida sirvió a diferentes usos.

La historia de este hospital data de 1762 pero no fue hasta 1894 en que se ejecutó un hospital de nueva planta que respondería a los supuestos de la higiene moderna, el hospital Tollet.

Desde comienzo de los años 90 la Universidad de la Coruña inició la rehabilitación (ya concluida) del denominado Campus de Esteiro ocupando así las instalaciones de los antiguos edificios construidos por la “*Société Nouvelle de Constructions systeme Tollet*” en 1894.

Todos los edificios rehabilitados, contaban con las soluciones de las bóvedas Tollet, antes de su rehabilitación, aunque la única que se mantuvo corresponde a la del pabellón mencionado, destinado en la actualidad a comedor universitario.

En este trabajo se analiza la geometría de esta bóveda aplicada a otro de sus edificios, Ver Fig.1 que a diferencia del comedor universitario, dispone de dos plantas y semisótano y por tanto de dos bóvedas. El ejemplo analiza un edificio destinado a pabellón de cirugía, hoy Centro Tecnológico de la UDC. aunque idéntica solución existió en otros pabellones del conjunto, destinados hoy a Escuela de Diseño Industrial y a Paraninfo.

Desde 1870 el ingeniero Cassimir Tollet, que había servido en la guerra en calidad de oficial, comprobó como después de una estancia prolongada en los cuarteles, escuelas u hospitales, muchos jóvenes morían, por esto e inspirándose en el aforismo de Romazzini: “*Tal aire, tal sangre*” luchó toda su vida por la reforma de estos alojamientos colectivos empleando para ello nuevos conceptos sanitarios y económicos.

Así nació el sistema Tollet, con un programa nuevo, que fue aceptado por todos veinte años después gracias a los múltiples esfuerzos, por parte de su autor, como él mismo señala.

## 2. Sistema Tollet.

El fin primero de su sistema era realizar una ventilación ascendente en las salas colectivas, permitiendo un aire respirable, en lugar del aire viciado *“que sofoca a las personas que vienen de fuera, sobre todo por la mañana, al despertar de los enfermos, que son víctimas inconscientes. Digo inconscientes, pues es de remarcar que al fin de una corta estancia en medio del aire viciado, los olores que se perciben son de lo más nauseabundos, igual que el que se produce sobre el solado de las habitaciones de los cuarteles. Una cierta somnolencia hace no defenderse y así comienza una lenta y fatal intoxicación.”* Tollet C. “Les hopitaux modernes”.

Hay que tener presente que en este momento no existían medios mecánicos de ventilación y únicamente el hospital Lariboisière de París, experimentaba la ventilación mecánica (Sistemas *Thomas* y *Laurens* por insuflación y ayuda de vapor, *Duvoir* y *Leblanc* por aspiración de aire caliente y el sistema del *Dr. Hecke* mediante ventilación por insuflación y calefacción mediante caloríficos de aire caliente) desgraciadamente, con nefastos resultados.

¿En que consistía esa ventilación ascendente, aplicada por Tollet en sus bóvedas?

## 3. Respiraderos o ventosas.

Al ser las ventanas insuficientes para asegurar la ventilación natural y con el fin de asegurar la entrada y la salida del aire, se practicaban en la parte superior e inferior de las salas aberturas circulares o rectangulares, llamadas respiraderos o ventosas, que permitían mantener el aire puro en las salas por medio de la corriente establecida entre el interior y el exterior. El número de estos orificios era variable y por lo regular suponía el doble del número de ventanas, no siendo su sección de diámetro inferior a 20 centímetros.

En casi todos los hospitales existían estos respiraderos, pero únicamente en la parte inferior. Los higienistas entendían sin embargo que era necesario darle salida al aire por la parte superior, con el fin de crear una corriente y para esto, el lugar más adecuado era entre las ventanas, tanto para los superiores como para los inferiores, de modo que estos últimos quedasen bajo el lecho de los enfermos.

Todo este asunto relativo a la ventilación, así como la disposición de los respiraderos fue muy discutido por los higienistas y se estudió científicamente el problema (Hudélo) llegando a curiosas observaciones acerca de la forma que adoptaban las diversas corrientes de ventilación creadas, según la disposición de las aberturas y las condiciones térmicas del aire introducido.

Básicamente podían estar dispuestas de tres maneras; a un mismo nivel (en la parte superior o inferior de las salas) entrada en la superior y salida en la inferior o viceversa. En cada caso se producían los siguientes fenómenos:

### Primer caso. Ventilación Horizontal.

Las aberturas de entrada y salida del aire estaban a la misma altura, arriba o debajo de las salas:

Si las temperaturas de entrada y de salida fueran iguales, se establecía una corriente horizontal que iría de una abertura a otra, ensanchándose más o menos en su parte media, según su velocidad y formando una corriente fusiforme de renovación a través de la atmósfera de la sala.

Si las temperaturas exterior e interior fuesen diferentes, la trayectoria de la corriente de ventilación adoptaría la forma de una curva, cuya dirección dependería del sentido y de la diferencia térmica. Si el aire de fuera era más frío y la abertura era alta, la convexidad de la curva se dirigiría hacia abajo y si el aire de fuera era más caliente y la abertura baja la convexidad de la curva se dirigiría hacia arriba, formándose en uno y otro caso en su parte media un ensanchamiento que se denominó “línea de difusión”.

### Segundo caso. Ventilación Descendente.

Las aberturas de entrada estaban arriba y las de salida abajo. Estableciendo las mismas condiciones térmicas que en el caso anterior y a igualdad de temperatura dentro y fuera, el aire entraría formando venas descendentes más o menos verticales, ensanchándose en su trayecto pero sin contribuir en gran medida a la ventilación, pues siendo nula la diferencia de temperatura, su acción únicamente dependería de la velocidad con que fuese introducida la corriente. Y si el aire exterior e interior tuviesen diferente temperatura, sucedería lo siguiente:

Si el aire exterior fuese más frío, su peso específico lo impulsaría en la misma dirección de la corriente, atravesaría la habitación con rapidez y se difundiría poco formando columnas de ventilación de un diámetro similar al de los orificios, entrando y saliendo sin renovar el aire.

### Tercer caso. Ventilación ascendente.

Las aberturas de entrada estarían abajo y las de salida arriba. Se producirían los fenómenos anteriores, aunque en orden inverso. Se verifica igualmente la ventilación en columna y en sábana, con la diferencia de que lo primero acontecería si el aire exterior fuera más caliente y lo segundo si fuese más frío. Esta es la ventilación llamada ascendente. La ventilación preferida por los higienistas de la época y la empleada también por Tollet, aunque al respecto las opiniones estaban divididas. No obstante respecto a la ventilación de los hospitales todos estaban de acuerdo ya que en una atmósfera impregnada de “*principios gaseosos*” que tendían a elevarse a capas superiores, la ventilación ascendente era la más provechosa al permitir realizar el ideal de la higiene “*Que un individuo no respirara dos veces un mismo aire*”. Ver Fig.1.

Los inconvenientes de este género de ventilación, no se consideraban serios, ya que aunque se decía que la corriente ascendente arrastraba polvo y gérmenes que iban directamente a los enfermos y podían producir enfriamientos peligrosos, otros autores opinaban que esto carecía de valor ya que podían diseminarse las aberturas de

introducción del aire y hasta era factible calentarlo hasta su penetración en las salas, caso que se aceptaba en los climas más fríos.



*Fig.1. Perspectiva Salas Tollet.*

#### **4. Sala Tollet.**

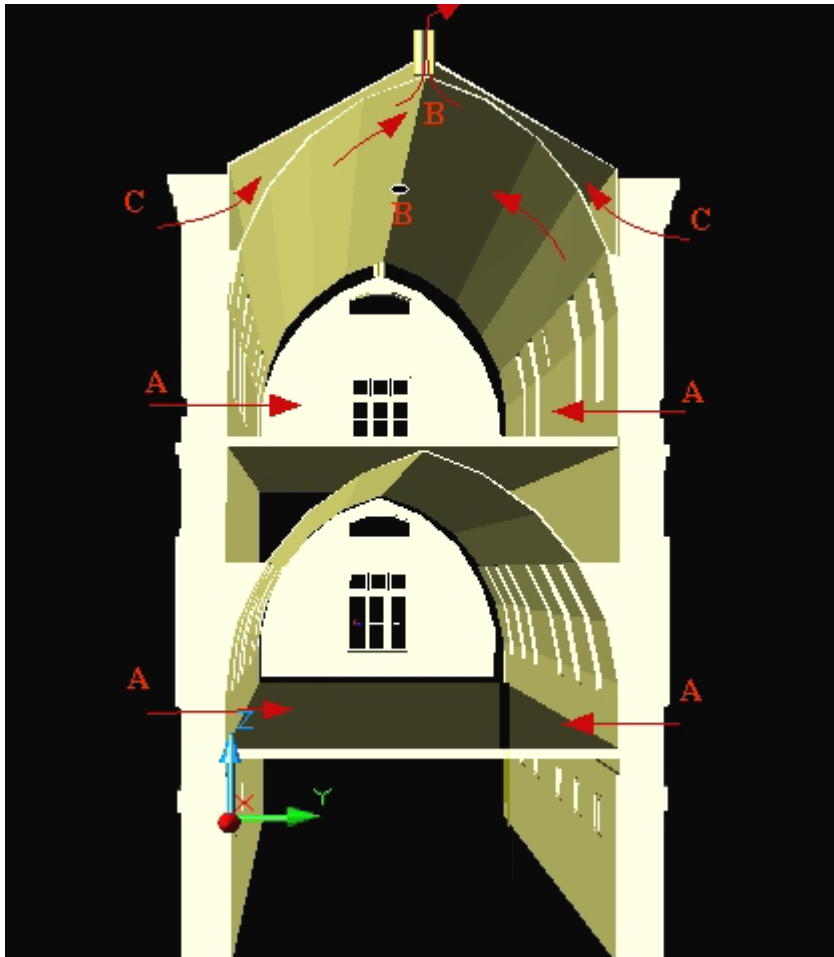
Basándose en esta ventilación ascendente C. Tollet, diseñó una bóveda ojival (Ver Fig.2) que ayudaba a dirigir el aire viciado hasta el ángulo diedro de la misma.

El aire se introducía directamente del exterior (clima templado de Ferrol) por medio de orificios practicados bajo las camas (A). además, éste podía ser regulado y era expelido de la sala mediante ventosas (B) para introducirse en el extrados de la bóveda (ventilada también desde el exterior, aunque separada del interior mediante aislantes) y agruparse en el plenum existente entre bóveda y cubierta. Por último, por diferencia de temperatura, el aire era arrojado al exterior mediante chimeneas situadas en los testeros del edificio. Ver Fig.2.

Tollet empleó para el diseño de estas bóvedas de 7,50 metros de luz, dos roscas de ladrillo que se apoyaban sobre una estructura de perfiles metálicos de forma ojival. Esta estructura descansaba a su vez en otra de acero, que formaba parte de los forjados.

Se trataba de una estructura ligera y sobre todo económica, basada en la funcionalidad. Sin embargo, empleó las formas tradicionales de la cantería como puede apreciarse en la Fig.3. De tal manera que las formas geométricas empleadas

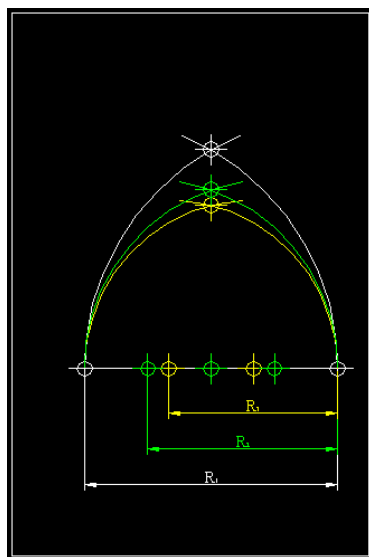
respondían a las proporciones de los arcos apuntados utilizados tradicionalmente en el Gótico.



*Fig. 2: Sistema de ventilación Bóveda Tollet.*

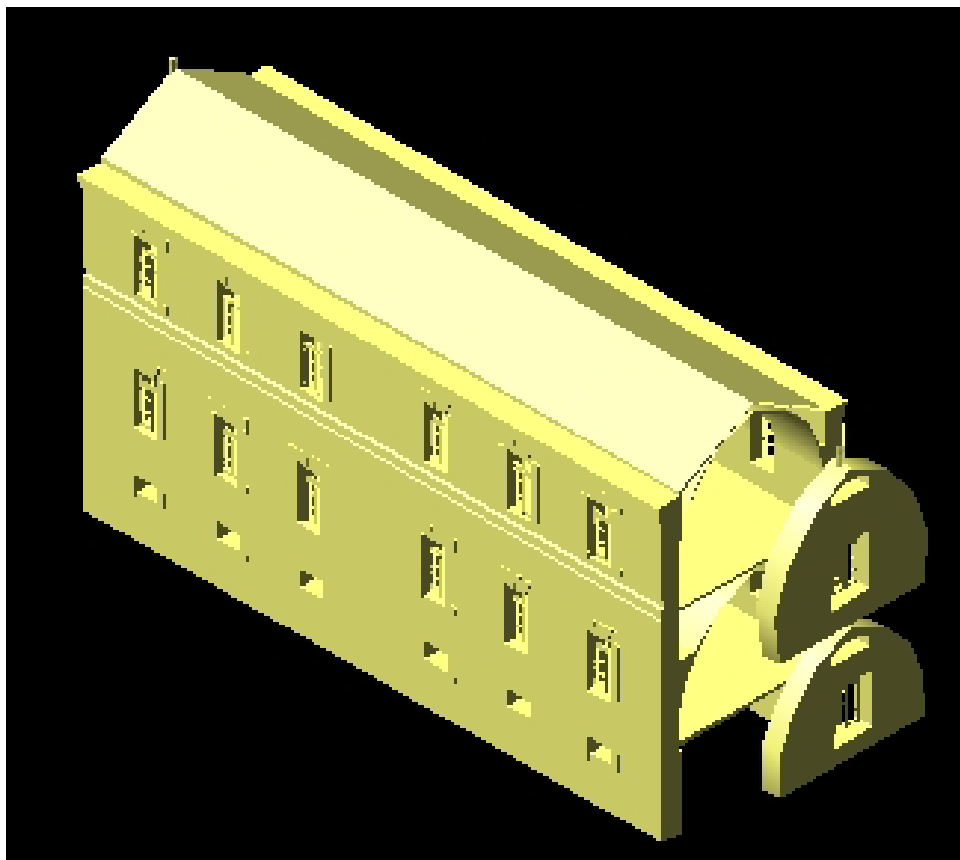
En esta época existía gran diversidad de proporciones, pero algunas se presentaban con mayor frecuencia, como por ejemplo la del arco apuntado equilátero, (aquel que tiene el centro de cada rama en el arranque de la opuesta, en los extremos de la luz) o la denominada por los franceses *tiers point* o tersetjat de terse, arco que tiene los centros sobre la línea de base con radios dos tercios de la luz o tres cuartos, como indica la Fig3.

Todas estas proporciones fueron empleadas por Tollet, según definiese la altura de las bóvedas, función a su vez del tipo de enfermo a que fuese destinada la sala (niños o adultos) y sobre todo del volumen de aire estimado por enfermo.



*Fig. 3. Diferentes secciones de las bóvedas empleadas por C. Tollet.*

*Fig. 4. Perspectiva de una sala Tollet. 1894.*



Su arquitectura esta prácticamente exenta de decoración, (Ver Fig.4) aunque es de resaltar el perfecto equilibrio de formas y proporciones.

No se buscaban soluciones formales concretas, la belleza arquitectónica la plantea exclusivamente la rigurosa organización de los espacios y sus bóvedas ojivales, resultado último de una solución formal y funcional a la evacuación del aire contaminado de las salas.

# EL PLANO Y LA GEOMETRÍA DE ANTOINE PETIT 1774. UNA VENTILACIÓN EFECTIVA.

Insua Cabanas, M<sup>a</sup> Mercedes; Fernández Ibáñez, M<sup>a</sup> Isabel.

Universidad de A Coruña.

E.U.P. Departamento de Ingeniería Industrial.

[minsua@cdf.udc.es](mailto:minsua@cdf.udc.es)

E.U.P. Departamento de Ingeniería Industrial.

[isafer@cdf.udc.es](mailto:isafer@cdf.udc.es)

## RESUMEN

En 1774 Antoine Petit propuso como solución para la construcción de un nuevo “Hotel-Dieu, una enorme estructura radial alrededor de una iglesia circular, que disponía de una cúpula cónica y servía no sólo para aspirar el aire contaminado de las salas, sino también para evacuar los gases de la cocina, farmacia, panadería y lavandería que rodeaban “el centro de la rueda”. De este modo el centro del hospital combinaba iglesia y sistema de ventilación por llamada. El plano general tiene una disposición totalmente original, compuesta por seis salas radiales que parten del centro ocupado por la “cloaca máxima”, con cuatro plantas cada una. Las salas eran grandes tubos abiertos, de forma que el aire las barriese de un extremo a otro. En este proyecto el objetivo prioritario es la ventilación pues: “Si los gases venenosos podían matar, si las exhalaciones pestilentes podían acarrear más enfermedades, el desembarazarse de los agentes patógenos debía ser considerado la misión más importante de la arquitectura hospitalaria.” Esta ponencia trata del estudio de este plano y la geometría empleada por Petit para convertir un hospital en una máquina al servicio de la ventilación.

**Palabras clave:** Geometría, diseño, ventilación.



## 1. Introducción.

Durante el siglo XVIII la construcción de los hospitales realizó enormes progresos, sino en la práctica, al menos en la teoría. Fue el impulso para el futuro desarrollo y estimuló las reflexiones sobre la arquitectura hospitalaria, sobre todo cuando se produjo el incendio del Hôtel-Dieu de París a mediados de agosto de 1737.

Fue sin embargo el incendio del mismo hospital en 1772 el que hizo debatir un capítulo capital para la arquitectura hospitalaria.

Henri-Louis Duhamel ya había estudiado el tema de la aireación (ventilación) de las salas de enfermos y propuso en 1748, ventanas altas y chimeneas de ventilación, que gracias a las estufas, asegurarían la renovación del aire, sin embargo nada de esto se llevó a cabo.

No obstante y gracias a esto, la Academia de las Ciencias de París, con el fin de renovar el Hôtel-Dieu y después de extensas deliberaciones llevadas a cabo por los hombres más sabios de la época decidió el modelo de hospital perfecto, “*el hospital de pabellones semi-aislados*” que posteriormente pasarían a ser completamente aislados.

De este modo el hospital más grande y más peligroso de Europa, fue el origen del hospital de pabellones.

*“Uno generalmente piensa en una sombra causada por una luz, pero la forma del hospital de pabellones se puede definir como una luz causada por la sombra del Hôtel-Dieu.”* Thompson, John and Goldin, Grace. *“The Hospital: a Social and Architectural History”*. New Haven and London. Yale University Press. 1975. Chapter. Cap. 5. p. 118.

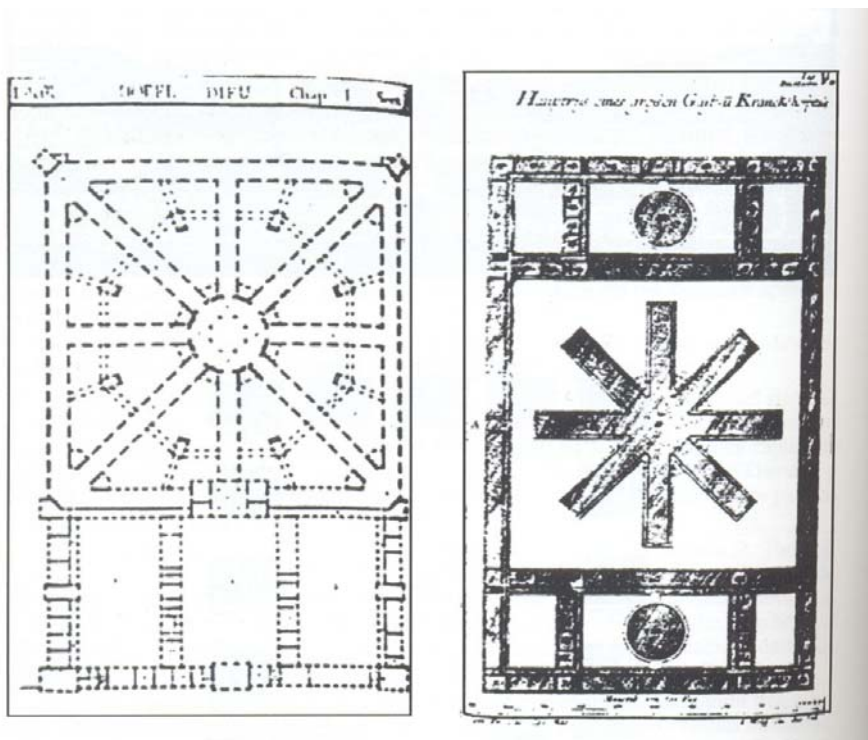
Sin embargo el Hôtel-Dieu, situado en el corazón de París (colindante con Nôtre-Dame) no fue creado para ser horrible. De hecho su concepción fue el intento cristiano y medieval de aliviar a cualquiera que buscara socorro y así como el pabellón fue diseñado para cumplir una condición sanitaria, el Hôtel-Dieu fue concebido bajo el punto de vista de una Caridad indiscriminada e ilimitada, aferrándose a este principio, mucho tiempo después de que otras instituciones lo abandonasen por inviable.

## 2. Proyectos de reconstrucción del Hôtel-Dieu de París.

Tras el segundo incendio, teniendo en cuenta el trasfondo de la frustración política, la explosiva opinión pública y la indignación generalizada ante el inminente riesgo de los pobres de París, que supuestamente habían caído en las manos de la Caridad Cristiana, se hizo necesaria su modificación, lo que dio lugar a la presentación de numerosos proyectos y nuevas ideas y concepciones.

Para colmo una inscripción sobre una de las entradas del hospital provocó no pocos comentarios sarcásticos: *“Esta es la casa de Dios, esta es la puerta del cielo.”* En 1777 el Rey constituyó una comisión formada por miembros de “*L’Academie des Sciences*” con el fin de estudiar su reconstrucción y durante la década siguiente las

mentos más relevantes de la nación se involucraron tanto en el diseño del Hospital, como en la salud de la población.



*Fig. 1: Dos proyectos para hospital: 1. Antoine Desgodets, 1690. 2. L. C. Sturm, 1720*

El resultado de este plan del siglo XVIII fue la creación del hospital de pabellones, que desde finales del siglo XVIII hasta el primer cuarto del siglo XX constituyó el acomodo inmejorable e indiscutible de enfermos.

No es objeto de este trabajo, estudiar la evolución del hospital a lo largo del tiempo, ni tampoco analizar los proyectos presentados en estos años o realizar un estudio comparativo de ellos. Sin embargo el problema que todos trataban de resolver era la mejor solución para ventilación de las salas y el servicio de éstas.

### **3. El Plano de Antoine Petit. 1774. Ventilación por llamada.**

Ya desde la Edad media existían las denominadas salas cruzadas, que permitían la separación de clases de enfermos (aunque no siempre se llevase a cabo) y la ventilación natural, por medio de ventanas a los patios de separación. Aunque lo más importante aquí era el centro de la cruz que albergaba la capilla, que servía a todos los enfermos y podía ser atendida por un único sacerdote.

A finales del siglo XVII Antoine Desgodets propuso otro plano que respondiendo a la misma idea podía construirse para albergar cuatro veces más enfermos y disponía también el altar en el centro. Ver Fig. 1.

De igual modo que Desgodets o Sturm, el cirujano Antoine Petit propuso para la reconstrucción del Hôtel-Dieu, una construcción similar.

El plano era radial con seis salas de cuatro pisos cada una, alrededor de un núcleo central compuesto por un edificio circular “*la Iglesia*” que disponía de una cúpula cónica y servía no solamente para aspirar el aire contaminado de las salas sino también para evacuar los gases de las cocinas, farmacia, panadería y lavandería que rodeaban el centro de la rueda, cubierta por otra cúpula cónica. Ver Fig. 2. donde puede apreciarse el sistema de ventilación empleado.



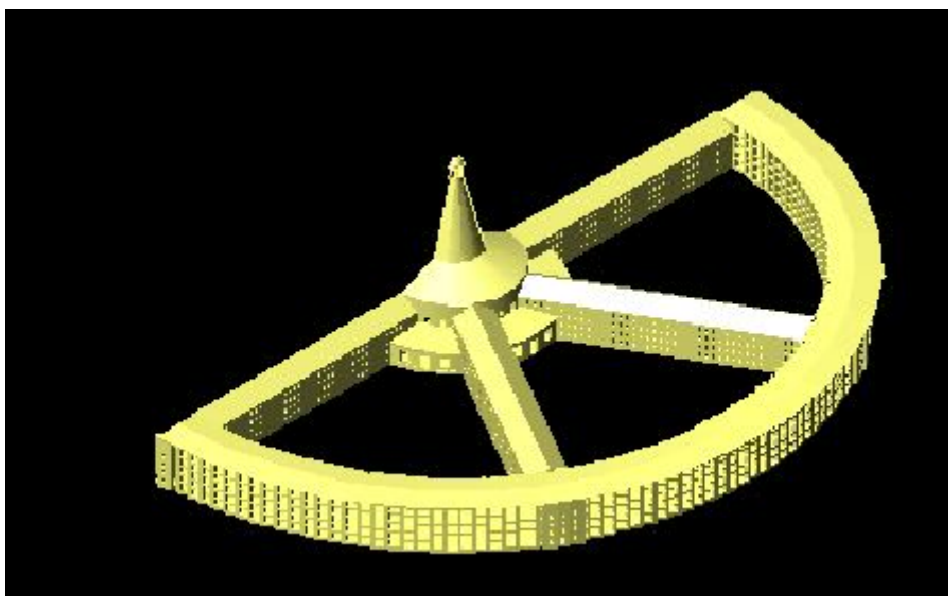
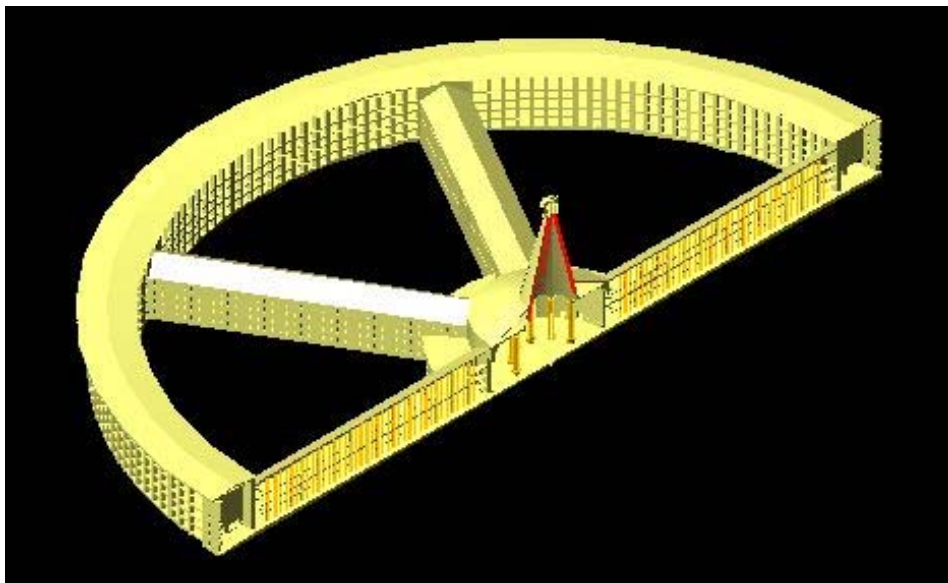
*Fig. 2: Esquema del sistema de ventilación.*

Este tipo de ventilación denominada “*por llamada*” consistía en arrastrar el aire viciado hacia el centro por medio del aire más caliente generado por las cocinas. En el interior de la capilla por supuesto se ubicaba el altar, sobre el que existía un canal de aireación más elevado en forma de cono y coronado por una linterna. Era el centro de todo, que combinaba iglesia y sistema de ventilación. Ver Fig.3.

*“El objetivo de la ventilación tenía prioridad sobre todo lo demás. Si los gases venenosos podían matar, si las exhalaciones pestilentes podían acarrear más enfermedades, el desembarazarse de los elementos patógenos debía ser considerado como la misión más importante de la arquitectura hospitalaria.”* Leistikow Dankwart. *“Dix siècles d’Architecture hospitaliere en Europe”* 1967. C.H. Boehringer Son. Ingelheim am Rhein.

Las salas eran grandes tubos abiertos y las camas que servían a 2000 enfermos estaban colocadas a lo largo de ambos muros laterales en las cuatro plantas. Las camas de las tres plantas superiores se situaban en balcones y una encima de otra, de tal forma que el viento podía barrer el aire viciado a lo largo de la nave central hasta lo que Jetter denominó la “*cloaca máxima*” ubicada sobre la iglesia central.

La Geometría de las cubiertas cónicas mandan sobre todo este conjunto. Ver Fig. 4



*Figs. 3 y 4: Axonometrías del hospital de Petit.*

4. El Plano de Bernard Poyet. 1785.

Las propuestas de Petit fueron retomadas posteriormente por el arquitecto del Rey Bernard Poyet que proyectó un plano de hospital de proporciones gigantescas (5200 camas). A diferencia del plano de Petit, Poyet dispone 16 bloques de enfermos, ordenados según una disposición radial, con tres plantas cada una, y enlazadas como en el plano de Petit por una construcción anular. En el centro también ubicaba la iglesia y se adoptaban diversas medidas higiénicas. Ver Fig.5.

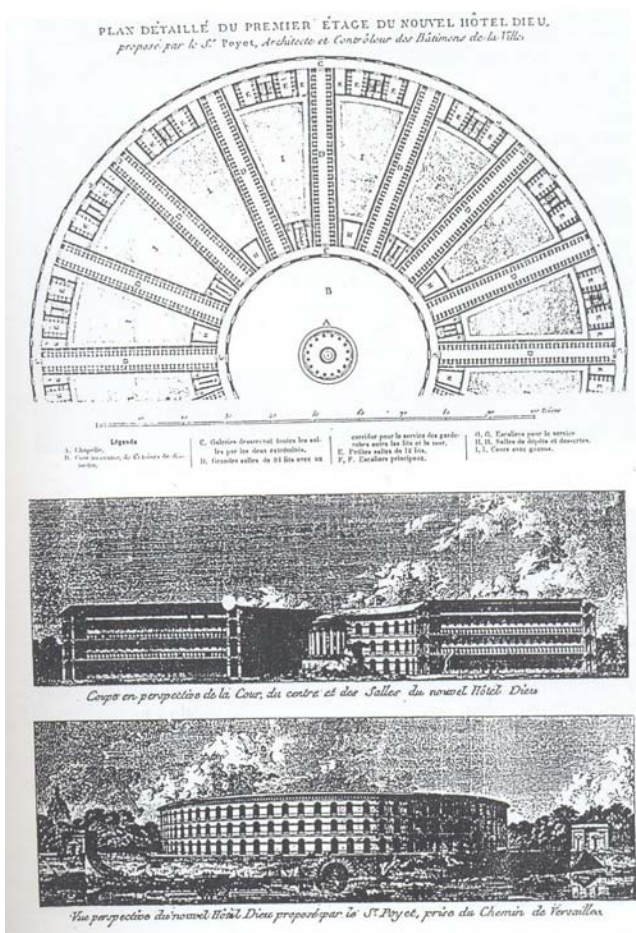


Fig. 5. Planta, sección transversal y perspectiva del proyecto de B. Pollet. Compárese con la solución de Petit

Se trataba de un proyecto que repetía todos los vicios de los hospitales antiguos y en principio debería haber sido rechazada pero este “*Coliseo Parisino*” fue recibida por parte de todos con tanto entusiasmo, debido sin duda a su grandiosidad, que Luis XVI se vio obligado a someterlo al examen del Comité de la Academia de las Ciencias. Este, tardó mucho tiempo en emitir su juicio pero al final lo rechazó. Desde entonces, todo desarrollo imaginativo de proyectos de hospital en cruz cesó y el hospital en cruz definido por John Howard en 1770 como “*forma usual de hospitales en muchos países católicos romanos*” desapareció casi por completo para ser sustituido por el hospital de pabellones que años más tarde, en 1788 definió la Academia como el hospital modelo.

La Revolución francesa demoró su construcción y hasta 1846 no comenzó a construirse el hospital más sofisticado del mundo el “*Lariboisière*”, que respondía a los informes elaborados por la Academia. En la actualidad este conjunto hospitalario sigue funcionando en el centro de la ciudad de París.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ANÁLISIS DE LA INTERPRETACIÓN DE FORMAS EXPRESADAS POR ESCRITO Y GRÁFICAMENTE

MARTÍNEZ CASAS, Irene (1); FADON SALAZAR, Fernando (2); VILLAR DEL FRESNO,  
Ricardo (3)

<sup>(1) (2) (3)</sup> Universidad de CANTABRIA, ESPAÑA  
Departamento de INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA  
Correo electrónico: fadonf@unican.es

### RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la relación entre la concepción del Templo de Salomón que se da en la Biblia y algunas de las interpretaciones más notables que se han hecho.

Se trata de observar como se han definido o descrito las formas que el Templo tiene, sin que se conozcan documentos gráficos originales que muestren con mayor precisión como era.

Para ello, se analiza la interpretación que hace Juan Bautista Villalpando sobre el Templo de Salomón, según el relato que hace el profeta Ezequiel, así como otros documentos de autores que realizan este análisis, con el objeto de conocer si la descripción escrita del Templo es suficientemente clara y concisa, o puede dar lugar a muy diversas interpretaciones.

**Palabras clave:** Interpretación de formas, dibujos, escritos.

### ABSTRACT

In the present work the relation between the conceptions of the Temple of Salomón in the Bible and some of the most remarkable interpretations that they have become, is analyzed.

One is to observe since they have been defined or described the forms that the Temple has, without original drawings are known that show more accurately like was.

For it, the interpretation that J. B. Villalpando makes on the Temple of Salomón is analyzed, according to the story that Ezequiel prophet does, as well as other documents of authors who make this analysis, with the intention of knowing if the written description of the Temple is sufficiently clear and concise, or can give rise to very diverse interpretations.

**Key words:** Interpretation of forms, drawings, written.

## **1. Introducción**

La descripción por medio de imágenes, para la descripción precisa de la idea, es necesaria tal y como se aprecia en los documentos y medios de comunicación que usualmente se emplean. Sin embargo, es frecuente en la bibliografía antigua la descripción de edificios y objetos de forma escrita. Bien por falta de medios, bien porque las técnicas de representación no resultaban suficientemente explícitas.

Se presenta un análisis de la descripción del Templo de Jerusalén, realizada por diferentes autores a lo largo de la historia, a partir de los relatos que hay en la Biblia (como la del profeta Ezequiel según la visión revelada por Yahvé, el cual debía ser un edificio majestuoso y de formas perfectas), de cómo había sido, o en su caso, cómo debía ser, mostrando resultados muy diferentes, consecuencia de las limitaciones descriptivas del lenguaje, así como de las diferencias culturales que se dan a lo largo del tiempo.

Hubo dos templos edificados en Jerusalén: El primero, construido por Salomón de acuerdo con las indicaciones dadas por Yahvé al rey David. Dicho templo fue edificado en el año 968 a.C. y destruido por Nabucodonosor en el 586 a.C. El segundo Templo, reconstruido por Herodes a finales del S. I a.C. y destruido por Tito en el año 70 d.C., es descrito minuciosamente en obras judías, como “La guerra de los judíos” de Flavio Josefo, y el “Libro de las Medidas” de la Misnah.

Se presenta como a lo largo de la historia, se han ido sucediendo diferentes planteamientos arquitectónicos del templo de Jerusalén, en muchas ocasiones subordinados al contexto religioso de la época.

## **2. El templo de Jerusalén.**

Según la religión cristiana, el Templo de Salomón, que había sido inspirado por Yahvé, debía ser un edificio perfecto, pues definía la grandeza y perfección de la Iglesia. Sin embargo, las fuentes bíblicas atribuían al Templo unas dimensiones reducidas que no eran merecedoras de simbolizar a la Iglesia de Jesucristo. (El edificio principal del templo se consideraba de una gran belleza, pero era comparativamente pequeño, 11 m de ancho y 33 m de largo, sin contar la entrada y los aposentos adicionales).

Por su parte los Jesuitas se fijaron en la descripción que el profeta Ezequiel da sobre el Templo, un edificio majestuoso y proyectado por Dios. El estudio de dicho Templo lo realiza Juan Bautista Villalpando, Jesuita cordobés del siglo XVI, discípulo de Juan de Herrera y estudioso de Vitruvio (tratadista romano).

Villalpando realizó una síntesis de la descripción de Ezequiel y de los principios de Vitruvio, a partir de la cual desarrolla un estudio detallado del Templo de Salomón, en el que se incluyen descripciones y planos [5].



## Obra de Villalpando

La obra de Juan Bautista Villalpando [4] y Jerónimo Prado, “*In Ezechielem Explanationes et Apparatus Urbis ac Templi Hierosolymitani, comentariis et imaginibus illustratus*”, en total, tres volúmenes que fueron editados entre 1598 y 1606, a pesar de que tienen fecha el primero en 1596 y los dos últimos en 1604. La obra fue publicada en Roma, gracias al mecenazgo de Felipe II, quien ya era conocedor del planteamiento de Villalpando sobre el Templo antes de su publicación.

Lo que desarrolla Villalpando a lo largo de su obra (J. Prado muere antes de su culminación), es una interpretación de la visión de Ezequiel, trasladando esa descripción mística a unos planos. Entendía que para comprender bien el Templo de Salomón, no bastaba con la lectura de su descripción, sino que era necesario hacer una representación gráfica del Templo, todo ello a partir de las medidas que Ezequiel describe.

El Templo que muestra en su obra (figura1) era de planta cuadrada de 500 x 500 codos, y atribuye dicha forma a la distribución de las tribus de Israel en el desierto. Así, los cuadrados menores de la planta que representan las torres del Templo de 50 codos de lado en la base, simbolizan las tiendas de cada una de las doce tribus de Israel.

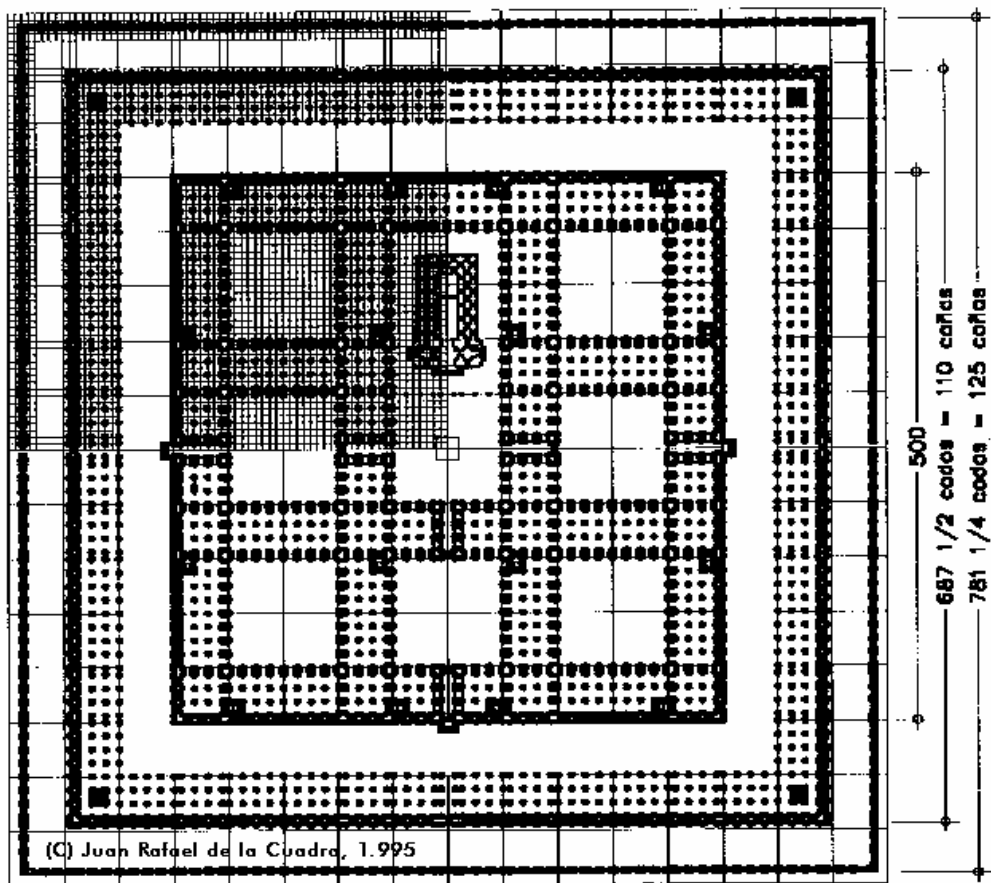
El conjunto del Templo está dividido en siete atrios cuadrados de 100 codos de lado, y un rectángulo central de 100 x 200 codos, donde estaría ubicado el *templum*. El *templum* o santuario, aparece muy bien representado, con planos de sus tres plantas, un alzado de la cara oriental, y una sección de los muros de la bóveda del santuario. Los patios de las cocinas de 30 x 40 codos, se situarían en los sótanos del edificio.

Villalpando relaciona la forma y dimensiones del Templo con las proporciones del cuerpo humano, siguiendo uno de los principios de Vitruvio, principal tratadista romano que ha llegado a la actualidad. Villalpando, en sus escritos, da gran importancia a la labor del arquitecto en el diseño y construcción de los edificios.

La descripción que da Ezequiel en su visión es muy detallada e incluye las medidas de los muros, puertas, dependencias, decoración... Pero en dicha descripción hay medidas que dan lugar a error o no dejan del todo claro a que parte del edificio se refieren, y Villalpando las interpreta a su voluntad para ajustarlas al edificio majestuoso que debía reflejar la grandiosidad de la Iglesia.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Veamos en este caso como Ezequiel describe “...un muro por el exterior alrededor de la casa... Y midió la anchura en una caña y la altura en una caña” (Ez. 40.5) que Villalpando interpreta como un antepecho que rodeaba toda la casa, los pórticos y los atrios. Por otro lado, en Ez.40.6, podemos leer “...y midió el umbral de la puerta, una caña de anchura...”, y Villalpando lo interpreta como el espesor del muro del atrio de los gentiles.



*Fig.1 Templo descrito por Villalpando.*

Una de las acusaciones que se vertieron contra Villalpando fue que el Templo que describía tenía unas dimensiones enormes y resultaba un proyecto inviable, pues no cabía en el Monte Mória, ubicación del Templo de Salomón en Jerusalén.[5]

Villalpando se defendió con la fe, argumentando que la descripción de Ezequiel pretendía completar las medidas del Templo que Dios había dado al rey David y que se habían materializado en el Templo de Salomón.

### **Otras interpretaciones.**

Existen otros autores que no están de acuerdo con el simbolismo religioso que se daba al Templo, y atacaban la interpretación de Villalpando.

A lo largo de la historia se han barajado tres posibles plantas para el Templo: la cuadrada, propuesta por Villalpando, la rectangular, defendida por otros autores, y la circular, menos popular.[2]

Entre los que defienden la planta rectangular del templo, encontramos a los seguidores de la línea de Flavio Josefo, historiador judeo-romano del siglo I d.C. que escribió sobre el Templo, a partir de la Biblia y de manuscritos ya desaparecidos; y de la Misnah, el núcleo del Talmud, Libro Sagrado de los Judíos.

Ya en el siglo XII aparece la primera representación gráfica del Templo de Herodes de la mano de Maimónides (1135-1204), filósofo y matemático cordobés, que escribió importantes obras sobre la ley judía, relacionadas con la Misnah en árabe y en hebreo, relacionó dicho Templo con el de Salomón, mediante la construcción intermedia que levantaron los exiliados de Babilonia [5]. Las medidas del Templo son de 159 x 279 codos, pero la disposición de los elementos no guardan una relación métrica, sino mas bien topológica.

Claude Perrault, traductor de Vitruvio, en 1678 elaboró las ilustraciones del Código de Maimónides, obra del converso Louis Compiegne de Veil. El Templo de Perrault, de 350 x 150 codos, tendría 5 puertas, al igual que proponían otros autores contemporáneos a él, como Jacob Judá León, rabino sefardí, y Samuel Lee, orientalista inglés. Esta afirmación se basa en las fuentes judías y no en la idea de perfección y simetría de la Iglesia, reflejada en el Templo según Villalpando.

Lo que llevó a cabo Perrault fue la colocación del santuario ligeramente desviado del eje de simetría del edificio, no en un lateral, como indicaban otros autores, ni tampoco en el centro. Además situó tres muros paralelos circundando el santuario por tres de sus lados, de forma similar a la propuesta de Maimónides [3].

En 1331, Nicolás de Lyra, franciscano normando y profesor de teología en París, hace una reconstrucción del Templo de Ezequiel influenciado por la arquitectura civil francesa de dicho siglo [3]. Su planta rectangular mediría 500 x 300 codos. (figura 2). Sigue la línea espiritual de reconstrucción del Templo, similar a Villalpando, evitando citar fuentes hebreas que le lleven a ser tachado de judío.

En 1572, Benito Arias Montano realiza una nueva interpretación del Templo (figura 3) basándose en las descripciones de Josefo, en la Misnah, y en el esquema de Nicolás de Lyra. Su propuesta, de planta rectangular, tendría el santuario (figura 4) al fondo y centrado, siendo un edificio longitudinal de una única nave con una torre de varios pisos y circundado por los diferentes atrios [4]. Para Arias Montano, conocedor de los bocetos de Villalpando antes de su publicación, era inconcebible la idea de asimilar el Templo de Salomón con el de Ezequiel, pues este último no había sido construido.

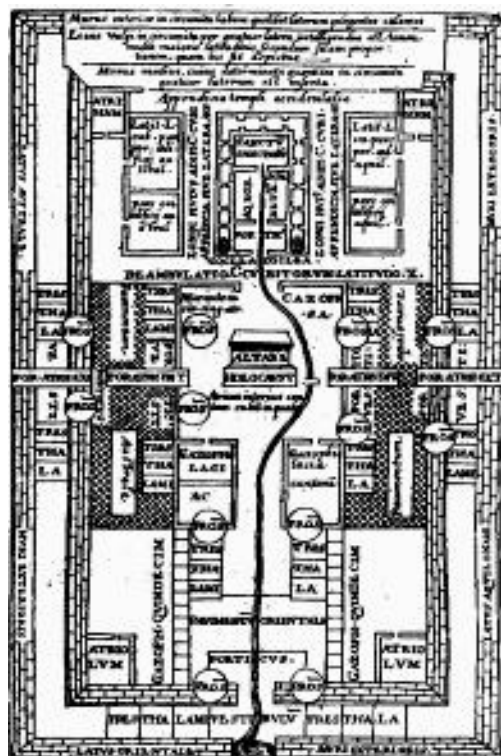


Fig. 2. Templo según Nicolás de Lyra.

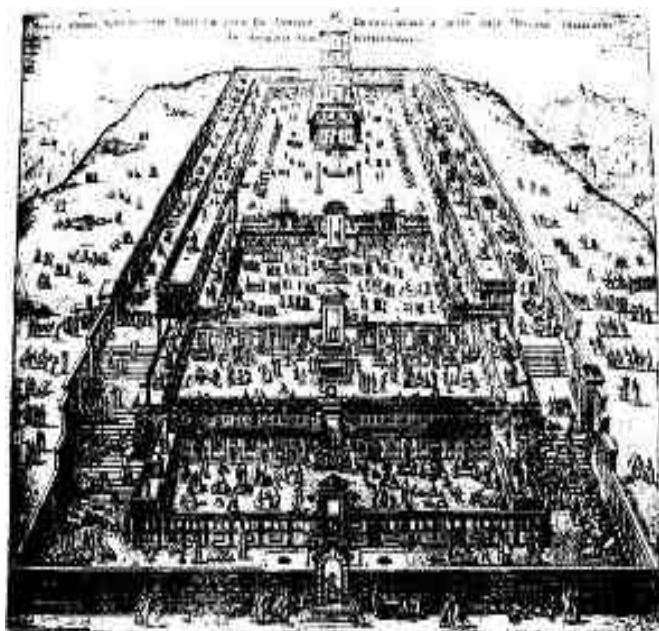
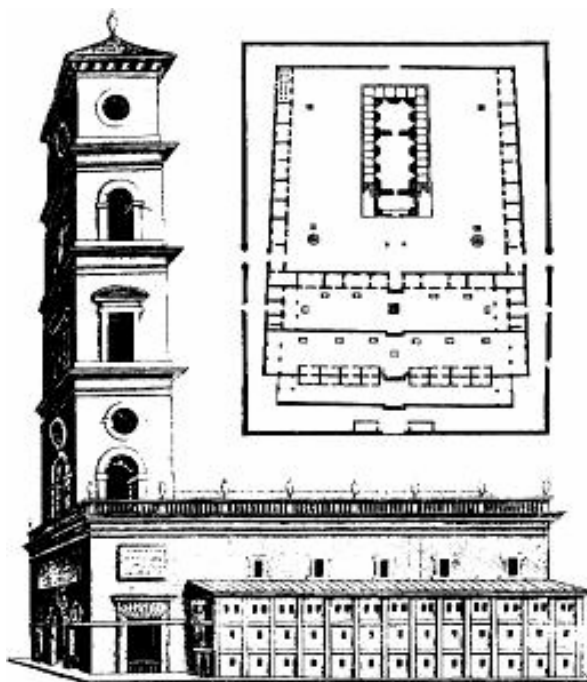


Fig.3. Templo según Arias Montano.

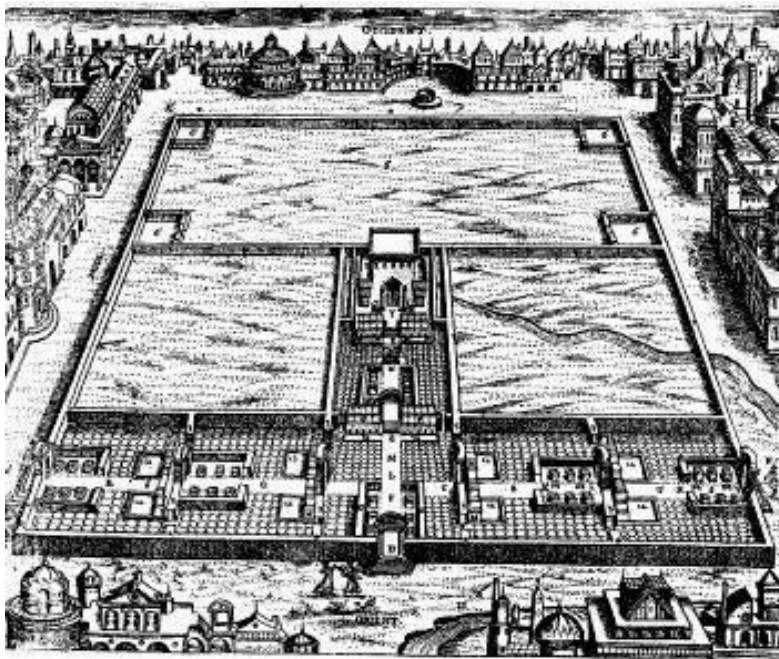


*Fig.4. Santuario y Planta del Templo según Arias Montano*

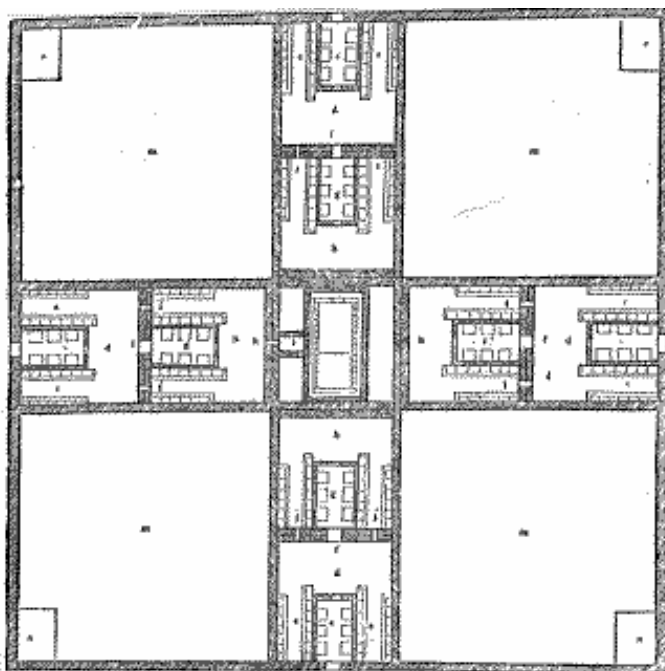
En 1540, Francois Vatable, filólogo y exegeta, profesor de hebreo y del Antiguo Testamento en París. Aunque no nos ha llegado nada de su obra, uno de sus alumnos, Robert Estienne, incluyó comentarios de su maestro en su traducción de la Biblia, donde identifica el Templo de Ezequiel con el de Salomón, prefigurando ya las teorías de Villalpando. La planta del Templo era de forma rectangular, como la de Josefo, con los patios a lo largo de un eje y el templo al fondo (figura 5) [3].

En 1551, Sebastián Castalion, helenista y teólogo protestante francés, representa únicamente el santuario del Templo de Salomón, pues considera que el resto es similar al de Ezequiel. Coloca dicho santuario en el centro del atrio interior, y el atrio exterior lo divide en cuatro espacios de 200 codos con los patios de las cocinas en cada esquina, simbolizando una cruz perfecta (figura 6) [5].

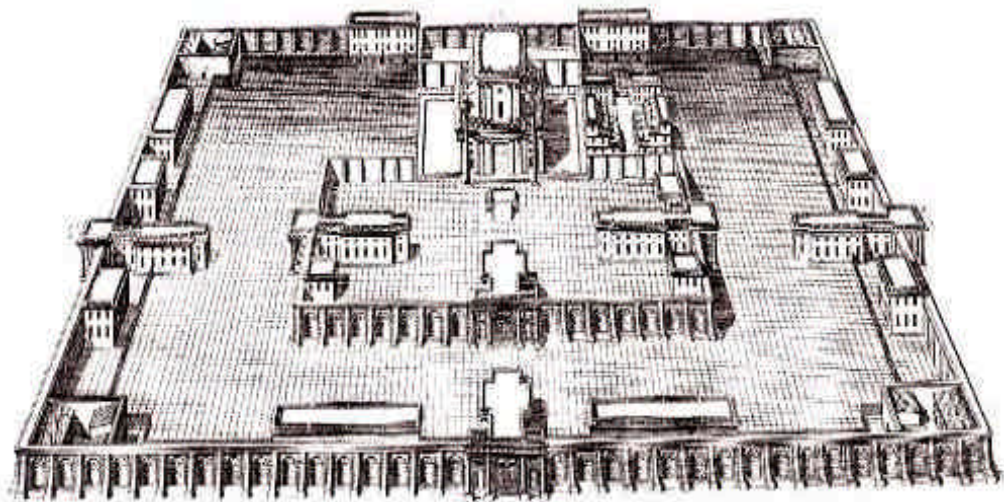
Otra interpretación del Templo es la de Johann Coccejus en 1669, teólogo alemán, en su obra *Prophetia Ezequielis cum comentario Johannis Coccei* [5]. En ella rebaja la superficie de la base del edificio con la intención de ganar espacio para los decorados de los muros exteriores del Templo (figura 7). El propósito de Coccejus era el estudio de la Biblia, sin eludir las contradicciones que se dieran en ella al describir el Templo. Sus dimensiones serían de 400 x 500 codos en lugar del cuadrado perfecto de Villalpando, un atrio interior de 200 x 150 codos y el altar estaría desplazado hacia un lado del santuario.



*Fig.5. Templo según Vatable y Estienne*

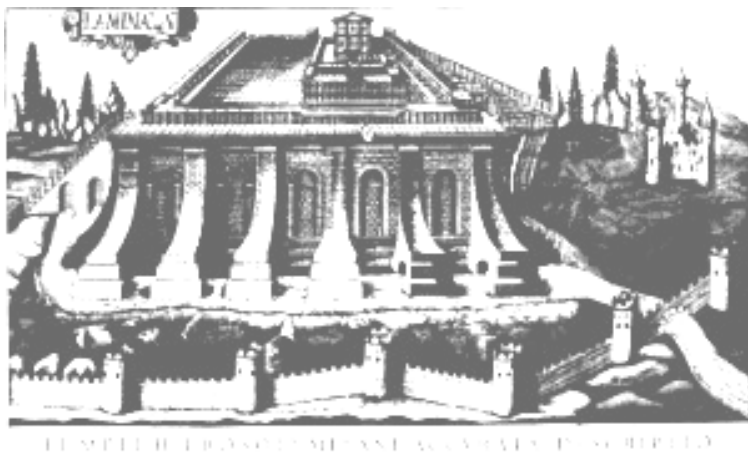


*Fig.6 Planta del Templo por Sebastián Castalion.*



*Fig.7. Templo de Jerusalén por Johannes Coccejus.*

Juan de Caramuel de Lobkowitz, conocido como Caramuel, fue un obispo cisterciense, lingüista y filósofo. Seguidor de Villalpando, intentó sistematizar la arquitectura oblicua en el Templo (figura 8) y desplazó el santuario hacia uno de los lados [1].



*Fig. 8. Templo de Jerusalén según Caramuel*

Estos son algunos de los autores dedicados al estudio del Templo de Jerusalén. Es de señalar que prevalece la planta rectangular sobre la cuadrada propuesta por Villalpando. Sin embargo no debe obviarse el contexto histórico del siglo XVI: en 1563, con el Concilio de Trento, se suprimieron todas las fuentes de información judías, con lo cual, los católicos comenzaron a darle importancia al templo de planta cuadrada propuesto por Villalpando, y abandonaron el Templo rectangular descrito por Flavio Josefo y defendido por Arias Montano y sus seguidores.



Por último existe otra interpretación menos extendida, la planta circular (figura 9), utilizada por los Templarios en la construcción de iglesias. Si aceptamos la idea de que el Templo de Jerusalén era un proyecto divino que simbolizaba a la Iglesia, ¿por qué no aceptar la planta circular, considerada infinita y perfecta? [2].



*Fig.9. Vista general de Jerusalén y su Templo, de planta redonda.*

### **3. Conclusiones y consideraciones finales.**

Se ha realizado una visión general por las distintas interpretaciones que se han dado del Templo de Jerusalén. No se conoce cual de todas es la verdadera, dado que los testimonios arqueológicos que nos han llegado son limitados, por tanto no se puede descartar ninguna posibilidad. En cualquier caso, queda claro que están condicionadas por la arquitectura de la época en que se hicieron y, por supuesto, por la religión.

Por un lado, la planta rectangular, defendida por los discípulos de la Misnah y de Josefo, que abogaban por un análisis histórico del Templo de Salomón. Dicho análisis histórico invalida el Templo descrito por Ezequiel pues no ha existido. Por otro, el Templo de planta cuadrada propuesto por Villalpando, que respaldando la grandeza de la Iglesia de Jesucristo, elaboró el Templo perfecto a partir de la visión de Ezequiel. Y por último, la planta circular, representada en las iglesias de los Templarios, también muy válida pero menos acogida por los estudiosos para la descripción del Templo de Jerusalén.

A lo largo del tiempo se han realizado las diversas interpretaciones que se han indicado sucintamente y que se han hecho más concisas al acompañarlas de dibujos y planos que dan una idea más clara de la interpretación realizada. El desarrollo de las técnicas de representación, viene motivado por la necesidad imperiosa de ser más precisos en la descripción de la idea, lo cual ha llevado a su desarrollo, de modo que faciliten la interpretación prácticamente única de lo representado.



## Referencias

[1] CARAMUEL, JUAN; “*Arquitectura Civil Recta y Oblicua*” Tomo I y III., Editorial Turner , Madrid, 1984.

[2] RAMÍREZ, J.A., “*Cinco lecciones sobre arquitectura y utopía*”, Málaga, 1981.

[3] RAMÍREZ, J.A., “*Dios Arquitecto*”, Ediciones Siruela, Madrid, 1994.

[4] VILLALPANDO, J.B., “*El Tratado de la Arquitectura Perfecta en la última visión del profeta Ezequiel*”, Tomo II. Servicio de Publicaciones. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Patrimonio Nacional, Madrid, 1990.

[5] <http://sapiens.ya.com/jrcuadra/jrtempl1.htm> Autor: Juan Rafael de la Cuadra Blanco, Dr. Arquitecto.

[6] “*Biblia de Jerusalén*” Ed. Desclee de Brouwer, Barcelona, 1971.

### Anexo: Medidas .

El codo sagrado, es la distancia del codo al dedo medio de la palma extendida. Era el utilizado en la Biblia, y se diferencia del codo vulgar, más pequeño, pues era la medida desde el codo al puño cerrado.

Villalpando, al aplicar las medidas de Ezequiel, utiliza el codo sagrado, de 79’23 cm., y la caña que equivale a seis codos y un palmo. Siendo el palmo, la cuarta parte de un codo.

En el Renacimiento y casi hasta el Siglo XIX, las medidas se tomaban en codos, pies y palmos. Cada autor atribuye un valor diferente al codo, que medía del orden de 50 cm.

## **EL CAMINO HACIA LAS IMAGENES**

M.Sc. Leonardo Varona Sánchez, Lic. Emma Otero Villalobos

Universidad de Camagüey, Cuba

Dpto. Ing. Mecánica, Colectivo de Gráfica de Ingeniería.

Facultad de Electromecánica, Universidad de Camagüey, Cuba.

Carretera de Circunvalación Norte, Km 5 <sup>1/2</sup>, C.P 74650, Camagüey, Cuba.

Teléfono: (53-32) 261456 Fax: (53-32) 261126, 261776, 262336

E-Mail: [lvaronas@reduc.cmw.edu.cu](mailto:lvaronas@reduc.cmw.edu.cu)

### **RESUMEN**

A lo largo de su historia evolutiva el hombre ha utilizado distintos lenguajes, verbales y no verbales. El lenguaje de las imágenes, el lenguaje visual, ahogó esa necesidad del hombre de corporizar el espacio que lo rodea; es un proceso a través del cual se elabora e interpreta la información y se organiza; organizarla y darle sentido; son procesos corporales y mentales.

Por lo tanto el desarrollo de la creación de imágenes o de visualizar objetos dependen de aspectos fisiológicos, socio-históricos y comunicacionales. Al analizar una imagen particular se estudia el desarrollo de una serie de factores espaciales tales como: La Visualización, Relaciones Espaciales, Actuación Espacial Dinámica, La Habilidad Espacial General, Razonamiento de Fluido que en general la habilidad de visualizar objetos y jerarquizar su posición con respecto a otros. El presente trabajo hace un esbozo de tal proceso al respecto.

**Palabras claves:** Visualización, Relaciones Espaciales, La Habilidad Espacial

### **ABSTRACT**

Along their evolutionary history the man has used different languages, verbal and non verbal. The language of the images, the visual language, drowned that necessity to represent portions of the space that surrounds it; it is a process through which is elaborated and he interprets the information and to give him sense; they are corporal and mental processes.

Therefore the development of the creation of images or of visualizing objects they depend on physiological, socio-historical aspects and the communication. When analyzing a particular image we study the development of a series of such space factors as: The Visualization, Space Relationships, Performance Space Dynamics, The General Space Ability, Reasoning of Fluid that you/they in general the ability to visualize objects and to give priority their position with regard to others. The present works a sketch of such a process ago in this respect.

Key words: Visualization, Relate Space, The Space Ability.

# **1 INTRODUCCION**

## **1.1 Hacia las ideas**

A lo largo de la historia evolutiva del hombre este a sentido la necesidad de personalizar sus pensamientos y con la ayuda de los signos distinguir las ideas de una clara y precisa, y establecer un lenguaje de forma estructural determinando una lingüística limitada y procesada por otras unidades del sistema.

Esto implica una determinada sintaxis que le permite al hombre comunicarse para si y los demás, punto básico, ya que el lenguaje es un producto de las convenciones adoptadas por el grupo para el ejercicio de su comunicación (la colectividad es necesaria para establecer valores).

El individuo ha conseguido así, a través del lenguaje concretar sus ideas, descomponer el pensamiento en signos, que bajo determinada sintaxis" significan en un medio.

Esta necesidad origina el modelo comunicacional, donde, fuente mensaje y receptor interactúan. A lo largo de su historia evolutiva el hombre ha utilizado diferentes lenguajes, verbales y no verbales.

El lenguaje de las imágenes, el lenguaje visual, ahogó esa necesidad del hombre de corporizar porciones del espacio que lo rodea.

# **2 DESARROLLO**

Existe una vinculación directa entre la creación, desarrollo y evolución de lenguajes que permiten prefigurar y representar tridimensionalidad teniendo cuenta la forma del mensaje y las características del receptor en el desarrollo previo a la industrialización al modo de producción basado en la división del trabajo.

Podemos analizar el problema desde varios puntos de vista teniendo en cuenta los modelos analógicos como productos de los distintos lenguajes creados por el hombre a lo largo de la materialización y concretización de sus ideas; dentro de un modelo comunicacional donde el tratamiento, calificación y caracterización de los mensajes es el resultado de la intencionalidad de la fuente depende de la definición del contexto del sistema social, cultural, conocimiento, habilidades comunicativas y actitud.

## **2.1 LOS LENGUAJES QUE "CONSTRUYEN LA TRIDIMENSIONALIDAD"**

Los lenguajes utilizados por el hombre para concretar sus pensamientos son tan variados como infinita es la capacidad creadora de formas de comunicación y expresión. El hombre posee, pero cuando en la materialización de su pensamiento aparece el concepto de especialidad, esa diversidad de lenguajes se limita. Estos límites consisten principalmente en las características formales de las conductas comunicativas en cuanto a la forma de expresión.

- 1) Los lenguajes GRAFICOS-ESTATICOS, estos considerados como aquellos procedimientos utilizados Para pasar de las tres dimensiones a las dos dimensiones del plano grafico dentro de esfera del estaticidad emergente de estos procedimientos hace alusión a la imagen del receptor de mover puntos de vista establecidos.
- 2) Los lenguajes GRAFICO - DINAMICOS Y FOTO DINAMICOS, los primeros, básicamente dentro del contexto de las computadoras, lo que que el receptor pueda modificar sus puntos de vista de manera más constante. Los segundos, por la foto - proyectadas en movimiento, la variación de los puntos son dinámicos.

2.1.2 Se "construye " en la TRIDIMENSIONALIDAD Esta dimensión abarca las "construcciones" de la imagen de un objeto realizadas a través de la reducción de escala, proporción o modulación, la posibilidad de movimiento y cambio de posición del receptor en relación a estas "construcciones "pudiendo lograr una variación voluntaria y prácticamente infinita de sus puntos de vista .

- Dentro de estos dos grandes campos se pueden encuadrar la gran diversidad de modelos analógicos que el hombre ha desarrollado en su búsqueda por comprender las cuestiones espaciales, es parte de un proceso comunicacional por el cual se va devenir histórico de un determinado tipo de incionalidad hacia un determinado receptor

## 2.2 LA TRASMISIÓN VISUAL

Fueron las imágenes las que permitieron entrar a los hombres en un mundo de correspondencias simbólicas y orden social mucho antes de la escritura. El lenguaje grafico y la imagen poseen una larga historia. Todas las culturas del mundo han encontrado su manera de transferir el espacio tanto a una superficie plana como a superficies tridimensionales, tanto de su experiencia con superficies reflejantes, hasta tiempos que consiste en un esquema de representación que se basa en los procesos cognitivos para forjarse una imagen o expresarla en forma de representación.

### 2.2.1 Haciendo historia.

LA CONSTRUCCION DE LA IMAGEN GRAFICA.

El pensamiento conforma una organización jerárquica de procesos elementales que ejecutan uno a uno. La participación de la memoria de trabajo es fundamental.

Las Funciones Cerebrales Superiores organizan un aprendizaje asistemático, a través de unidades denominadas estereotipos que se van logrando con la experiencia a su vez éstas son las bases para un nuevo conocimiento, retroalimentado por la posibilidad de evolucionar sin límites, esto puede asociarse con el concepto de zona de conocimiento próxima que establece la necesidad de significar haciendo alusión a lo ya adquirido.

Que dependen de tres formas de conocimiento: FÍSICO, ESPACIO-TEMPORAL Y LOGICO FORMAL.

La expresión gráfica surge de una de las actividades representativas de la semiótica, La evolución de la imagen gráfica en el hombre es producto del desarrollo cognitivo en distintos estadios, siguiendo una frecuencia que permite el desarrollo de los mecanismos, esquemas y estructuras que facultan la representación.

*El período senso-motor, El período pre-operatorio, el período operatorio, el período proyectil, el período formal y el período lógico:* donde el sistema cognitivo alcanza el punto que las operaciones intelectuales se consolidan, alcanza el desarrollo humano todas las funciones, los mecanismos y estructuras que lo habilitan para interpretar la realidad de manera armónica y total. El desarrollo y manipulación de los símbolos son altos, período que coincide con la entrada en nuestras universidades, lo que todo aprendizaje requiere de un tiempo biológico. Toda educación debe responder a la secuencia temporo-espacial natural de la vida, no sólo mejorar el aprendizaje inconveniente, sino que dificultará las posibilidades de nuevas expresiones.

Si consideramos que en el intelecto no hay nada que de alguna manera no haya estado anteriormente presente en los sentidos, y la percepción como proceso mental, una sensación interna es el resultado de una impresión material (externa) en nuestros sentidos adquiriendo significado; que las operaciones cognitivas y los pensamientos no son exclusivas de los procesos mentales situados más allá de la percepción, sino que son el modo que la mente trata el material cognitivo a un nivel, es decir, entre los perceptos y las imágenes mentales o réplicas de los objetos que reemplazan que obtenidas a partir de las experiencias pasadas se hacen conscientes. El aprendizaje y alfabetización visual son productos de una evolución y desarrollo que desde el nacimiento hasta la adolescencia y la capacidad de expresión gráfica están en relación con el grado de simbolización desarrollados.

### 2.2.3 LA PERCEPCIÓN Y LA IMAGEN

Un proceso a través del cual se elabora e interpreta la información para organizarla y darle sentido. Se reciben distintos tipos de energía sensorial, los procesa y produce una respuesta concreta. Existe una *relación entre sensación y percepción*; proceso discontinuo pero continuo a través del cual un organismo busca y extrae información del ambiente que facilita sus respuestas adaptativas.

La cantidad de información se determina por la cantidad de incertidumbre que existe, está relacionada con el reconocimiento, la discriminación y el tiempo de respuesta al estímulo o la respuesta.

Si consideramos la anatomía del mensaje visual podemos distinguir tres niveles que expresamos y recibimos información: **representacional, simbólico** y **solapados e interconectados** entre sí, pero que pueden ser analizados por separado.

Son procesos corporales y mentales desde el momento en que un estímulo de un objeto exterior es captado por un sentido corporal hasta los niveles superiores de conocimiento.

Las imágenes de la memoria sirven para identificar, interpretar y controlar la percepción. No existe un límite que separe una imagen puramente perceptual de una que no sea percibida por residuos de la memoria sin la presencia de estímulos externos.

Las operaciones cognitivas llamadas pensamientos no son exclusivas de los procesos mentales situados mas allá de la percepción, sino que son el modo que la memoria transforma el material cognitivo a cualquier nivel. En este aspecto no existe diferencia entre cuando una persona contempla directamente el mundo y cuando se sienta a pensar con los ojos cerrados; es decir, entre los perceptos y las imágenes mentales o réplicas de los perceptos que reemplazan, que obtenidas a partir de las experiencias pasadas se hacen conscientes en un momento determinado, sin que exista el estímulo exterior. El pensamiento requiere algo más que la formación de conceptos: exige la aclaración de relaciones y el descubrimiento de la estructura oculta.

El pensamiento va mucho más allá de los estímulos recibidos por el ojo, sirve para crear con imágenes abstractas accesibles en forma de sistema que organiza y al que los perceptos gráficamente comparten sus propiedades estructurales incluso en las representaciones mentales abstractas.

La alfabetidad visual implica comprender y compartir el significado a través de una forma universal, que va más allá de poderes innatos del individuo. Conlleva a cierta igualdad que la alfabetidad verbal.

### **3 LA CONSTRUCCION DE LA IMAGEN.**

El pensamiento orienta la búsqueda en la memoria de datos almacenados en el largo plazo, mediante procesos de familiarización y olvido selectivo.

La percepción de la imagen se inicia del conocimiento físico desarrollado a través de los reflejos, pasando al pensamiento imaginativo que forman las primeras imágenes mentales producto de la retención visual, estableciendo la relación del dibujo con el objeto. Todo esto es el comienzo de la comunicación gráfica y creación consensuada de forma, se produce una reorganización de significantes y significados de la imagen en el pensamiento. Se toma conciencia de la profundidad, la sucesión espacial, la superposición de imágenes en diferentes planos. Surge del pensamiento formal el conocimiento lógico. De la experiencia visual se reconocen los cambios de color, luz y sombra, la distancia y la luz reflejada. Luego las operaciones intelectuales

### 3.1 Semiótica Visual

Todo el mundo da por hecho que somos capaces de ver, pero ¿cómo tiene visión? Si queremos ver a un objeto que está delante nuestro se genera una percepción perceptiva que consta de varias fases:

La SEMIÓTICA VISUAL, tres objetos de conocimiento, relativamente independientes que exigen respuestas diferentes:

- 3.1.1 La Semiótica de las Imágenes Visuales puramente CUALITATIVAS (o icónicas).-se recuperará a partir de la proyección del RESERVA DE EXPERIENCIAS ACERCA DE LA PERCEPCIÓN DE CUALIDAD por el intérprete, sobre los datos proporcionados por la percepción.
- 3.1.2 La Semiótica de las Imágenes Visual es predominantemente FIGURAS ("sinsignos icónicos"),.- se recuperará a partir de la proyección de INFORMACIÓN ACERCA DE LAS FORMAS DEL MUNDO por el intérprete, sobre los datos proporcionados por la percepción.
- 3.1.3 La Semiótica de las Imágenes Visuales específicamente SIMBÓLICAS (legisignos icónicos).-se recuperará a partir de la proyección de CONOCIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ENUNCIACIÓN por el intérprete, sobre los datos proporcionados por la percepción.

En todo los casos, interviene la BÚSQUEDA DE UN ATRACTOR, en la percepción visual, que permita ORGANIZAR LOS DATOS proporcionados por la percepción de modo que se RECONOZCA la imagen construida.

Por lo tanto el desarrollo de la creación de imágenes o de visualizar objetos desde los aspectos fisiológicos, socio-históricos y comunicacionales.

## 4 La Visualización

¿Qué es la visualización? Es la representación mental en imágenes de la realidad objetiva que sucede en nuestro ámbito externo: las condiciones y estímulos que llegan a través de nuestros cinco sentidos.

La mente es un instrumento poderoso de creación en cualquiera de las manifestaciones del saber. Usando nuestra imaginación, nosotros podemos visualizar casi cualquier cosa. La visualización es una técnica, un mecanismo que se desarrolla y ejercita para tener fines terapéuticos, creativos y que ha sido usada por siglos.

Usualmente el desarrollo de la visualización involucra un programa con objetivos fijos y determinados.

Dos técnicas de imágenes son usadas ampliamente hoy en día, las cuales son:

**4.1 El palmeado** - involucra la visualización del color. El creador coloca la mano sobre los ojos y se imagina el color asociado con el estrés (usualmente es el rojo). Luego, el paciente cambia el color, a uno más relajante, como lo es el azul. Se cree que el cambio de los colores en la mente induce a la relajación.

**4.2 La visualización guiada** - incluye la imaginación de cierta meta.

**4.3 La visualización creativa:** Es la imaginación aplicada a cualquier objetivo que deseemos lograr. Al crear una realidad subjetiva, el cerebro programa la conducta, todo esto apoyado en teorías, conocimientos, normas que nos ayudan a representar elementos previamente imaginados.

En este sentido, hay que hacer notar que los perceptos son también una forma de visualización.

La visualización creativa es aquella en la "creamos" una realidad subjetiva que no hemos vivido antes. Este tipo de visualización nos ayuda a la creación.

La explicación de este fenómeno reside en que nuestro cerebro no distingue entre un acontecimiento real y un acontecimiento imaginado, el cerebro: es nuestro "centro de control". Controla todas las funciones del cuerpo.

## **4.4 La visualización Orientada a Objetos**

La visualización orientada a objetos esta influenciada por redes semánticas y se basa principalmente por prototipos. En esta representación el mundo se ve como un conjunto de objetos que interactúan entre si. Los objetos son instancias, prototipos, y se relacionan formando una jerarquía de superclases-subclases que heredan los atributos y métodos. Esto permite comunicarse con otros objetos que pertenecen a dicha clase u otra.

Esta representación ha trascendido el área de IA para convertirse en un paradigma de computación diseño orientado a objetos, bases de datos orientadas a objetos y programación orientada a objetos.

Representa el conocimiento del mundo en forma de una red de prototipos, y las relaciones entre estas. Al analizar una imagen particular construye una representación de dicha imagen representando las características más importantes. El reconocimiento consiste en hacer un aparcamiento entre la red de la imagen y la red del conocimiento del dominio.

Las investigaciones han identificado una serie de factores espaciales tales como la Visualización, Relaciones Espaciales, La Actuación Espacial Dinámica, La Representación Espacial General, Razonamiento de Fluído.



Las relaciones espaciales: se define por la velocidad de manipular modelos simples, incluye rotaciones mentales, orientación espacial, imaginación en p

La actuación espacial dinámica: ha surgido en los más recientes tiempos como elemento a considerar fuertemente. En una la mano, la habilidad espacial genera un sustancial solape con el razonamiento de fluido por otro lado, como las habilidades cognitivas Humanas.

Razonamiento de Fluido: relacionado con las habilidades cognitivas, genera un sustancial solape con la habilidad espacial general

## 5 Conclusiones

Por lo tanto el desarrollo de crear imágenes mentales o de **visualizar** objetos de aspectos fisiológicos, sociales históricos y comunicacionales ligados entre por un lado la mano por otro los aspectos cognoscitivos hacen que muchos factores estén solapados entre si y que requieren de una especial atención en el desarrollo de estas habilidades en los alumnos universitarios de especialidades. Nuestro trabajo pretende dar algunos aspectos encontrados en el desarrollo de investigaciones realizadas en su colectivo y de forma conjunta con otros investigadores para dar un paso hacia adelante en el desarrollo de habilidades con instrumentos contemporáneos, que permitan en nuestros alumnos, e incentivar el aprendizaje presentan las asignaturas del entorno gráfico.

## 6 Referencias bibliográficas

- 1) ALEGRIA, P.: Un sistema de enseñanza abierta en México, Centro para el estudio de medios y procedimientos avanzados de la Educación. México. (1998).
- 2) AIKIN, M. G.: <<Evaluation theory development>>. Evaluation commentaries. UCLA. Center for Study of Evaluation. (1989)
- 3) ALKIN, M. G.: <<Evaluation theory development)>, en Evaluation of Educational Programs: Readings in Social Action and Education, por C. H. Weiss. (1992).
- 4) AICHER, O. Sistemas de signos en la comunicación visual / O. Aicher. -- Barcelona ;ed. Gustavo Gili, 1979. --220 p.
- 5) BERTIN, J. La gráfica y el tratamiento gráfico de la información. -- Madrid ;ed. Taurus, 1988. BARTOLOME-, M.: Nuevas tendencias en los diseños de investigación en España. Bilbao. II Congreso Mundial Vasco. (1992).
- 6) BERNSTEIN, B : <<Clase y pedagogía visibles e invisibles>> en GIMENO

- 9) BROWN, H. ic Comouting. --Vol 4, No 6. -- Texas, 1990RAMIREZ, J. de metodología con vistas a dirigir la autopreparación del estudiante asignaturas gráficas de la ingeniería, Revista Cátedra, Didáctica especial, 1999.
- 10) VARONA, L.- Algunas consideraciones sobre métodos de enseñar asignaturas gráficas. Revista INGEGRAF España. 6-94
- 11) VARONA, L - El pensamiento Visual las etapas de aprendizaje y el uso d educativo para modularla. CD. Resúmenes en la V Conferencia Intern Ciencias de la Educación.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ANÁLISIS GRÁFICO DE OBRAS EMBLEMÁTICAS DE FÉLIX CANDELA

ANDRÉS MARTÍN, Francisco Ramón (1); FADÓN SALAZAR, Fernando (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Cantabria, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Correo electrónico: frco\_ramon@hotmail.com

<sup>(2)</sup>Universidad de Cantabria, España

Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica

Correo electrónico: fernando.fadon@unican.es

### RESUMEN

Félix Candela es considerado el gran maestro de las cubiertas o cascarones de hormigón armado. La complejidad matemática de estas estructuras laminares contrasta con la belleza y sencillez de sus formas, su economía, gran resistencia y ligereza con pequeños espesores.

La vocación científica del arquitecto Félix Candela se puso de manifiesto en su dominio de la geometría descriptiva y el cálculo de las estructuras de acero y hormigón.

En su obra se pueden apreciar todos los ejemplos de construcciones laminares: en forma de cúpula, cilíndrica, reglada e hiperbólicos o hyper. Aquí se presentan algunas de sus obras emblemáticas en las que se aprecia la riqueza de las formas y el interés gráfico con las tecnologías CAD actuales.

Se trata de realizar un análisis de las líneas metodológicas de algunas de sus obras, en un entorno de trabajo actualizado.

**Palabras clave:** Geometría, Paraboloide hiperbólico, tecnologías CAD. Félix Candela, Estructuras laminares

### ABSTRACT

Félix Candela is considered the big master of reinforced concrete shells. The mathematical complexity of these structures contrast with the beauty and simplicity of their shapes, their economy, high strength and lightness with small thickness.

The scientific vocation of Félix Candela made clear in his control of the descriptive geometry and the calculation of steel and concrete structures.

His work has all the examples of shell constructions with several shapes. Here are presented someone of his best works in which it is possible to estimate the richness of his shapes, and the application of CAD technologies.

**Key words:** Geometry, Hypar, CAD technologies, Félix Candela, Shell structures.

## 1. Introducción

Si no el inventor, Félix Candela es considerado el gran maestro de las cubiertas o cascarones de hormigón armado. La complejidad matemática de estas estructuras laminares contrasta con la belleza y sencillez de sus formas, su economía y gran resistencia y ligereza con espesores muy reducidos. En su obra podemos apreciar todos los ejemplares de construcciones laminares: en forma de cúpula, cilíndrica, reglada e hiperbólicos o hypar.

La vocación científica de Candela se puso de manifiesto en su dominio de la geometría descriptiva y el cálculo de estructuras de acero y hormigón. Ambas facetas, unidas a una gran intuición y un fuerte espíritu innovador hicieron posible el estilo característico de sus construcciones.

Una de los fundamentos de sus obras es, como se ha comentado, la geometría y es por ello por lo que se plantea este trabajo ya que mediante ideas sencillas se pueden construir estructuras muy eficaces con costes de construcción de reducidos.

### Reseña biográfica.

A Félix Candela le tocó vivir años difíciles. Como realza Aroca en sus escritos: “la Guerra Civil le obligó a exiliarse a México sin tiempo para recoger su título de arquitecto –que luego le costaría años convalidar y más aún consolidar-, por lo que se encontró en un país lejano sin más armas que su propia capacidad y conocimientos reales, sin la protección administrativa que proporciona una carrera con independencia del aprovechamiento obtenido” [8].

Nació en Madrid el 27 de enero de 1910, y después de una infancia risueña y despreocupada estudió sin sosiego. Se cuenta que no sintió una vocación tan definida como la que narran haber sentido otros arquitectos o ingenieros famosos, urgidos desde pequeños por el ansia de construir. Él escogió la carrera de arquitectura más bien por casualidad, o por consejo de algún amigo, porque ni siquiera era buen dibujante. Eso sí, lo suyo eran las matemáticas y, sobre todo, la geometría. “Más tarde –anota uno de sus biógrafos- comprendió que su verdadera vocación bien pudo haber sido la ingeniería estructural.” [1]

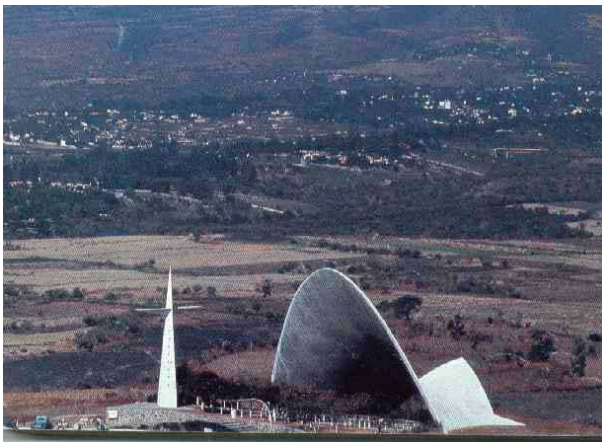
De acuerdo con otros comentaristas “Candela heredó de su maestro Eduardo Torroja algunos de los fundamentos de su obra: la idea de que el ingeniero ha de ser un poeta, la convicción de que la estructura depende de la forma más que del material empleado, y la línea de investigación sobre cubiertas ligeras de hormigón armado” [1].

## Obras características.

Fue en México donde Candela ha dejado una obra de singular originalidad que le ha valido el reconocimiento mundial y donde pudo desarrollar sus teorías de las estructuras y aplicarlas en la creación de cubiertas laminares para grandes espacios arquitectónicos.

Félix Candela ha creado estructuras tan extraordinarias como la capilla abierta de Cuernavaca, el restaurante Los Manantiales de Xochimilco y el Pabellón de Rayos Cósmicos en la Ciudad Universitaria de México, el Palacio de los Deportes y la Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa.

El Pabellón de Rayos Cósmicos, de 1951, fue el cuarto cascarón construido por Cubiertas Ala (su empresa), y el primero en que se utilizaba el hypar para dar mayor rigidez a una bóveda casi cilíndrica de tan escaso espesor. Fue esta estructura la primera que dio gran prestigio a Candela, tanto por la gracia de su sencillez formal, como por el alarde técnico que suponía su extrema delgadez. El espesor de este cascarón oscila entre 1,5 y 2 cm, requisito funcional para dejar pasar a través de él los rayos cósmicos que se registraban en el interior.



*Figura 1: Capilla de Lomas de Cuernavaca.*

En el cascarón de la capilla abierta de Lomas de Cuernavaca podemos encontrar el ejemplo de los tres tipos de corte que se pueden dar en la superficie del hypar, en este caso equilátero (parábola, hipérbola y casi rectos –degeneraciones de la otra parábola). Esta capilla se construyó con una simple hoja de hypar que se abre al frente con una luz de 30 m y una altura de 21 m, y cubre a parte de los asistentes que se acomodan bajo ella o entre los árboles cercanos.

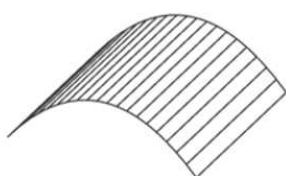
Más adelante, en esta presentación, se pretende realizar una somera incursión en una de las obras con las que el autor se sintió más satisfecho, el restaurante de Los Manantiales, y conocer con un poco más de detalle las pautas que fundamentaron su obra.

## 2. Elementos de geometría básicos en la edificación de Félix Candela

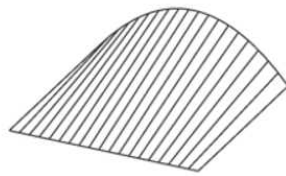
### Evolución de sus obras

Junto con estudios y proyectos para losas plegadas de hormigón, las primeras láminas con las que se experimenta son bóvedas antifuniculares, sin acero de refuerzo y con la aplicación de encofrados de tela de saco.

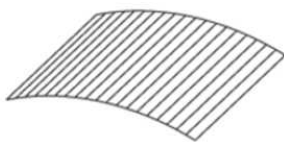
El primer “cascaron” que construye con su empresa Cubiertas Ala es en forma de conoide (de antecedentes franceses), con una luz de 14 m y un espesor de 3 cm.



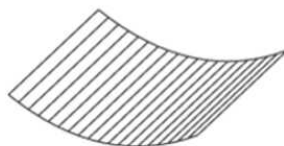
BOVEDA DE ARCO PARABOLICO



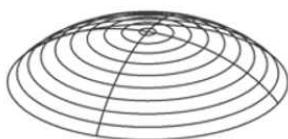
BÓVEDA FORMADA POR LA UNION REGLADA DE UNA RECTA Y UN ARCO PARABOLICO



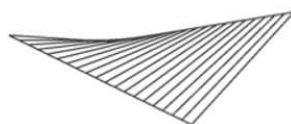
BOVEDA DE CAÑON DE ARCO REBAJADO



LAMINA REGLADA CON DIRECTRIZ CATENARIA



CASCARON DE GENERATRIZ ELIPTICA

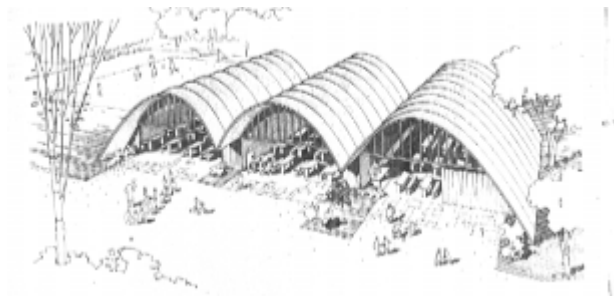


PARABOLOIDE HIPERBOLICO

*Figura 2: Diferentes superficies empleadas.*

Pronto se experimentan las bóvedas cilíndricas largas, con luces de unos 12 m, llegando a prescindir de las vigas de borde. Calculándolas como vigas huecas de sección cilíndrica se construyen también cubiertas de diente de sierra, utilizando estas bóvedas cilíndricas largas.

Al aumentar el vano cubierto por las bóvedas, éstas han de acortarse para evitar flexiones transversales. Aparecen así las bóvedas cilíndricas cortas. Éstas necesitan vigas de borde y tirantes que contrarresten los empujes laterales.



*Figura 3: Ejemplo de bóvedas antífuniculares.*

*Se construyen pocas cúpulas, pues el encofrado de las superficies sinclásticas es engorroso y complicado, a menos que sean muy planas.*

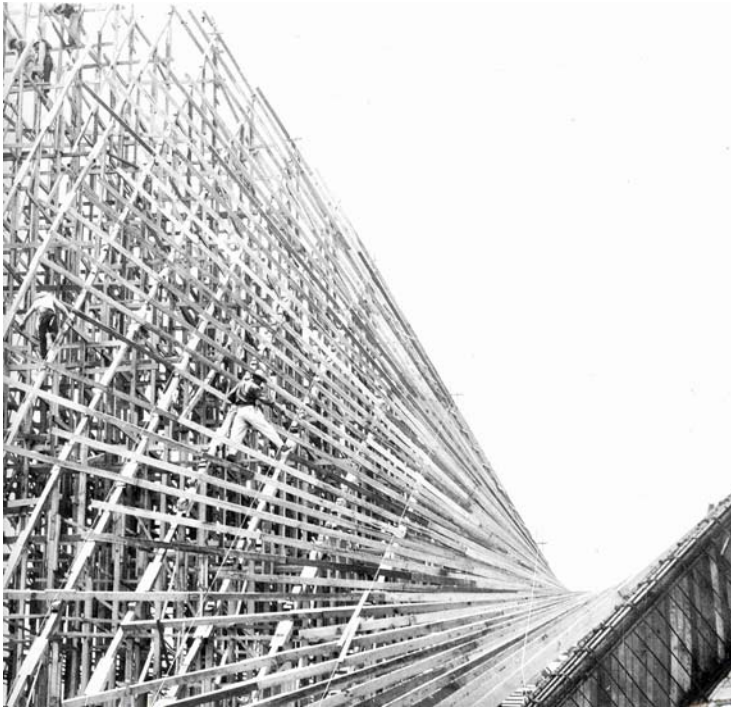
### **El paraboloide hiperbólico o hyper.**

Candela desarrolla diferentes disposiciones y combinaciones de varios hypars. Cabe destacar las bóvedas por arista. El ejemplo más sencillo de este tipo de estructuras es una bóveda creada por la intersección de dos segmentos de hyper en forma de silla de montar. Su encofrado es más simple que el de una bóveda formada por intersección de cilindros, por tener dos sistemas de generatrices rectas. Además, al estar constituida por superficies no desarrollables, es mucho más rígida y permite construirla con espesores menores.

El paraboloide hiperbólico, o hyper, contiene dos sistemas de generatrices rectas. Cada sistema es paralelo a un plano director y ambos planos, cuya intersección define la dirección del eje Z, forman un ángulo arbitrario W. La superficie es de doble curvatura anticlástica, es decir, las dos curvaturas principales tienen su concavidad en direcciones opuestas, en oposición a las superficies sinclásticas o cupuliformes, en que las curvaturas principales van en la misma dirección. El ángulo W puede tener cualquier valor. Cuando es recto, el paraboloide se llama equilátero y los dos sistemas de parábolas principales tienen la misma curvatura. Cuando W no es recto, las parábolas contenidas en los cuadrantes agudos son más planas que las contenidas en cuadrantes obtusos. Las secciones planas paralelas al eje Z son parábolas o su degeneración en líneas rectas. Todas las demás secciones planas son hipérbolas o su degeneración en dos rectas que definen los planos tangentes (osculadores) a la superficie.

Tomando como ejes de coordenadas las dos generatrices que pasan por el centro del hyper y el eje Z, perpendicular a ellas (en lugar de los ejes reales del hyper, que son las bisectrices del ángulo W), la ecuación de la superficie,  $z = K \cdot x \cdot y$ , es la ecuación de segundo grado más simple posible, lo que facilita en grado sumo el

cálculo de tensiones o esfuerzos de membrana. El hecho de tratarse de una superficie doblemente reglada facilita la construcción del encofrado, que requiere únicamente piezas rectas y consigue, sin embargo, una forma no desarrollable o de doble curvatura.



*Figura 4: Encofrado con listones rectos en una hypar.*

### **3. Restaurante de Los Manantiales**

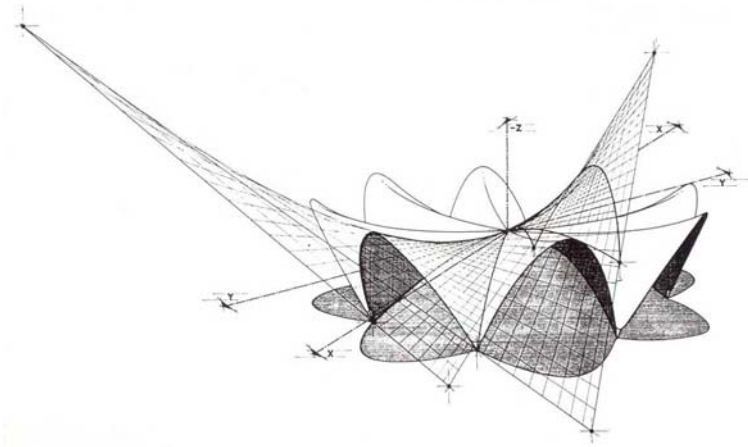
Quizá la más famosa de las bóvedas por arista con hypars sea el cascarón del restaurante Los Manantiales, en Xochimilco, de planta octogonal, formada por la intersección de cuatro hypars. Esta es la estructura que Candela considera como su trabajo más significativo.

La estructura de Xochimilco es una bóveda por arista octogonal, compuesta por la intersección de cuatro hypars. Diseñado para reemplazar a un restaurante destruido por el fuego, se levanta en un pequeño promontorio en los jardines flotantes, rodeado por canales en los que brillan las chalupas adornadas con flores.

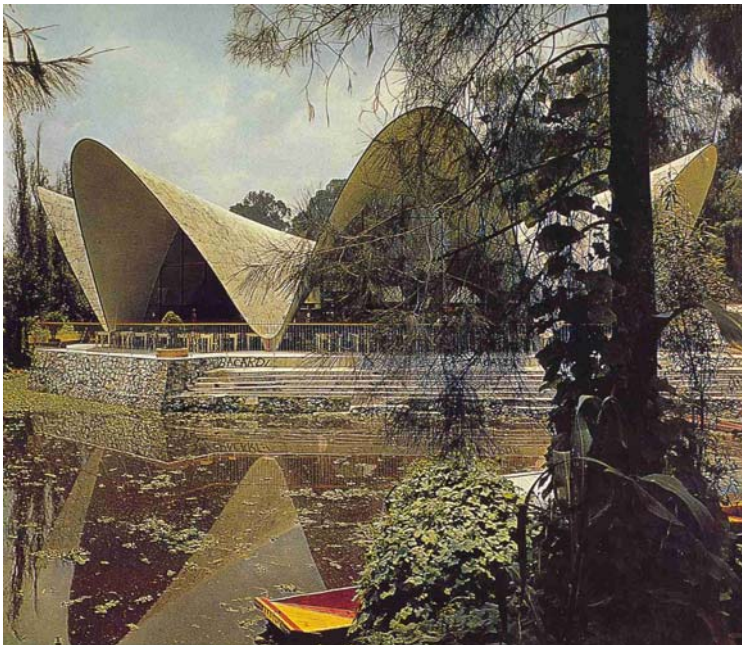
Se encuentra situado al sur de la ciudad de México, en el Distrito Federal de Xochimilco, y fue construido en 1958.

El cascarón presenta un diámetro máximo de 42,7 m con los apoyos inscritos en un cuadrado de 30 m de lado. La altura en el centro de la construcción es de 5,8396 m mientras que en los puntos más altos alcanza los 9,9332 m.





*Figura 5: Hypars en el restaurante Los Manantiales.*

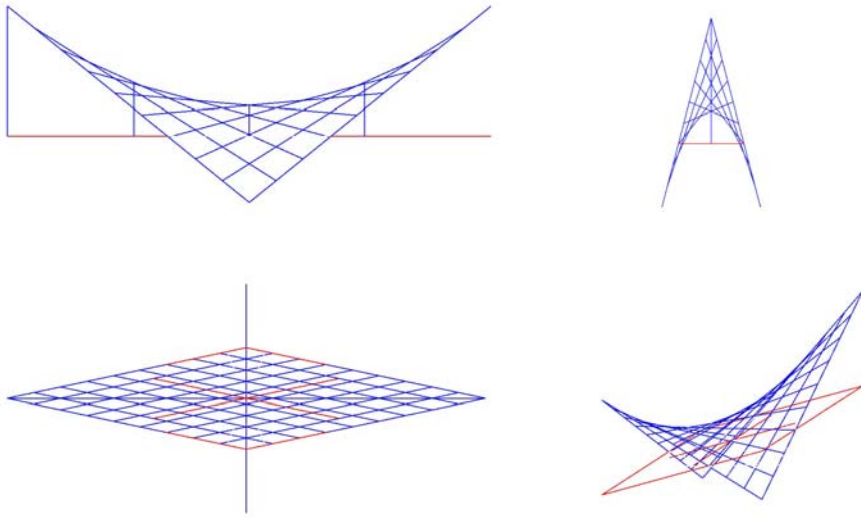


*Figura 6: Imagen del restaurante Los Manantiales.*

#### **4. Modelado**

Como aplicación de la geometría digital se ha modelado la cubierta del restaurante de “Los Manantiales”.

Para ello se ha empleado el programa informático Micro-Station.



*Figura 7: Proceso de obtención de la geomtería.*

Como punto de partida para la obtención de la geometría se han empleado: el lado del cuadrado en que se inscriben los apoyos, que es de 30 m; la altura del cascarón en el centro: 5,8336 m; la altura en los extremos superiores de los arcos exteriores: 9,9332 m; y, finalmente, el ángulo entre los dos ejes principales de cada paraboloides hiperbólico.

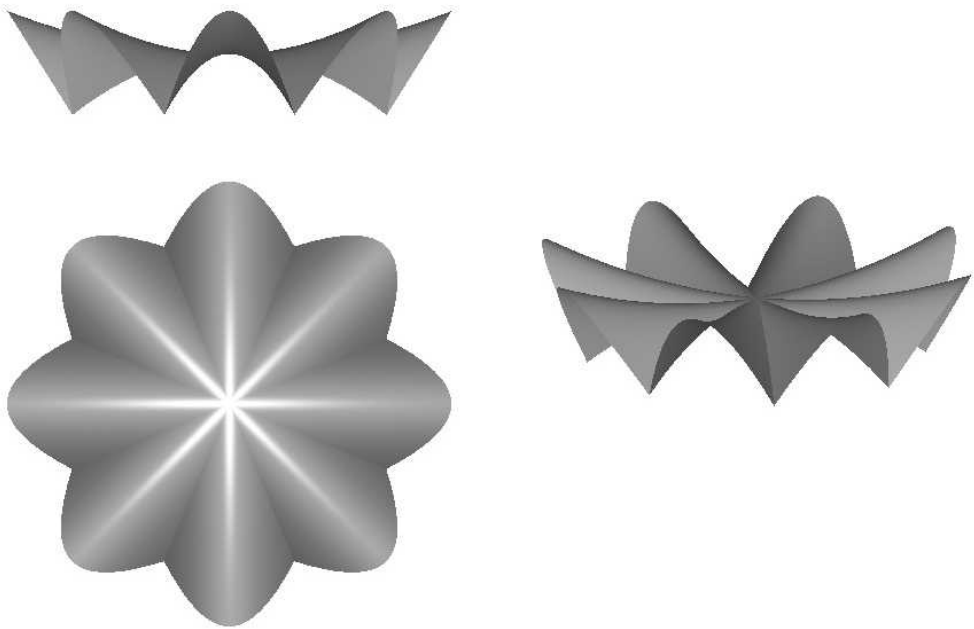
Para el modelado del hyper mediante ordenador es necesario obtener las cuatro rectas extremas que lo encierran. Deben pasar por los puntos de apoyo y además en planta son paralelas a los ejes principales de la superficie. Falta un único dato para definirlos completamente en el espacio que se obtiene a partir de las alturas que se han aportado como dato. Su cálculo se realiza apoyándose en la propiedad del paraboloides según la cual todas sus intersecciones según planos verticales son parábolas. En este caso se conocen dos puntos de la parábola, siendo uno de ellos el vértice, con lo que al conocer la situación en planta de uno de los extremos de las rectas buscadas se puede obtener su altura.

Posteriormente se genera un hyper como una superficie reglada inscrita en las cuatro rectas anteriores.

El caso de la cubierta de Los Manantiales está formada por cuatro de estas superficies entrelazadas. Por ello es necesario cortar el hyper obtenido por varios planos: dos verticales en las zonas donde se unirá posteriormente con los paraboloides adyacentes y otro plano inclinado que definirá el arco exterior y que se define mediante los dos puntos de apoyo y el punto que constituye la clave del arco, que es uno de los datos.

De este modo ya se ha obtenido un módulo de los ocho con los que está formada la cubierta completa. El resto se obtienen a partir de él generados como una matriz polar.

Finalmente se renderiza para aportarle un aspecto similar al que tiene en la realidad.



*Figura 8: Modelo de la cubierta del restaurante “Los Manantiales” con Micro-Station.*

El modelado con ordenador de estas superficies puede ser empleado posteriormente para diversas tareas. Se puede realizar un análisis estructural mediante el método de los elementos finitos o se puede dimensionar el encofrado necesario para su construcción.

## **5. Conclusiones**

A lo largo de este trabajo se ha podido apreciar la importancia que tiene la geometría en algunos elementos resistentes de la arquitectura y, por lo tanto, las ventajas que puede aportar la aplicación de herramientas gráficas digitales. De este modo se aprecia lo útil que puede resultar conjugar diversas disciplinas como son la arquitectura, la ingeniería mecánica y la ingeniería gráfica.

## 6. Referencias

[1] SEGUÍ BUENAVENTURA, Miguel. *Félix Candela. Arquitecto*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1994.

[2] CANDELA, Félix. *En defensa del formalismo y otros escritos*. Xarait Ediciones, 1985.

[3] FABER, Colin. *Las estructuras de Candela*. Compañía Editorial Continental, S. A., 1970.

[4] SAITO, Yutaka. *Félix Candela*. TOTO shuppan, 1995.

[5] [www.felixcandela.com](http://www.felixcandela.com).

[6] [www.geocities.com/SoHo/Gallery/1608/arqframe.html](http://www.geocities.com/SoHo/Gallery/1608/arqframe.html)

[7] [www.soloarquitectura.com/arquitectos/candelaouterinofelix.html](http://www.soloarquitectura.com/arquitectos/candelaouterinofelix.html)

[8] [maria.aq.upm.es/of/epa/alumnos2002/trabajos/epa95/F%C9LIX%20CANDEL](http://maria.aq.upm.es/of/epa/alumnos2002/trabajos/epa95/F%C9LIX%20CANDEL)  
A2.doc

[9] [www.imcyc.com/cyt/diciembre03/luz.htm](http://www.imcyc.com/cyt/diciembre03/luz.htm)

## DISEÑO EN BASE A REGLAS CON UNIGRAPHICS NX

Sanz Arranz, Juan Manuel; Prádanos del Pico, Roberto; Gobernado Álvarez, Eva M<sup>a</sup>;  
Rodríguez Alonso, Jorge

Universidad de Valladolid, España  
Escuela Universitaria Politécnica de Valladolid  
juan@egi.uva.es

### RESUMEN

Esta comunicación tiene como objetivo presentar el estudio y análisis del procedimiento de diseño en base a reglas con Unigraphics NX, a través del lenguaje de programación orientado a objetos Knowledge Fusion (KF), que los autores han llevado a cabo.

El lenguaje de programación orientado a objetos Knowledge Fusion (KF) permite la personalización del entorno de Unigraphics mediante la posibilidad de generar aplicaciones de acuerdo a intereses particulares, modificar geometría y modelado de acuerdo a un comportamiento programado a través de KF, y gestionar ensamblajes configurables y adaptativos en función de parámetros de entrada.

El estudio versa sobre una introducción en castellano de esta tecnología (única información disponible en nuestro idioma), y una presentación del análisis, desarrollo y programación de ocho aplicaciones originales que van desde la optimización de geometría, pasando por la automatización de indicaciones en planos, hasta una aplicación que calcula la duración de vida de casquillos de fricción.

Como aspectos innovadores cabe resaltar que se trata del primer estudio, análisis y manual de esta tecnología en castellano.

**Palabras clave:** Diseño en base a reglas; Knowledge Fusion; programación con Unigraphics NX.

### ABSTRACT

This communication must as objective present/display the study and analysis of procedure of the design on the basis of rules with Unigraphics NX, through the programming language Knowledge Fusion (KF), that the authors have carried out. The programming language Knowledge Fusion (KF) is going to allow the personalization to us of the surroundings of Unigraphics by means of the possibility of generating applications according to particular

interests, of modifying modeled geometry and according to a behavior programmed through KF, and of managing configurables and adaptive assemblies based on entrance parameters. The study turns on an introduction in Spanish of this technology (only information available in English), and a presentation of the analysis, development and programming of 8 original applications (that go from the geometry optimization, happening through the automatization of indications in planes, until an application that calculates the duration of life of friction sockets. As innovating aspects are possible to stand out that it is the first study, manual analysis and of this technology in Spanish.

**Key words:** Design on the basis of rules; Knowledge Fusion; programming with Unigraphics NX.

## 1. Introducción

El diseño en base a reglas consiste básicamente en someter el proceso de diseño de un producto a reglas lógicas. En este proceso la geometría modelada mediante un sistema CAD se gobierna por medio de un conjunto de reglas lógicas, que son relacionables entre ellas. Veamos los siguientes ejemplos:

Diseño de una transmisión entre ejes concéntricos. El diseño bajo reglas de diseño consistiría en determinar qué tipo de transmisión será la más apropiada en base a unos parámetros de entrada (diámetros de los ejes y momento torsor transmitido). A partir de esos parámetros de entrada y sirviéndose de la física, de la mecánica, de la resistencia de materiales y de la estimación personal de un experto se podrán especificar unas reglas de diseño que van a condicionar la geometría que soluciona el problema, como se muestra en la siguiente figura:



Otro ejemplo se muestra en el siguiente ensamblaje, formado por una rueda que deslizará sobre un raíl, un bulón roscado, elementos de tornillería, un cojinete, y una carcasa. Los parámetros de entrada que afectan al ensamblaje son la carga a soportar y las dimensiones del raíl sobre el que rueda.



Un experto en el diseño de este tipo de ensamblajes, podría especificar las siguientes reglas, que condicionan la disposición y dimensiones del componente en base a unos cálculos o estimaciones:

- El diámetro del perno deberá resistir el esfuerzo cortante de la carga.
- La altura de la rueda y el espesor de la carcasa deberán dimensionarse en función de la carga.
- La anchura de la rueda, y por lo tanto, de la carcasa, vendrán determinadas por la anchura del raíl. Este factor determina también la longitud del perno.
- El diámetro del perno, condiciona el diámetro de las demás piezas de tornillería, además del diámetro del cojinete, y por lo tanto, de la rueda.
- La holgura entre la carcasa y la rueda deberá de ser del 10% de la anchura de la rueda.

El proceso vuelve a ser el mismo:

**Parámetros de entrada → Reglas de diseño → Geometría**

Además se trata de un proceso que es reutilizable, ya que al modificarse los parámetros de entrada, las reglas de diseño volverán a condicionar la geometría.

En cualquier momento se podrán revisar o editar los parámetros de entrada y las reglas de diseño volverán a condicionar la geometría.

Básicamente ésta es la filosofía de trabajo del diseño en base a reglas: enlazar geometría que se modifique de acuerdo a una conducta programada. En los paquetes de CAD convencionales se incluyen opciones básicas que intentan aproximarse a esta filosofía, consistentes en el trabajo con las llamadas expresiones, que no son más que valores que pueden ser referenciados por su nombre, de tal manera que se pueden relacionar, operar numéricamente, operar lógicamente, etc. El potencial de las reglas de diseño que se pueden implementar mediante el módulo Knowledge Fusion es bastante superior al trabajo con expresiones, cómo se verá a continuación.

## **2. Estudio y análisis de la tecnología Knowledge Fusion**

Este estudio tiene como objetivo principal la introducción al módulo Knowledge Fusion del paquete de software CAD/CAM/CAE Unigraphics NX. El módulo en cuestión se apoya en un nuevo concepto de diseño denominado Diseño en base a reglas.

El diseño en base a reglas de diseño permite someter el proceso de diseño de un producto a reglas lógicas. En nuestro caso, el diseño asistido por ordenador a través del programa Unigraphics NX consiste en aplicar reglas a la geometría que se genera con la aplicación. El origen de estas reglas puede ser diverso (estimación experta, fórmulas, bases de datos, etc.). Este tipo de metodología es muy útil en casos que requieran reutilización y automatización.

En el diseño convencional, el diseñador va aplicando las reglas lógicas de manera intelectual: establece cálculos previos, consulta normas, revisa fórmulas, etc., todo ello como apoyo indispensable al posterior trabajo de delineación o modelado sólido que documentará el proyecto.

El módulo Knowledge Fusion (KF) permite implementar las reglas lógicas que sean precisas. Las reglas se implementan mediante un lenguaje de programación similar a un lenguaje orientado a objetos que funciona en el entorno de Unigraphics NX. El lenguaje de programación recibe el mismo nombre que el módulo anteriormente citado. Dicho módulo cuenta con un compilador, un depurador, un navegador y un conjunto de diálogos y menús que asisten y ayudan en el proceso de añadir el código necesario al archivo de modelado, con el fin de generar unas reglas lógicas.

Las reglas lógicas pueden generar geometría, realizar cálculos, realizar verificaciones, etc. El módulo cuenta con agrupaciones de reglas (denominadas clases) que se encargan de llevar a cabo tareas determinadas, como la generación de figuras geométricas, la gestión de un ensamblaje, clases para acceder a una base de datos, etc.



Sirviéndose de dichas clases, y de las demás posibilidades que brinda el módulo, se podrá generar una librería de clases que se adecuen a las necesidades del usuario.

Existe la posibilidad también de reutilizar dichas clases, almacenarlas en el sistema, dotarlas de un interfaz gráfico, y ejecutarlas desde un botón acoplado en cualquier barra de herramientas de Unigraphics.

A continuación se hará un resumen de las posibilidades más destacables del módulo KF:

- Someter el proceso de diseño a reglas lógicas con el fin de aumentar la fiabilidad en el proceso.
- Personalización del propio software mediante aplicaciones desarrolladas por el usuario.
- Automatizar el proceso de diseño de cara a una futura reutilización.
- Reducir tiempos a la hora de manejar grandes ensamblajes, por ejemplo.
- Integrar a través de reglas todo el conocimiento de un equipo interdisciplinar sobre una fase del proceso de diseño integral mediante la creación de clases (conjuntos de reglas lógicas).

## **2.1 Objetivos del estudio y contenido del mismo**

Pese a todas las ventajas que se puedan obtener respecto esta tecnología, Knowledge Fusion sigue siendo hoy en día, una herramienta desconocida y poco usada dentro de Unigraphics NX, más si cabe, en España, donde no se ha encontrado ningún manual (ya sea de carácter oficial o extraoficial) ni ningún tipo de información en castellano. No por ello deja de ser interesante. El escaso tejido colectivo de usuarios de Knowledge Fusion en estos momentos se restringe a grandes empresas con estructura en paraguas que se apoyan en grandes factorías respaldadas con Centros I+D y con fuertes inversiones en Investigación Aplicada.

Así pues, este ESTUDIO sirve también como antesala a un camino abierto al estudio e implantación de esta tecnología, no sólo en la E. U. P. de Valladolid, sino a nivel nacional con el interés mostrado por EDS España (empresa distribuidora de Unigraphics) en recopilar información y aplicaciones del módulo en castellano.

El trabajo ha consistido también en crear un manual a partir de la ayuda en pantalla del programa, dando un formato más pedagógico a la información, y traduciendo al castellano la documentación. Se puede afirmar que este manual es único en castellano.

La familiarización con una tecnología desconocida hasta el momento, y de la que no había información en castellano ha frenado en gran medida el desarrollo del estudio. La falta de un experto en KF en EDS España tampoco ha facilitado la labor de asistencia técnica y consulta, que en numerosas ocasiones era imprescindible, pese al buen hacer e interés mostrado por los consultores de EDS España, o el Centro de Soporte Técnico al Usuario de EDS.

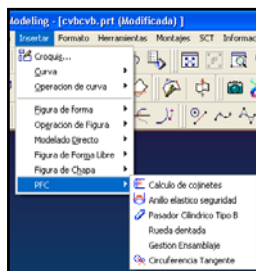
Aún así, se ha elaborado un manual, que arranca desde un nivel 0 hasta un nivel más que suficiente para que el usuario llegue a comprender las posibilidades y aplicaciones de Knowledge Fusion y el diseño bajo reglas con Unigraphics NX.

Así pues, podríamos elaborar un resumen del estudio, desglosándolo en diversos apartados o capítulos:

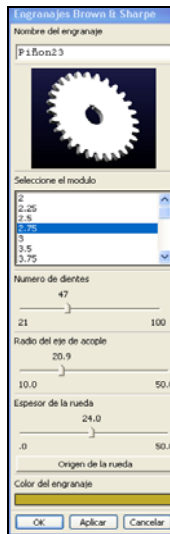
- Capítulo 1: En el que se explica en que consiste el diseño bajo reglas de diseño y la herramienta Knowledge Fusion.
- Capítulo 2: El manual propio del módulo. Se introduce el conjunto de menús, cuadros de diálogos y diversas herramientas del módulo Knowledge Fusion.
  - En esta sección se explican las posibilidades de Knowledge Fusion.
  - Se detallan algunos ejercicios prácticos con los que familiarizarse con el módulo, el conjunto de aplicaciones, y el código empleado en Knowledge Fusion, entendiendo el código como el modo básico de especificar reglas.
  - Se detalla con cierto rigor la sintaxis del código Knowledge Fusion, similar a los lenguajes de programación orientados a objetos.
  - Para usuarios más expertos, esta sección permite manejar variables que el programa utiliza internamente y que permiten configurar de acuerdo a nuestras necesidades el módulo dentro de Unigraphics NX.
- Capítulo 3: Se analizan, con el fin de completar la formación con ejemplos completos, un conjunto de 8 aplicaciones llevadas a cabo por este equipo. Se muestra el código, el proceso y se comenta el programa de cada una de las aplicaciones. Listado de las aplicaciones:
  - Implementación de la norma de representación gráfica de pasadores según norma UNE
  - Implementación de la norma de representación gráfica de Anillos elásticos de seguridad para ejes según norma UNE
  - Automatización de indicaciones en planos
  - Optimización de geometría mediante Knowledge Fusion
  - Aplicación que calcula la duración de vida de casquillos de fricción Permaglide de la marca comercial INA

*Pantallazo de la aplicación que calcula la duración de vida en horas de cojinetes, programada con KF, por los autores. En este caso las reglas de diseño las impone un proceso de cálculo obtenido de un manual técnico. La clase no genera geometría, devuelve un valor.*

- Aplicación de resolución de problemas de tangencia.
- Ejemplo de ensamblaje con reglas de diseño controlables en tiempo real
- Capítulo 4: El análisis económico de la implantación de esta tecnología puede ser decisivo a la hora de formular unas conclusiones con las que justificar el uso de esta tecnología.



*Personalización del entorno de Unigraphics NX, que los autores llevaron a cabo en el estudio.*



Pantallazo de la aplicación que genera geometría (un engranaje de dientes rectos). Las reglas de diseño se obtuvieron del procedimiento de trazado del perfil de los dientes de este tipo de engranaje. En este caso, la clase si que genera geometría.

## 2.2 Conclusión

En el diseño convencional se pueden producir errores humanos en la lectura e interpretación de las reglas de diseño, ya sean fórmulas, normas tabuladas, procedimientos o algoritmos geométricos. Mediante la correcta implementación de las reglas de diseño se reduce la posibilidad de fallo humano, además de informatizar la experiencia del diseñador o proyectista. Una correcta implementación del Know-how del diseñador o técnico en CAD, supondría una menor dependencia por parte de la empresa de la persona experta en cuestión. En el caso del diseño bajo reglas, la aplicación se encarga de acceder a la base de datos almacenada en el ordenador, al resultado de evaluar un proceso de cálculo tedioso, y todo ello de manera automática. Incluso en las revisiones, la bondad de esta metodología en cuanto a reutilización y automatización ofrece amplias posibilidades, ya que asegura que las reglas de diseño se encargan de adaptar o reconfigurar la geometría en base a los nuevos parámetros de entrada cambiantes.

Así mismo, en cuanto a éste tipo de aplicaciones, se produce una disminución de información en soporte papel, informatizando las normas y agilizando las consultas. En cuánto al Know-how de los trabajadores (gracias a la implementación de reglas) llega a formar parte del activo de la empresa. Así mismo este capital humano puede ser accesible por otro usuario que desconozca que reglas lógicas o que criterios de diseño se van a especificar sin que el experto en el tema esté presente, mediante una aplicación que, de manera transparente al usuario, ejecute y realice los cálculos que en su día el experto implementó.

La reutilización es un factor tremendamente importante. Imagínese todo el capital humano invertido en un experto que lleva trabajando un largo período de tiempo en un determinado proceso productivo (fabricación de un componente determinado). Los manuales de empresa,

los propios informes de uso interno pueden llegar a ser útiles para evitar la fuga de capital humano, pero más útil hubiera sido la implementación de todas las habilidades del experto en forma de reglas, reutilizables en el futuro un número indefinido de veces, y a su vez ampliables y renovables, debido a la portabilidad de las reglas. La empresa puede ir aumentando poco a poco su librería de reglas, enriqueciendo su valor activo.

## Referencias

- **Knowledge Fusion for Programmers. Student Manual.Ref: MT15135.**  
Documento propiedad de EDS y suministrado con el Software.
- **Knowledge Fusion for Designers. Student Manual.Ref: MT15130.** Documento  
propiedad de EDS y suministrado con el Software.
- **Configurable Assemblies with Integrated Design and Analysis.** Kena  
Yokohama.GE Global Research.2003 Anual Conference PLM.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### MODELADO GEOMÉTRICO DEL CASCO DE UN BUQUE

PEREZ ARRIBAS, Francisco (1)

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Madrid, España  
ETSI Navales, Departamento de Enseñanzas Básicas  
fperez@etsin.upm.es

### RESUMEN

La definición del casco de un buque es muy importante por los numerosos aspectos que engloba: diseño, hidrodinámica y construcción sobre todo. Los avances en el uso de superficies NURBS y de los programas que las manejan, han llevado a realizar un modelado tridimensional del buque, frente al tradicional uso de las dos dimensiones, y de las visiones espaciales frente a trabajar sobre el papel. El modelado sin embargo no es sencillo por la compleja topología que el casco de un buque presenta. Se describen en el artículo distintas técnicas de modelado actuales, usadas por los astilleros y en la construcción de modelos a escala usados en pruebas hidrodinámicas.

**Palabras clave:** fundamentos de la ingeniería de diseño, NURBS.

### ABSTRACT

Ship Hull definition is a very important matter due the numerous tasks relates: design, hydrodynamics and ship construction. Advances in the development of NURBS surfaces and in the programs able to work with such types of surfaces, allow the 3D modeling of ship hull over the traditional 2D “wire” representation. In this article, some modeling techniques used today for the shipyards and in the construction of the scaled model for hydrodynamics tests

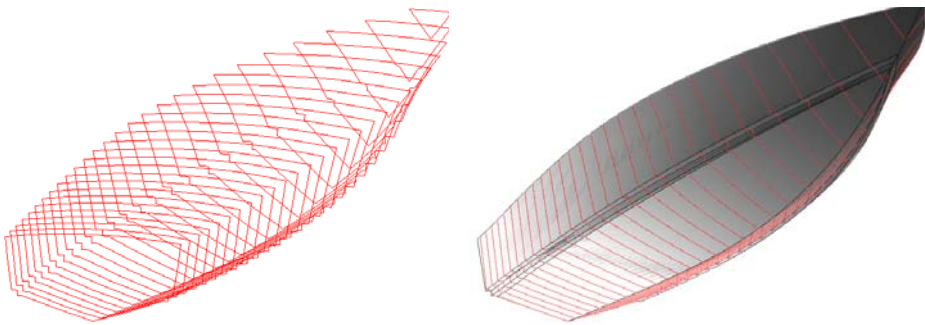
**Key words:** industrial design

## 1. Introducción

El casco de un buque es una superficie compleja. Casi no existen dos buques iguales, con lo que la generación y definición de las formas es casi un trabajo

artesanal, aunque el uso del ordenador posibilita el trabajo a pesar de que el diseño a mano de las formas mediante plantillas todavía sigue extendido.

Existen actualmente dos formas de modelizar el casco de un buque, mediante un modelo de alambre (Fig. 1, izquierda) y mediante una o varias superficies tridimensionales (Fig. 1, derecha). Si el casco del buque se corta mediante planos paralelos al eje longitudinal del mismo, se obtienen unas curvas denominadas cuadernas, que son las que aparecen en la Fig. 1 izquierda. Dichas curvas pertenecen al casco del buque, y podrían formar parte de su estructura resistente, “apoyándose” en esas cuadernas, lograríamos modelizar el casco del buque, tal como se ve en la Fig. 1 derecha

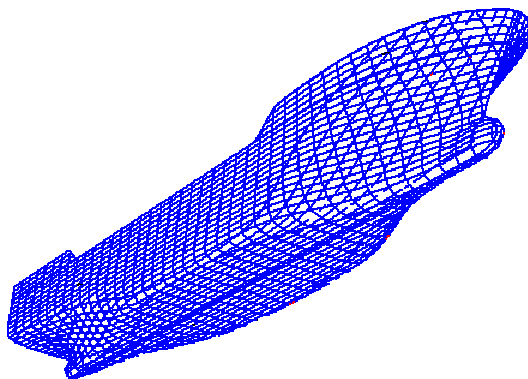


*Fig. 1 Distintas modelizaciones del casco de un buque*

Hasta hace unos años, la modelización del casco se basaba en modelos de alambre de las cuadernas, con una visualización eficaz, pero algo limitada del mismo; es decir que con las cuadernas del buque (normalmente 20) y el perfil (el corte del buque por su “medio”), el casco de un buque queda plenamente definido.

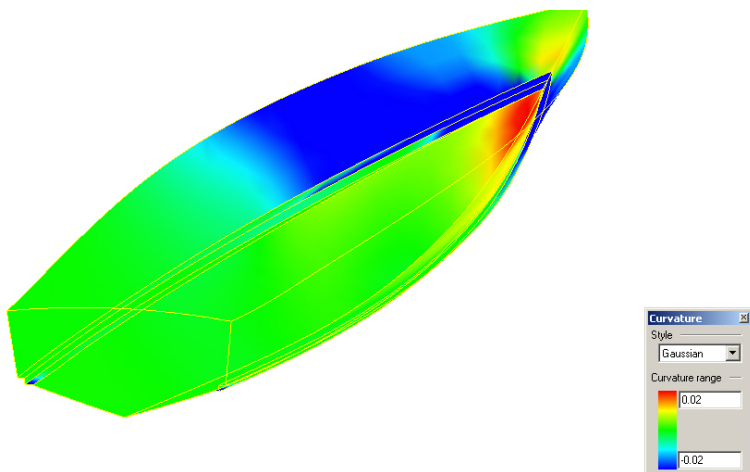
Si se corta el casco del buque por planos paralelos al plano de la base, se tienen unas curvas denominadas líneas de agua. Secciones perpendiculares a la vez a los planos que contienen las cuadernas y al plano base, forman unas curvas denominadas longitudinales. El modelo de alambre puede enriquecerse añadiendo a la visualización las líneas de agua y los longitudinales, como puede verse en la Fig. 2 en la que se ve el modelo de alambre de un buque con bulbo de proa, geometría más compleja de la presentada en la Fig. 1. La visualización en este caso es bastante buena y puede entenderse como es el bulbo de proa y la zona de popa.

Pero el uso de superficies para modelizar el casco del buque no es puramente visual. Las formas del buque han de ser “lisas” o “suaves” es decir, no presentar bollos que afectarían al comportamiento hidrodinámico del buque, aumentando la resistencia al avance. En un modelo de alambre habría que representar la curvatura de las cuadernas, o de las líneas de agua, una por una, y en caso de presentar problemas de alisado, habría que insertar mas secciones de uno y otro tipo en la zona “abollada” y modificar estas secciones convenientemente para que su curvatura sea suave.



*Fig. 2 Modelización de alambre*

Si se tiene la definición de la superficie del casco, puede obtenerse de manera matemática la curvatura (media o Gaussiana) de la misma (Fig. 3), detectar las zonas críticas y proceder a su alisado como veremos posteriormente. Esto es especialmente crítico en las zonas de fuerte curvatura como en el bulbo de proa. Más aún, en el caso de tener un modelo de alambre y querer obtener una cuaderna distinta de las que se tienen, la interpolación de esa curva no es fácil, sobre todo si las cuadernas presentan puntos denominados codillos, o puntos en lo que se pierde la continuidad en la curvatura de las cuadernas, como ocurre en la Fig. 1.



*Fig. 3 Curvatura del casco de un buque*

La desventaja del uso de superficies para modelizar el casco de un buque radica en que son difíciles de controlar. Mediante un modelo de alambre se tiene la certeza de que el casco pasará por los puntos de las cuadernas. Al apoyar una superficie en esas cuadernas, la sección de la superficie por el plano que contiene a la cuaderna, no dará exactamente la cuaderna (siempre se usan tolerancias), debido a las peculiaridades de las superficies que explicaremos después. Esto se mejora con la práctica del modelador y con una adecuada definición de las cuadernas sobre las que se apoyará la superficie.



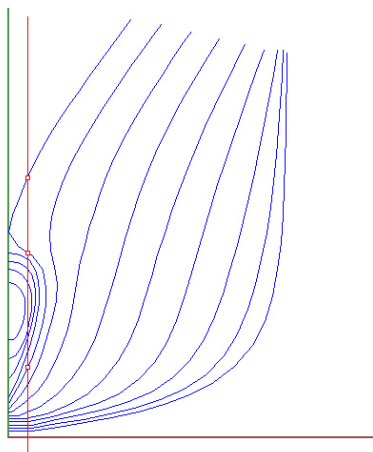
Algo a reseñar es que sin modelo de alambre, no se puede definir un modelo de superficies, pues las secciones a la superficie, que nos darían el modelo de alambre, han de ser curvas de unas determinadas características, como veremos a continuación.

## 2. ¿Que es una superficie NURBS?

Las superficies que mejor modelizan el casco de un buque son las denominadas superficies NURBS, acrónimo de **N**on **U**niform **R**ational **B** – **S**plines. Para ser más preciso también se habla de curvas NURBS, como se verá más adelante. Daremos a continuación un breve repaso geométrico a como se obtiene una superficie NURBS sin entrar demasiado en las matemáticas que las definen. La base de estas superficies son unas curvas planas denominadas B Splines y es imprescindible entender estas curvas para entender el funcionamiento de una superficie NURBS.

Una curva B Spline es una curva definida a partir de un polígono de vértices denominado polígono de control, a la que se dota de un esquema de interpolación que relaciona los vértices del polígono con la curva. Hay muchas curvas que tiene asociado el mismo polígono de control.

Lo que hace únicas a las B Splines es que la relación entre la curva y el polígono de control es una familia de polinomios o funciones base B Splines. Las curvas B Splines serán curvas para métricas  $x = g(u)$ ,  $y = g(u)$ ; En el caso de un buque, el uso de coordenadas paramétricas es imprescindible pues existen cuadernas del buque que tienen más de una ordenada para la misma abscisa como pasa en las áreas cercanas a un bulbo (Fig.4). Una misma curva B Spline estará compuesta por varios tramos de curvas de las mismas características, que serán continuas en curvatura en sus puntos de unión. El grado de estas curvas estará relacionado también con las funciones base.



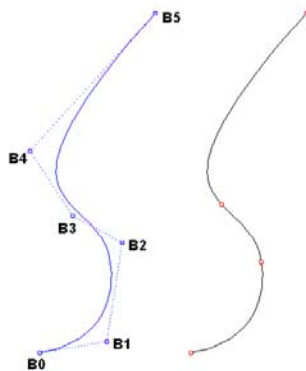
*Fig. 4 Coordenadas paramétricas en las cuadernas de proa*

El parámetro  $u$  crece monótonamente de una extremo a otro de la curva, se adimensionaliza entre 0 y 1 y no es un indicativo de la distancia a lo largo de la curva, aunque puede establecerse una relación matemática entre la distancia y  $u$ . El precio que se paga al usar coordenadas paramétricas es que si queremos saber que valor y

corresponde a un valor  $x$ , hay que obtener previamente el valor  $u$ , y esto puede no ser una tarea simple.

## 2.1 Nodos y puntos de control

En la Fig. 5 izquierda, los vértices del polígono de control de una B Spline que simula una cuaderna de la zona del bulbo de un buque, aparecen numerados del 0 al 5 y las líneas a puntos que los unen forman el polígono de control. La ligazón entre la posición de los vértices y la forma de la curva la dan las ya mencionadas funciones base. Como puede verse, la forma del polígono de control y la forma de la curva son parecidas, y el polígono de control llega a ser un esquema de la curva, llegándose con algo de práctica a intuir bastante bien como es la curva a partir de su polígono de control. Moviendo los vértices del polígono, o puntos de control, se cambiaría la forma de la curva.



*Fig. 5 Puntos de control y nodos para un B Spline*

Una curva B Spline lleva asociado además de un polígono de control, una serie de nodos, cuya posición marca la posición de los vértices del polígono de control. En la Fig. 5 derecha, los nodos se hallan marcados por puntos. Estos nodos suelen colocarse equiespaciados en  $u$  a lo largo de la curva, es decir que los puntos tramos de la Fig. 5 acabarían y comenzaría para valores de  $u = 0$ ,  $u = 1/3$ ,  $u = 2/3$  y  $u = 1$ .

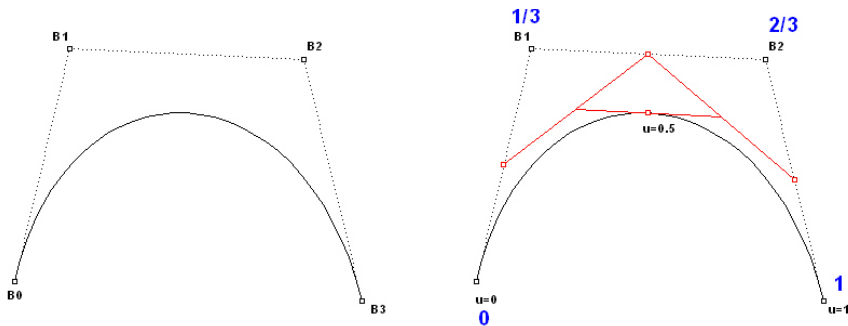
Existe un significado matemático y curiosamente otro físico para estos nodos: el matemático nos dice que estos nodos marcan el principio y final de los tramos de curva que componen la B Spline, en la Fig. 5 tres tramos; el físico ve la relación entre estos puntos y los puntos en los que se apoyaban unos pesos cuando se dibujaban curvas con un junquillo de plástico o metal. Cambiando la posición de apoyo de los pesos, cambiaba la forma de la curva para adaptarse mejor a la forma de los puntos por los que tenía que pasar.

Hay que distinguir entre orden y grado de un B Spline. Grado es el mayor exponente de los polinomios que componen las funciones base. Orden es el grado más uno. En la Fig. 5 se presenta un B Spline cúbico, es decir sus funciones base son de la forma  $f(x) = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$ , luego será de grado 3 y orden 4.

Un dato muy importante a considerar es que una curva B Spline pasa por los extremos del polígono de control y que en estos puntos extremos  $u = 0$  y  $u = 1$  las tangentes coinciden con la dirección de los lados del polígono de control en estos puntos. Esto es debido a la presencia de múltiples nudos en los extremos  $u = 0$  y  $u = 1$  de un B Spline.

## 2.2 Propiedades de los nodos

El número de nodos = número de puntos de control + orden de la curva. Así en la Fig. 5 debería de haber 10 nodos y en la Fig. 6, 8 nodos. Para definir la posición de estos nodos se usa la coordenada  $u$  de los mismos. En la Fig. 6 se tiene una B Spline de grado 3, y su vector de nodos sería  $[0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1]$  es decir que habría nodos en el principio y final de la curva, tres en el principio y tres en el final puesto que los puntos primero y último del intervalo son nodos fantasmas o imaginarios, que sólo tienen sentido para la definición matemática de la curva. Los nodos por simplicidad, suelen tomarse como se ha mencionado ya, equiespaciados en el parámetro  $u$  a lo largo de la curva. En la Fig. 5 el vector de nodos sería  $[0, 0, 0, 0, 1/3, 2/3, 1, 1, 1, 1]$ .



*Fig. 6 Obtención de puntos en función del parámetro*

Viendo la Fig. 6 izquierda, con una cúbica tenemos 4 posibles condiciones a imponer, en este caso que pase por dos puntos, B0 y B3 y que cumpla que las tangentes en estos puntos sean las que marque el polígono de control, por lo que con un solo tramo se puede seguir el polígono de control dado y no habrá nodos en el interior del B Spline. Hemos visto que moviendo los puntos de control se cambia la curva, debido a la ligazón entre polígono y curva por las funciones base, pero si en la Fig. 6 se mueve el vértice B1 ¿En qué puntos de la curva, que denominaremos puntos de edición, se conseguirá el mayor efecto?. La intuición dice que en un punto cercano al vértice y es cierto. Como analogía física se puede imaginar que existen muelles entre los puntos de control y puntos de la curva. Un extremo del muelle estaría en un punto de control, el otro en el punto de edición correspondiente sobre la curva.

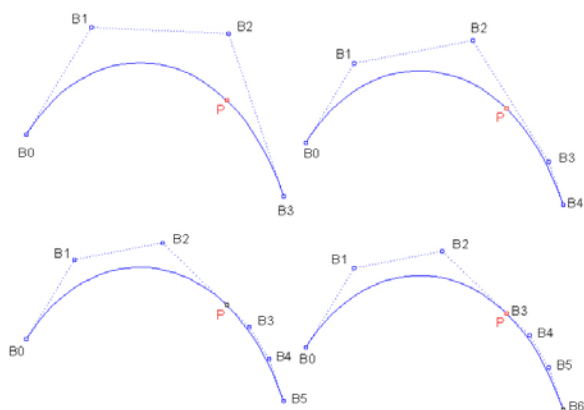
Para hacerlo con rigor matemático se usa el vector de nodos. Prescindiendo de los nodos fantasma, se toman series de puntos de dicho vector cuyo tamaño sea el grado de la curva, en este caso 3, y se promedia la suma de los componentes de la serie. Es decir que para el punto B0 se toma  $(0, 0, 0)$  y su promedio es 0, luego este punto influirá en  $u = 0$  que es el origen. B1 toma  $(0, 0, 1)$  y promedia y afecta en  $u = 1/3$ , B2

toma  $(0, 1, 1)$  y afecta en  $u = 2/3$ , y B3 toma  $(1, 1, 1)$  y afecta en  $u = 1$ . En el otro ejemplo de la Fig. 5, B0 da  $u = 0$ , B1 da  $u = 1/9$ , B2 da  $u = 1/3$ , B3 da  $u = 2/3$ , B4 da  $8/9$  y B5 da  $u = 1$ .

La determinación de que punto de un B Spline tiene un parámetro  $u$  dado se hace automáticamente una vez se tiene la ecuación, y puede hacerse también de forma geométrica. Decir que estas curvas nacen no de una definición matemática, sino geométrica con Splines de grado 2 (cónicas fáciles de dibujar) a las que posteriormente se le dio el tratamiento matemático que se usa en la actualidad. Para ello, supongamos que en la Fig. 6 derecha queremos obtener el punto  $u = 0.5$ . Para ello se dividen los lados del polígono de control en dos partes iguales (si quisiéramos  $u = 2/5$ , se dividirían en 5 y se tomarían dos divisiones) y se unen las divisiones correspondientes entre si. Vuelve a realizarse la operación uniendo los puntos medios y donde este segmento corte a la curva, que será en el punto medio de dicho segmento, se tiene el punto de  $u = 0.5$  de la curva. Como se ve se trata de una interpolación lineal, sencilla desde el punto de vista geométrico pues se puede hacer con herramientas simples de dibujo, y rápido desde el punto de vista computacional. El número de interpolaciones coincide con el grado de la curva, es decir en Splines cúbicos, 3 interpolaciones, dos sobre lados del polígono de control, y la tercera sobre el segmento que una las divisiones correspondientes de estos lados.

### 2.3 Inserción de nodos múltiples

Se ha visto que una curva B Spline pasa por los extremos del polígono de control, que es tangente al lado del polígono de control en esos puntos, y que en estos extremos existen tres nodos coincidentes. De la misma forma (Fig. 7), si en un punto cualquiera de la curva B Spline se colocan  $x$  nodos coincidentes, tal que  $x$  sea igual al grado de la curva, en este ejemplo 3, ocurrirá lo mismo, es decir que el polígono de control pasará por ese punto y la tangente en él llevará la dirección del polígono de control. En la Fig. 7 se va viendo como al ir insertando nodos uno a uno, aumenta el número de puntos de control, y como tras haber insertado tres nodos coincidentes uno de los puntos de control, B3 en este ejemplo, acaba coincidiendo con P.

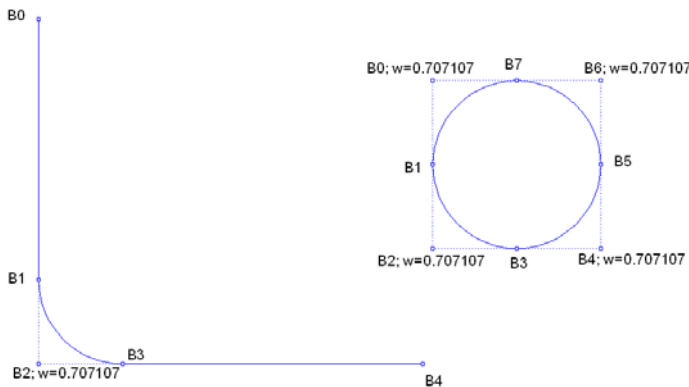


*Fig. 7 Inserción múltiple de nodos*

Se cumple además algo muy interesante: los puntos de control B2, B3 y B4 están alineados. Siempre que se defina un B Spline tal que tenga  $x$  puntos de control alineados, con  $x = \text{grado}$ , tres en este ejemplo, la curva resultante será tangente a la línea definida por esos  $x$  puntos de control alineados, pero no tiene por que pasar uno de estos. Si queremos que pase por uno de estos tendremos que elegir los tres puntos de forma que uno de ellos sea el punto medio de los otros dos, o bien poner nodos de forma adecuada.

## 2.4 Peso de los puntos de control

Hasta ahora se ha visto que significa B Spline, ¿pero que significa **R**ational en el acrónimo NURBS? Cada punto de control lleva asociado un valor numérico denominado peso. Por defecto se trabaja con pesos igual a la unidad, pero matemáticamente puede cambiarse la forma de una curva variando los pesos de los puntos de control. **Non Uniform** significa que estos pesos pueden variar de un punto de control a otro.

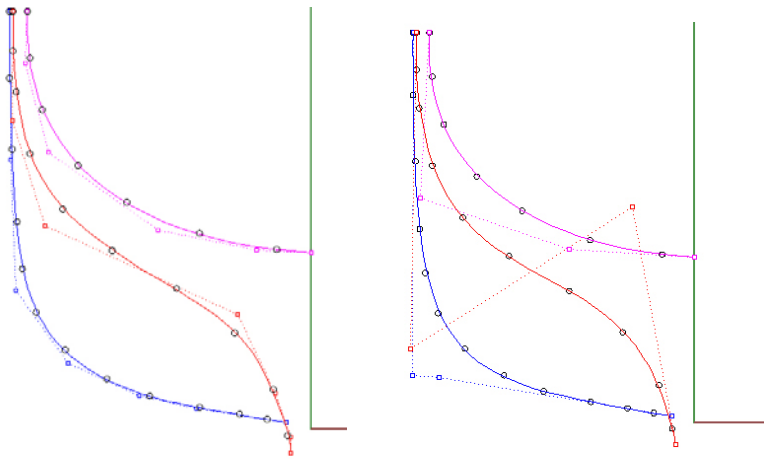


*Fig. 8 Pesos no uniformes*

En el caso de los buques esto es muy útil pues hay zonas circulares (pantoque, Fig.8) que puede ser fácilmente modelizado con esta propiedad. En general un círculo puede ser generado mediante una curva NURBS, dando los pesos no uniformes adecuados, como se ve en la Fig. 8.

## 3. Curvas B Splines en un buque

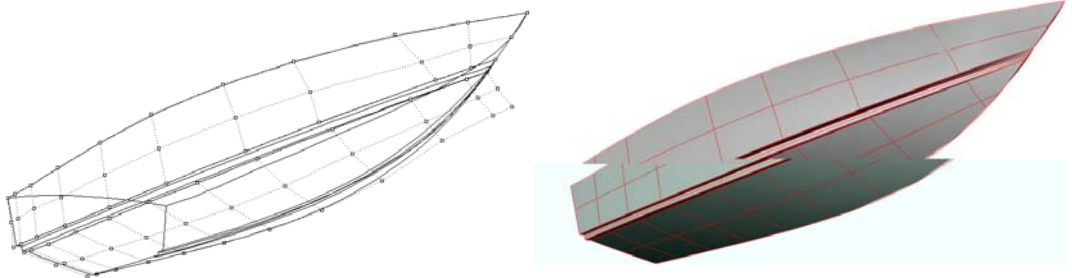
Por las características de las formas de un buque, curvas B Splines de grado 3 funcionan bien en cualquier buque. Las zonas rectas y el pantoque pueden modelizarse adecuadamente con las técnicas descritas en el punto anterior con una adecuada disposición de nodos y puntos de control. En la Fig. 9 aparecen algunas cuadernas modelizando los puntos reales (presentados como círculos) mediante B Splines. Con práctica puede reducirse el número de puntos de control necesarios para reproducir la cuaderna (Fig. 9, derecha).



*Fig. 9 Cuadernas de un buque modelizadas mediante B Splines*

#### 4. De curvas a superficies NURBS

Con lo visto hasta ahora sobre curvas, cuesta poco extrapolar a superficie. Si antes había un polígono de control, y un solo parámetro  $u$ , ahora se hablará de red de puntos de control y de dos parámetros  $u$  y  $v$ . El parámetro  $u$  irá de “arriba a abajo” y el parámetro  $v$  de popa a proa. En una superficie pueden dibujar curvas isoparamétricas, (Fig. 10 derecha) que muestran las zonas que tienen  $u$  (curvas longitudinales) o  $v$  (transversales) constante, y de las que viendo la curvatura puede verse la suavidad del casco.

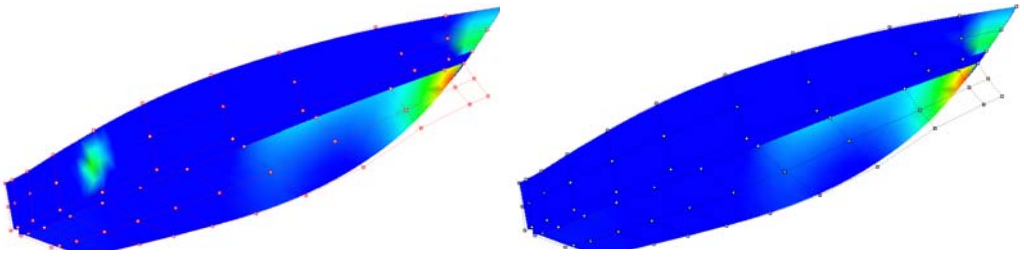


*Fig. 10 Malla e Isoparamétricas del casco de un buque*

Si para cada cuaderna había puntos de control, la malla tridimensional (Fig. 10 izquierda) que tenga esos puntos de control modelizará de forma adecuada al casco del buque, salvo en los extremos en los que habrá que mover los puntos para que la superficie tenga el mismo perfil de crujía que el buque.

Como en el caso de las curvas que pasaban por los extremos del polígono de control, la superficie tendrá por bordes las curvas formadas por los extremos de la red (por ejemplo la línea de cubierta). Mediante la inserción de nodos puede forzarse a la superficie a pasar por una determinada línea que no sea uno de los extremos de la superficie, como pueden ser los codillos de la Fig. 10.

Moviendo los puntos de control puede conseguirse un mejor alisado (Fig. 11 izquierda, en la zona de popa presenta un “bollo”) de la superficie o modificar la misma para cambiar su forma si es necesario.



*Fig. 11 Alisado mediante puntos de control*

Se pueden mover puntos de control según la dirección de la normal, producto vectorial de las tangentes según  $u$  y  $v$  que se obtienen matemáticamente. Puede además jugarse con el peso de los puntos de control para simular partes cilíndricas del buque. Es importante también que las superficies pueden ser sometidas a transformaciones afines (escalar, girar,...) sin que pierdan sus propiedades, es decir que si la superficie es suave y se transforma, su transformada lo seguirá siendo.

Superficies complejas como los bulbos u otras zonas de fuerte curvatura, han de ser divididos en superficies múltiples (parches), que se intenta sean parches desarrollables para facilitar la construcción.

## 5. Conclusiones

- Mediante curvas NURBS de grado 3 pueden modelarse de forma correcta las cuadernas de un buque, siendo recomendable usar el mismo número de puntos de control por cuaderna.
- Con los puntos de control de las curvas que definen las cuadernas, puede formarse una malla de puntos de control que permite definir la superficie NURBS que modela el casco.
- Mediante la inclusión de nodos y cambiando los pesos de los puntos de control pueden modelarse codillos y pantoques (zonas cilíndricas).

## Referencias

ROGERS, DAVID F. AND J. ALAN ADAMS, Mathematical Elements for Computer Graphics, second edition, McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1990.

FARIN, GERALD, Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide, Academic Press, Inc., Boston, 1988.

# **Studio sull'impiego dell'algoritmo della suddivisione della tangente nella tracciatura di curve del 2° ordine diverse dalla circonferenza.**

*Michele De Franchis<sup>1</sup>, Università degli Studi di Palermo*

*Massimiliano Calandrino<sup>3</sup>*

*Antonino Ganci<sup>2</sup>, Università degli Studi di Palermo*

*Giovan Battista Rinaldi<sup>4</sup>, Università degli Studi di Palermo*

<sup>1</sup>Professore Incaricato di Matematica – Dipartimento di Matematica – Facoltà di Ingegneria

<sup>2</sup>Studente laureando del Corso di Laurea in Ingegneria Ambientale – Università di Palermo

<sup>3</sup>Ingegnere – STMicroelectronics s.r.l. – Catania

<sup>4</sup>Professore Associato di Disegno Tecnico Industriale – Dipartimento D.I.A.S. – Facoltà di

## **Sommario**

Gli aa. hanno intrapreso uno studio tendente a verificare la possibilità di adattare, per opportuni accorgimenti matematici, uno stesso algoritmo alla tracciatura di più curve del 2° ordine, verificandone anche gli eventuali limiti di applicabilità e la resa in termini di qualità sullo schermo di un computer.

L'algoritmo della *suddivisione della tangente*, sottoposto a questo studio, ha dimostrato di essere convenientemente utilizzato nella direzione sopra detta.

## **Summary**

The authors have undertaken a study to verify the possibility to adapt, by proper expedients, the same algorithm about drawing of more second-class curves, subjecting it to application and to the drawing quality as to conversion on screen of a personal computer.

The subdivision algorithm of tangent, submitted to this study, has proved to be convenient in terms previously stated.

## **Introduzione**

L'uso dei computer ed il conseguente sviluppo della grafica computerizzata ha indotto studiosi a progettare algoritmi di tracciatura, a schermo, delle primitive geometriche. Una caratteristica di ridurre la mole dei calcoli matematici sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.

A questo scopo sono stati messi a punto diversi algoritmi (DDA, punto di mezzo, non parametrici, etc.) che, se da una parte hanno il vantaggio di ridurre i prodotti, dall'altra utilizzano semplici confronti tra i segni delle funzioni per stabilire quali pixel accendano. I prodotti producono risultati non sempre accettabili sul piano geometrico. Tali algoritmi in approssimazioni successive, e se vengono lasciati liberi di operare possono produrre risultati che non corrispondono alle proprietà primitive, quali ad esempio:

- tracciature diverse se lo stesso segmento di retta viene percorso nei due versi;
- circonferenze che, percorsi i 360°, non si chiudono.

In conseguenza di ciò l'iniziale semplicità di calcolo si paga con la necessità di introdurre molti controlli tendenti ad evitare i suddetti inconvenienti.

Le potenzialità di calcolo, peraltro sempre crescenti delle attuali macchine hanno



La strada dell'alleggerimento può quindi essere seguita sfruttando la possibilità di risolvere adeguatamente equazioni di curve simili; questo, ad esempio, è il caso della circonferenza.

### Metodo della suddivisione della tangente (versione originaria)

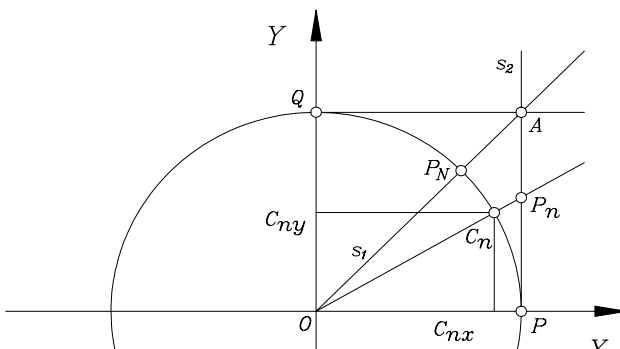
Il metodo della suddivisione della tangente, di seguito descritto, è nato come algoritmo per le circonferenze. L'intervallo di calcolo viene limitato allo spazio angolare, compreso tra  $0^\circ$  e  $45^\circ$  lasciando poi alla simmetria ad otto vie il compito di coprire l'intera circonferenza. La struttura dell'algoritmo non rende conveniente calcoli oltre il limite già detto infatti la tangente assumerebbe valori sempre crescenti e necessario l'uso di un maggiore numero di suddivisioni, senza considerare che avvicinandosi ai  $90^\circ$  i numeri da trattare diventerebbero grandissimi e quindi non gestibili dai computer. Questo avrebbe ovviamente come risultato l'impossibilità di completare anche per un solo quadrante. Da qui la necessità dei limiti angolari predetti.

Consideriamo una circonferenza (figura 1) di raggio  $R=1$  con il centro nell'origine ( $x^2 + y^2 = 1$ ), prendendone in considerazione solamente il primo ottante che è delimitato dall'asse  $X$ , dall'asse  $Y$  e dalla circonferenza stessa.

Sia  $P_N$  un punto sulla circonferenza nel primo ottante, con coordinate  $P_N\left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ . Si tracci una semiretta  $s_2$  tangente alla circonferenza nel punto  $P_N$  e una semiretta  $s_1$  tangente alla circonferenza nel punto  $A(1,1)$  (intersezione della tangente verticale in corrispondenza dell'arco considerato con la bisettrice dell'angolo di  $90^\circ$ ) uscente dall'origine  $O$  e passante per  $P_N$ . Così costruito il segmento che unisce i punti  $A$  e  $P$  ha una tangente  $tg\left(\frac{\pi}{4}\right) = 1$  e rappresenta la tangente verticale, in corrispondenza dell'arco considerato.

Il segmento  $\overline{AP}$  in  $N$  parti uguali, essendo  $N$  un numero naturale. Per ricavare la tracciatura della circonferenza si unisca ciascun punto derivante dalla suddivisione del segmento  $\overline{AP}$  (in figura  $P_n$ ) con l'origine degli assi in modo da intercettare la circonferenza (in figura  $C_n$ ). Il generico punto  $P_n$  avrà coordinate  $\left(1, \frac{n}{N}\right)$  con  $0 \leq n \leq N$ .

Poiché  $C_n$  e  $P_n$  sono sulla stessa semiretta uscente dall'origine  $O$ , essi hanno coordinate proporzionali secondo un coefficiente  $k_n$ ; ma  $k_n$  è il rapporto tra i vettori  $\overrightarrow{OC_n}$  e  $\overrightarrow{OP_n}$ .



Si ha dunque

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n, k_n \frac{n}{N} \right)$$

ed imponendo che  $C_n$  sta sulla circonferenza

$$k_n^2 + k_n^2 \frac{n^2}{N^2} = 1, \text{ da cui } k_n^2 = \frac{1}{1 + \frac{n^2}{N^2}} = \frac{N^2}{N^2 + n^2} \text{ e } k_n = \frac{N}{\sqrt{N^2 + n^2}}$$

Si conclude che  $C_n$  ha coordinate  $\left( \frac{N}{\sqrt{N^2 + n^2}}, \frac{n}{\sqrt{N^2 + n^2}} \right)$

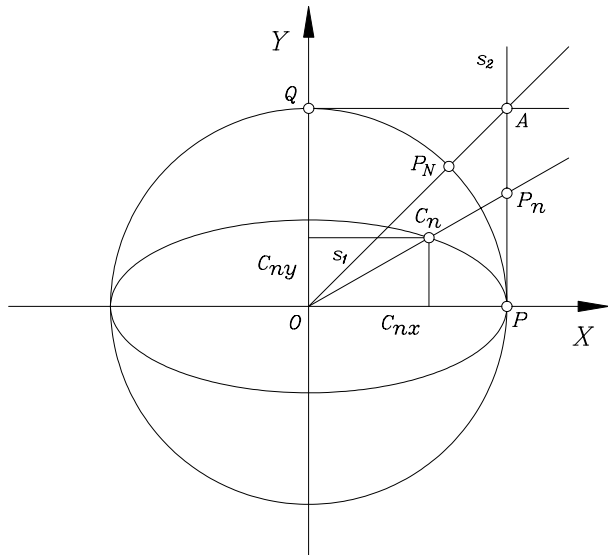
### Introduzione al metodo generalizzato della tangente

Per la maniera, già descritta, di operare del metodo della suddivisione della tangente alle altre curve del secondo ordine non è sufficiente la sola porzione che giace nel primo ottante; occorre anche quella che giace nel secondo; risulta pertanto necessario, per raggiungere la generalizzazione del metodo, operare sia sulla tangente verticale che su quella orizzontale, imponendo, inoltre, delle opportune condizioni.

### Tracciatura di ellissi

Consideriamo i punti  $P=(1,0)$ ,  $A=(1,1)$  e  $Q=(0,1)$  e chiamiamo  $PA$  la tangente verticale (alla circonferenza avente centro nell'origine e raggio 1) (figura 2)

Applichiamo quindi il metodo di suddivisione della tangente prima alla tangente verticale, per costruire, in analogia per quanto fatto per la circonferenza, la parte dell'ellisse  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$  nel primo ottante; poi alla tangente orizzontale  $QA$  per costruire la parte dell'ellisse nel secondo ottante.



$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n, k_n \frac{n}{N} \right)$$

avendo chiamato  $k_n$  il rapporto tra  $\overrightarrow{OC_n}$  e  $\overrightarrow{OP_n}$ ; e

$$\frac{k_n^2}{a^2} + \frac{k_n^2 n^2}{b^2 N^2} = 1.$$

Dunque il punto dell'ellisse  $C_n$  è individuato da

$$k_n = \frac{abN}{\sqrt{b^2 N^2 + a^2 n^2}}$$

ed ha pertanto coordinate  $\left( \frac{abN}{\sqrt{b^2 N^2 + a^2 n^2}}, \frac{abn}{\sqrt{b^2 N^2 + a^2 n^2}} \right)$ .

Ciò vale per i punti  $C_n$  dell'ellisse che cadono nel primo ottante.

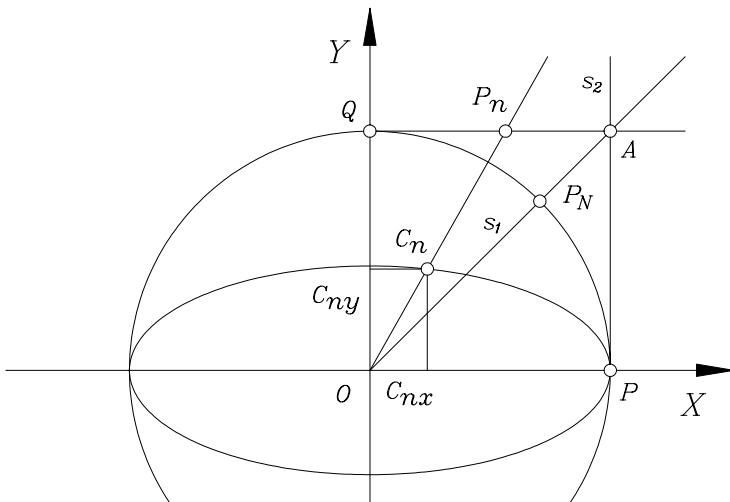
Per ottenere la costruzione per i punti della parte rimanente dell'ellisse nel occorre applicare l'intero procedimento alla tangente orizzontale  $QA$  (figura 3).

In questo caso con il solito significato dei simboli,  $P_n = \left( \frac{n}{N}, 1 \right)$ ,

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n \frac{n}{N}, k_n \right) \text{ con } \frac{k_n^2 n^2}{b^2 N^2} + \frac{k_n^2}{a^2} = 1$$

$$\text{ossia } k_n = \frac{abN}{\sqrt{b^2 n^2 + a^2 N^2}}.$$

Cioè i punti  $C_n$  dell'ellisse nel secondo ottante si trovano in corrispondenza dei per  $n$  che varia da 0 (il punto  $(0, b)$ ) ad  $N$  (il punto  $\left( \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right)$ , che è il nel 1° settore). La curva completa si otterrà utilizzando la simmetria a quattro vie a sezioni del primo quadrante qui costruito.



## Tracciatura della parabola

Limitandoci anche qui alla parabola (in forma canonica)  $y = ax^2$  ( $a > 0$ ) osserviamo che la tracciatura equivale a quella della parabola  $y = x^2$  disegnata sul piano cartesiano.

L'unità di misura uguale ad  $\frac{1}{a}$  (al punto (1,1) corrisponderà  $\left(\frac{1}{a}, \frac{1}{a}\right)$  che appartiene alla parabola  $y = ax^2$ ).

Basta dunque limitarsi al tracciamento della parabola  $y = x^2$  rispetto all'asse  $y$  assumendo le tangenti verticale ed orizzontale PA e QA (già viste nel caso precedente) all'individuazione dei punti dell'arco tra (0,0) e (1,1) e di quello tra (1,1) e l'infinito.

La parabola con la retta  $y = \frac{N}{n_0}x$  avendo proceduto sulla tangente orizzontale in corrispondenza di

sua divisione in  $N$  parti uguali a partire da  $n = n_0$  ( $< N$ ) positivo e scelto opportunamente in relazione alla porzione di curva che si intende disegnare.

Così operando, con i soliti procedimenti e significati dei simboli (figura 4) si ottiene il primo ottante (tangente verticale):

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n, k_n \frac{n}{N} \right) \quad \text{con } k_n \frac{n}{N} = k_n^2$$

che, a parte  $k_n = 0$  che dà l'origine, fornisce il punto  $C_n$  della parabola corrispondente al punto  $P_n$  sull'asse  $x$ .

ossia

$$C_n = \left( \frac{n}{N}, \frac{n^2}{N^2} \right) \quad n=0, 1, \dots, N$$

Operando sulla tangente orizzontale  $P_2A$  si ottiene (figura 4)

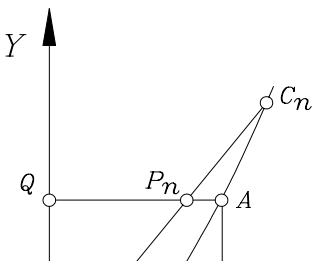
$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n \frac{n}{N}, k_n \right) \quad \text{con } k_n = k_n^2 \frac{n^2}{N^2}$$

che, a parte  $k_n=0$ , fornisce (per  $n \neq 0$ )  $k_n = \frac{N^2}{n^2}$  cui corrisponde il punto  $C_n$  della parabola nel

secondo ottante)

$$C_n = \left( \frac{N}{n}, \frac{N^2}{n^2} \right) \quad n=1, 2, \dots, N$$

Si considererà la simmetria rispetto all'asse  $y$  per ottenere l'intera curva; e quella rispetto all'asse  $x$  nel caso  $a < 0$ , rispetto alla parabola  $y = |a|x^2$ .



## Tracciatura dell'iperbole

Consideriamo i casi dell'iperbole equilatera  $xy = a^2$  e dell'iperbole  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ .

Per il primo caso basta limitarsi ad  $a=1$ : il tracciamento per  $a \neq 1$  equivale a riferito al piano cartesiano in cui si assuma l'unità di misura uguale ad  $a$  corrisponderà  $(a,a)$ . Basterà, inoltre, per ragioni di simmetria, limitarsi al primo tangente verticale (figura 5). Si ha

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n, k_n \frac{n}{N} \right) \text{ ove } k_n^2 \frac{n}{N} = 1 \text{ cioè } K_n = \sqrt{\frac{N}{n}} \quad n=1,2,\dots,N.$$

Si considererà la simmetria rispetto ad  $y=x$  per ottenere il ramo (completo) di ip quadrante; e quindi quella rispetto all'origine per il ramo del terzo quadrante.

Se si vorrà considerare anche il caso in cui al posto di  $a$  vi sia un termine no potrà ripetere il procedimento per  $a = |b|$  e prenderne la curva simmetrica rispetto a

Nel secondo caso (iperbole  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$  con  $a$  e  $b$ , per semplicità, positivi) biso

che l'iperbole si sviluppa nell'angolo delle  $y$  tra  $-\frac{b}{a}$  e  $\frac{b}{a}$  delle  $x>0$  e  $\frac{b}{a}x$  e  $-\frac{b}{a}x$

che il ramo del primo quadrante è compreso tra l'asse  $x$  ( $y=0$ ) e l'asintoto  $y = \frac{b}{a}x$ .

coglieranno tutti e soli i punti dell'iperbole nel primo quadrante operando sul verticale per  $n=0,1,\dots,N-1$  (per  $n=N$  si ha l'asintoto  $y=x$ ); se  $b<a$  si dovrà oper

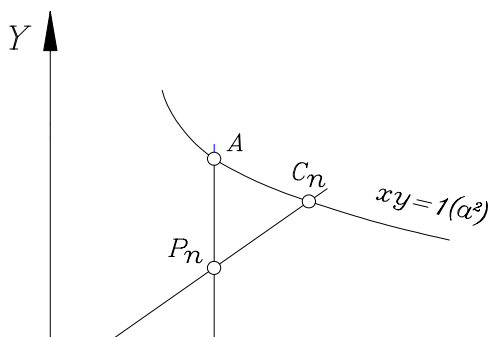
sola tangente verticale, ma per  $n=0,1,\dots,n_0$  con  $n_0$  tale che  $\frac{n_0}{N} < \frac{b}{a}$ , ossia  $n_0 \leq$

un intero; altrimenti  $n_0 \leq \left[ \frac{b}{a} N \right]$  (parte intera di  $\frac{b}{a} N$ ); se, infine,  $b>a$  si oper

tangente verticale, per tutti gli  $n$  naturali da 0 fino ad  $N$ , anche sulla tangente orizzon

$n$  da  $n_0$  fino ad  $N$  con  $n_0$  tale che  $\frac{N}{n_0}$  risulti minore di  $\frac{b}{a}$  ossia con  $n_0 \geq \frac{a}{b} N -$

intero ed  $n_0 \geq \left[ \frac{a}{b} N \right]$  altrimenti.



$P_n = \left(1, \frac{n}{N}\right)$  ( $n=0,1,2,\dots,N-1$ ) si avrà, detta  $C_n$  l'intersezione dell'iperbole con l'asse  $X$  (figura 6):

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left(k_n, k_n \frac{n}{N}\right)$$

$$\text{con } k_n^2 - k_n^2 \frac{n^2}{N^2} = 1$$

$$\text{ossia } k_n^2 = \frac{N^2}{N^2 - n^2}, \quad k_n = \frac{N}{\sqrt{N^2 - n^2}} \quad (n=1,2,\dots,N-1)$$

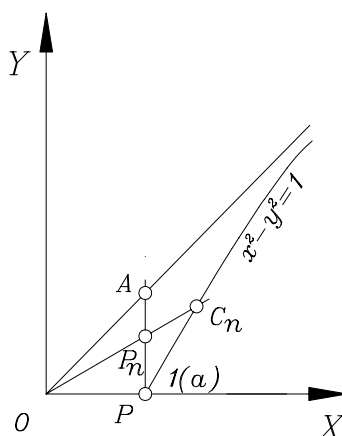


FIGURA 6

$$\text{Dunque } C_n = \left(\frac{N}{\sqrt{N^2 - n^2}}, \frac{n}{\sqrt{N^2 - n^2}}\right).$$

Si procederà scegliendo  $N$  abbastanza grande ed  $n$  massimo più o meno grande (relazione al problema). Si opererà con le opportune simmetrie se si vorrà completare

Nel secondo caso,  $b < a$ , si procederà pure sulla sola tangente verticale ma il procedimento ad un (opportuno)  $n_0$ , come indicato in premessa.

Si ha, con il solito significato dei simboli (figura 7)

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left(k_n, k_n \frac{n}{N}\right)$$

$$\text{con } \frac{k_n^2}{a^2} - \frac{k_n^2 n^2}{b^2 N^2} = 1,$$

$$\text{ossia } k_n^2 = \frac{a^2 b^2 N^2}{b^2 N^2 - a^2 n^2}, \quad k_n = \frac{abN}{\sqrt{b^2 N^2 - a^2 n^2}}$$

[ b ]

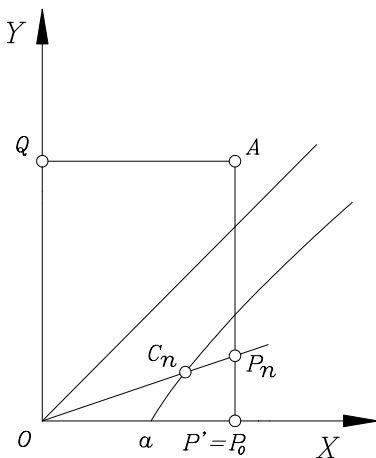


FIGURA 7

Infine nel terzo caso,  $b > a$ , si procederà prima sulla tangente verticale per  $n$  da 0 tangente orizzontale per gli  $n \geq n_0$  come osservato in premessa. Si ha (figura 8):

1) sulla tangente verticale

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n, k_n \frac{n}{N} \right)$$

$$\text{con } \frac{k_n^2}{a^2} - \frac{k_n^2 n^2}{b^2 N^2} = 1$$

$$\text{ossia } k_n^2 = \frac{a^2 b^2 N^2}{b^2 N^2 - a^2 n^2}, \quad k_n = \frac{abN}{\sqrt{b^2 N^2 - a^2 n^2}} \quad n=0, 1, \dots, N$$

cui corrispondono i punti

$$C_n = \left( \frac{abN}{\sqrt{b^2 N^2 - a^2 n^2}}, \frac{abn}{\sqrt{b^2 N^2 - a^2 n^2}} \right)$$

2) sulla tangente orizzontale

$$\overrightarrow{OC_n} = k_n \overrightarrow{OP_n} = \left( k_n \frac{n}{N}, k_n \right)$$

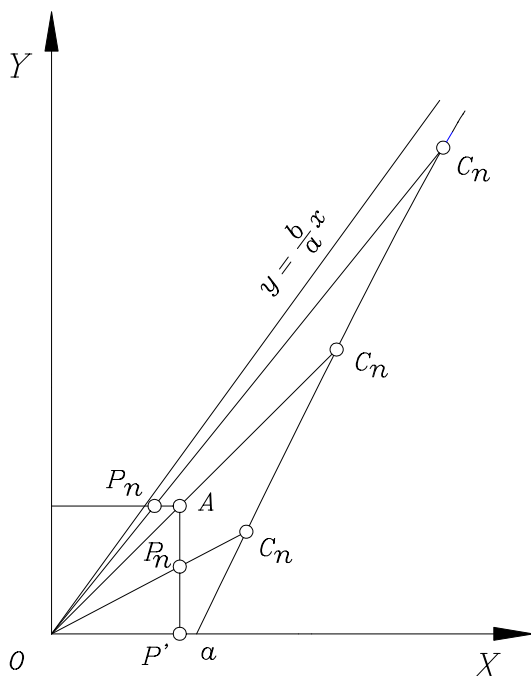
$$\text{con } \frac{k_n^2 n^2}{a^2 N^2} - \frac{k_n^2}{b^2} = 1$$

$$\text{ossia } k_n^2 = \frac{a^2 b^2 N^2}{b^2 n^2 - a^2 N^2}, \quad k_n = \frac{abN}{\sqrt{b^2 n^2 - a^2 N^2}} \quad n=n_0, n_0+1, \dots, N$$

con  $n_0$  tale che  $\frac{N}{n} < \frac{b}{a}$ , come chiarito in premessa.

Vi corrisponderanno i punti (del secondo ottante)

$$C_n = \left( -\frac{abn}{\sqrt{b^2 n^2 - a^2 N^2}}, -\frac{abN}{\sqrt{b^2 n^2 - a^2 N^2}} \right) \quad n = \left\lceil \frac{a}{b} N \right\rceil + 1, \dots, N.$$



## Ringraziamenti

Gli a.a. ringraziano la Dott.ssa Laura Santonocito<sup>1</sup> per la traduzione del sommario e l'Industriale Sig. Giacomo Cerami<sup>2</sup> per la realizzazione delle figure inserite nel testo.

<sup>1</sup>Professoressa di lingua Inglese presso l'Istituto Comprensivo "Amerigo Vespucci" - Catania

<sup>2</sup>Funzionario Tecnico presso la Facoltà di Ingegneria - Palermo

## BIBLIOGRAFIA

Gagliardo, *Versione informatica per elaboratore elettronico della anal*  
Franco Angeli



---

## **2. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS**

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL DISEÑO AL DESARROLLO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN ÓPTICA BASADOS EN LEDS

CASADO LOU, José Luis (1); TORRES PORTERO, Miguel Ángel (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, España  
EUITI, Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico:jlcasado@unizar.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Zaragoza, España  
EUITI, Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico:matorres@unizar.es

### RESUMEN

La tecnología LED representa la fuente de la iluminación más eficiente disponible hoy en día. Y como la tecnología del LED avanza a diario, las posibilidades de otros usos mundiales son sin fin. De los semáforos al señalización luminiscente en exteriores de edificios. Los LED conservan, y están, sustituyendo la iluminación tradicional todo sobre el globo. Poseen una vida increíblemente larga, una alta eficiencia de energía. Son virtualmente irrompibles. Programables. Versátiles. Direccionales. Éstos son solamente algunas de las muchas ventajas del LED. Por lo tanto a continuación se exponen las líneas maestras que configuran la metodología del diseño para el desarrollo de sistemas de iluminación óptica basados en Led's.

**Palabras clave:** METODOLOGÍA DEL DISEÑO, LEDS, SISTEMAS ÓPTICOS, ILUMINACIÓN, CAD/CAM/CAE

### ABSTRACT

LED's represent the most efficient source of lighting available today. And as LED technology advances daily, the possibilities for further worldwide applications are endless. From traffic lights to luminescent signage to home lighting. LEDs can, and are, replacing traditional lighting all over the globe. Incredibly long life. Energy efficient. Virtually unbreakable. Programmable. Versatile. Directional. These are just a few of the many benefits of the LED. So, on following article, are exposed the master guidelines for the Design Methodology, applied to development of Optical Illumination System based on LED's.

**Key words:** DESIGN METHODOLOGY, LEDS, OPTICAL SYSTEMS, ILLUMINATION, CAD/CAM/CAE

## 1. Introducción

Hasta la actualidad la luz de las linternas se ha estado generando a base de filamentos convencionales en los que el 90% de la energía se transformaba en calor y se perdía, con un rendimiento neto muy escaso.

La tecnología LED (Diodos Emisores de Luz) o también llamada Luz Fría (Cool Light) se presenta como la mayor revolución en iluminación desde que Edison inventase la bombilla eléctrica y ya se habla de que llegarán a reemplazar las bombillas convencionales utilizadas.



La estructura básica de un LED es una unión p-n funcionando con corriente directa. Bajo esta corriente los portadores de carga mayoritarios a ambos lados de la unión (electrones o huecos) son capaces de superar la barrera energética debida a la unión y se produce la inyección de portadores. Los portadores mayoritarios son minoritarios al otro lado de la unión y se recombinan con los portadores mayoritarios en procesos radiativos generando la emisión de luz.

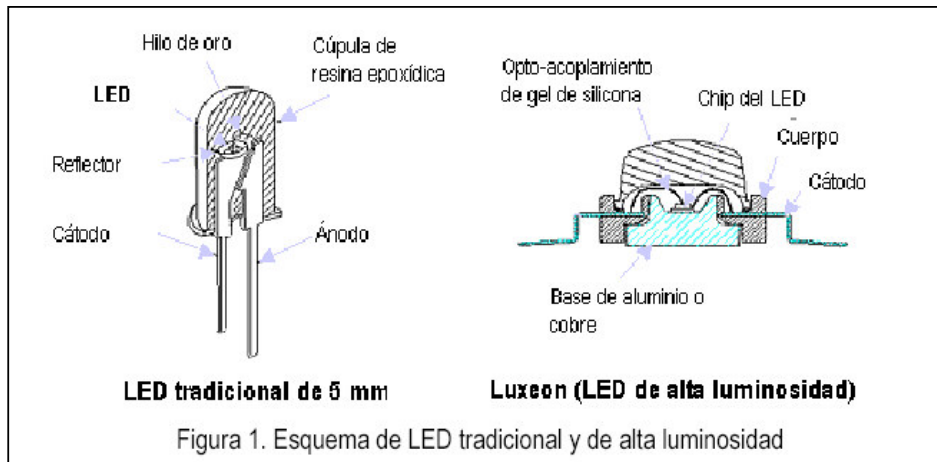
Ha sido a raíz del descubrimiento de las características y prestaciones de un LED de Nitruro de Galio lo que ha hecho posible obtener luz blanca de un semiconductor.

Y es que, a diferencia de un LED tradicional que se fabrica utilizando una pequeña pastilla o chip montada en una pieza de resina epoxídica de tipo óptico, la fabricación de un LED de los denominados de alta luminosidad o de alta potencia responde a un proceso muy complejo, que requiere entre otras cosas una serie de reacciones fisico-químicas, tales como las de:

- situar un sustrato semiconductor en una cámara de vacío y calentarlo a 900-1100° C;
- introducir después gases que al fluir sobre el sustrato reaccionan entre sí para producir las capas que constituyen el dispositivo acabado. Dichos gases deben romperse dejando solamente el elemento deseado, por ejemplo galio sin ningún contaminante.

Así un LED de alta luminosidad podría tener hasta 40 capas incluyendo un apilamiento de cinco o diez pozos en los que los electrones y los agujeros se combinan para producir luz. Estos pozos de 3-4 nm de espesor están separados por capas barrera y emparedados entre regiones de tipo n y de tipo p.

Resumiendo, mientras un LED tradicional o convencional emite aproximadamente del orden de 3 a 5 lúmenes, un LED de alta luminosidad, denominado también de alta potencia, emite a su vez entre 5 y 50 lúmenes, con un flujo unitario en el caso de luz de color blanco del orden de 18 lúmenes por emisor.



Los LED proporcionan una intensidad de iluminación relativa a un coste muy interesante, y además tienen una larga vida, aproximadamente 100.000 horas. Otra consideración a tener en cuenta es que sólo requieren un cable de alimentación y no un haz de fibra óptica que en ocasiones es muy delicado.

La escasísima **depreciación luminosa** de los LED de alta luminosidad proporciona una alternativa de fuente de luz práctica que contrarresta los elevados costes de mantenimiento de las lámparas convencionales. Del mismo modo que este aspecto ha contribuido notablemente a la sustitución de las lámparas incandescentes en los semáforos y señales de tráfico, por este tipo de dispositivos, se espera que conduzca a la adopción de esta tecnología también en el mundo de la iluminación.

Entre las características más aprovechables de los LED están su compacto tamaño, la naturaleza direccional de la luz, los elevados rendimientos de gestión térmica y los avances tecnológicos que permiten una creciente emisión luminosa, por lo que se ofrecen nuevas oportunidades para los diseñadores.

La aparición de los LED de alta luminosidad ha modificado sustancialmente el nuevo diseño de las luminarias que incorporen estos dispositivos, que además se verán

beneficiadas por la duración de un ciclo de vida de las luminarias de cinco a siete años sin necesidad de hacer ninguna operación de mantenimiento sobre ellas.

Al mismo tiempo, la direccionalidad de su emisión y su pequeño tamaño abren nuevas vías al desarrollo de sistemas ópticos con un elevadísimo control de la distribución luminosa, mejorando notablemente las eficiencias conjuntas de fuente de luz convencional y luminaria.



## **2.- Metodología del Diseño**

Podremos intentar sintetizar la metodología del diseño aplicada a los sistemas de iluminación basados en LED, en dos únicos pasos o etapas. Esta concepción de la misma pretende facilitar la labor, y servir de guía a los profesionales que pretendan abordar la implementación de dicha tecnología.

### 1ª Etapa: Diseñar los resultados finales o efectos:

Es preciso acotar y definir, así como exponer, de forma sintetizada y ordenada, cuales van a ser las características sensoriales y estéticas a obtener en el espacio del objeto que se va iluminar.

En este proceso es puramente conceptual, y se debe de independizar lo máximo posible de las consideraciones inherentes al sistema óptico a utilizar.

Cabe señalar que durante la realización de esta etapa se abordan operaciones consecutivas en modo no lineal, de tal forma que están permitidos bucles de realimentación, en función de que las conclusiones finales de definición del sistema aconsejen modificar los planteamientos iniciales .

Las directrices o líneas maestras que permiten estructurar esta etapa, tendrán un mayor peso en el resultado final dependiendo de la aplicabilidad de las mismas al caso concreto, y serán las siguientes:

- a.- Resultados visuales alcanzados.
- b.- Resultados relativos a sensaciones de confort visual.
- c.- Resultados dimensionales del Continente ( espacio) y Contenido ( objetos).

## 2ª Etapa: Diseño del Sistema:

Es ahora cuando debemos de plantear y organizar los medios que van a hacer posible obtener los resultados que se plantearon en la 1ª Etapa.

La evolución de la tecnología de alumbrado, y más concretamente de los sistemas basados en LED, es lo que nos va a permitir lograr sistemas de alumbrado que se integren con los elementos constructivos del edificio o de ámbitos urbanos.

Así pues, y contando con la relación formal y estética de los sistemas con el espacio destinado a integrarlos, tendremos que considerar tres criterios relativos a su composición:

- 1.- De integración de la forma
- 2.- De expresión o manifestación de la forma
- 3.- De ocultación de la forma

## **3.- Proceso de Diseño de los sistemas de iluminación**

Las tecnologías de iluminación basadas en LED's nos van a permitir hallar soluciones optimizadas para la ecuación Sistema de alumbrado -Composición en el espacio, puesto que nos va a facilitar la incorporación de los criterios complementarios y relativos del objeto ( historia, composición, estética, entorno, etc...)

Desde el punto de vista de la estructura y composición del sistema, hay que señalar que la distribución del mismo con sus fuentes lumínicas ( LED's) puede tomar dos caminos distintos:

- a.- Integración con la estructura compositiva del espacio o no
- b.- Personalización / Enfatización o no del sistema frente al conjunto.

Al tener que tomar decisiones sobre lo expuesto, puede ayudar tener en cuenta que:

1.- La tecnología de iluminación basada en LED, nos permite decidir y elegir sobre la conveniencia de su percepción o la ocultación (facilidad basada en las reducidas dimensiones del sistema óptico). Y como las dimensiones o el aspecto pueden incidir en el diseño y concepción del espacio, podremos tomar decisiones acerca de poder considerarlos como elemento propio y distintivo de éste, o incluso destacarlos como elemento central del diseño.

2.- La percepción u ocultación de la infraestructura física y eléctrica así como de los accesorios se convierte, para el caso de utilización de los sistemas de iluminación basados en LED, en tarea mucho más abordable y que permite resultados más ajustados a lo deseado.

Para finalizar es muy importante recordar que la obtención de prototipos, mediante técnicas avanzadas de simulación y construcción ( CAD/CAM/CAE), nos permite verificar a priori la fiabilidad y eficacia de conjunto diseñado, con las consiguientes repercusiones de aumento de la rentabilidad y reducción de tiempos de desarrollo del proyecto.

#### **4.- Conclusiones**

La conclusión debe contener la idea principal del trabajo, sea repitiendo sucintamente lo que ya fue explicado antes, sea relacionando las deducciones o las inferencias de las conclusiones parciales anteriores. Es oportuno motivar a los lectores, resaltando la utilidad de la experiencia, de la investigación o el desarrollo en aplicaciones prácticas.

En la actualidad las prestaciones fotométricas, cromáticas y direccionales de los LED's hacen de ellos fuentes de luz capaces de sustituir en numerosas aplicaciones a las lamparas de incandescencia (señalización en vehículos, semáforos, iluminación arquitectónica, ornamentación y museos, paneles publicitarios...). Siendo los LED's fuentes de luz con prestaciones muy favorables en cuanto a su durabilidad y depreciación, con bajo mantenimiento.

La evolución de las fuentes de luz a través de los decenios, ha proporcionado una eficacia (lumens/watio) muy importante para el alumbrado, y especialmente a partir de la aparición y desarrollo de las lámparas de descarga.

Los sistemas de iluminación ópticos constituyen la esencia de la calidad en el alumbrado ya que se traducen en el elemento que controla, dirige y valora la luz emitida por la lámpara en la dirección óptima obteniendo según su naturaleza, los resultados más idóneos en iluminancias y luminancias medias, y uniformidades que, según su diseño redundarán en la acertada visibilidad que se pretende conseguir.

## **Referencias**

OSRAM “LED in General Lighting”, Catalogo, OSRAM España, Solana, 47, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid (2000).

Hewlett-Packard Optoelectronics Division “Optoelectronics Applications Manual” McGraw-Hill, USA, 1977.

Nichia “Optoelectronics Product Guide”, Nichia, Südwestpark 60, D-90449, Nürnberg, (1999).

Toshiba “LED Lamps Product Guide”, Catalogo, Plaza de España 18, Madrid (1999- 2000).

A. García-Botella, A. A. Fernández-Balbuena, D. Vázquez, E. Bernabeu, “Thermal influences on optical properties of LED: a semiempirical model”, Applied Optics, 40, 4, 533-537, (2001).

Manuel Gomez-Chueca “Aplicaciones Eficientes de Lámparas”, Comité Español de Iluminación, IDEA, Madrid, 1996.



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### MÉTODO GEOMÉTRICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CÓNICAS, CON CENTRO O FOCO DADO, EN LA REPRESENTACIÓN DE BÉZIER

SÁNCHEZ-REYES FERNÁNDEZ, Javier (1); DORADO VICENTE, Rubén (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Castilla-la Mancha, España

E.T.S. de Ingenieros Industriales de Ciudad Real, Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos  
Correo electrónico: Javier.SanchezReyes@uclm.es

<sup>(2)</sup>Universidad de Castilla-la Mancha, España

E.T.S. de Ingenieros Industriales de Ciudad Real, Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos  
Correo electrónico: ruben.dorado@uclm.es

### RESUMEN

Las cónicas con el mismo centro o foco están relacionadas entre sí mediante una transformación lineal o perspectiva. La conocida construcción como curva de Bézier cuadrática de un segmento de círculo se extiende mediante esta propiedad a segmentos arbitrarios de cónica con centro **C** o foco **F** dado. El método consta de dos etapas. En primer lugar se eligen libremente los puntos de control extremos, que coinciden con los extremos del segmento. En segundo lugar el punto de control intermedio se elige sobre cierta recta que pasa por **C** o **F**. A los puntos extremos se les asignan pesos unitarios y al punto intermedio un peso que depende de la distancia entre el punto y **C** o **F**.

**Palabras clave:** Representación Bézier de una cónica, centro, foco, transformación lineal, transformación perspectiva.

### ABSTRACT

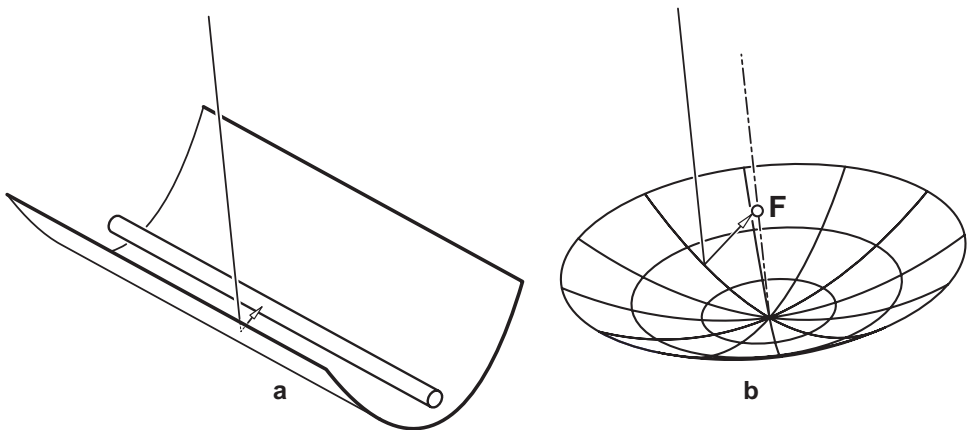
Concentric and confocal conics relate by linear and perspective maps, respectively. Using this property, we carry over the well-known quadratic Bézier construction of a circular arc to arbitrary conic segments of given centre **C** or focus **F**. First, choose arbitrarily the Bézier endpoints and assign them unitary weights. Second, pick the inner Bézier point on a certain line passing through **C** or **F**. The distance from **C** or **F** to this inner point determines the inner weight.

**Key words:** Bézier conic, Centre, Focus, Linear map, Perspective map.

# 1. Introducción

La razón fundamental para la adopción del modelo de Bézier racional en CAGD (*Computer Aided Geometric Design*) es su capacidad para representar de forma exacta segmentos de cónica, además de formas de libre diseño. La expresión en la forma cuadrática de Bézier de un arco de círculo se encuentra en los libros sobre CAGD (FARIN, 2001; FARIN y HANSFORD, 2000; HOSCHEK y LASSER, 1993), manuales (WOLTERS, 2002) y en cualquier monografía sobre NURBS (FARIN, 1999; PIEGL y TILLER, 1997; ROGERS, 2001). Sin embargo esta representación no se extiende a segmentos de cónica arbitrarios con centro o foco dado. Además los trabajos existentes se centran en la determinación de propiedades presentes en segmentos de cónica previamente creados, como PIEGL y TILLER (1997), que emplean una expresión, definida por LEE (1987), para obtener características geométricas (centro, foco, ejes, etc.) de cónicas en la representación racional de Bézier. También ALBRECHT (2001) determina los invariantes geométricos de estos segmentos de cónica.

Pero lo que un diseñador necesita es lo contrario: un método geométrico sencillo para construir segmentos de cónica representados en la forma de Bézier, dado su centro o su foco. Ejemplos de aplicaciones en las que se requiere construir segmentos de cónica de foco dado son el diseño de reflectores parabólicos (Fig. 1), ampliamente empleados en óptica, acústica y en las comunicaciones por radio, o también el modelado de los espejos secundarios, elípticos o hiperbólicos, presentes en algunos telescopios astronómicos. Los procedimientos buscados resultan ser sorprendentemente simples y se basan en que cónicas con el mismo centro o foco dado están relacionadas mediante una transformación lineal o perspectiva, respectivamente. Basta reinterpretar las expresiones que aparecen en la construcción del círculo en términos de invariantes con respecto a estas transformaciones.



*Figura 1: Aplicación de la propiedad focal de las cónicas: (a) Colector solar con forma de cilindro Parabólico. (b) Antena con forma de paraboloide de revolución.*

## 2. Representación de Bézier para una cónica de centro $C$ dado

### 2.1. Representación de Bézier para un círculo y una hipérbola equilátera

En primer lugar recordemos la representación racional cuadrática de Bézier para un arco de circunferencia:

$$\mathbf{c}(\theta) = [\cos \theta, \sin \theta], \quad \theta \in [-\alpha, \alpha]. \quad (1)$$

de centro  $C$  situado en el origen de coordenadas, radio unitario, y ángulo de barrido  $2\alpha$  (Fig. 2a). Sus puntos de control y los pesos son:

1. Puntos extremos:  $\mathbf{b}_0 = \mathbf{c}(-\alpha)$ ,  $\mathbf{b}_2 = \mathbf{c}(\alpha)$ , con pesos  $w_0 = w_2 = 1$  (forma estándar).
2. (a) Punto intermedio  $\mathbf{b}_1$  sobre la línea  $\mathbf{CM}$ , donde  $\mathbf{M} = \frac{1}{2}(\mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_2)$ , y a una distancia  $1/\cos \alpha$  de  $C$ .  
 (b) Peso  $w_1$  que puede interpretarse como una relación de distancias:

$$w_1 = \cos \alpha = \sqrt{\frac{d_M}{d_1}}, \quad \begin{aligned} d_M &= |\mathbf{CM}| = \cos \alpha \\ d_1 &= |\mathbf{Cb}_1| = 1/\cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

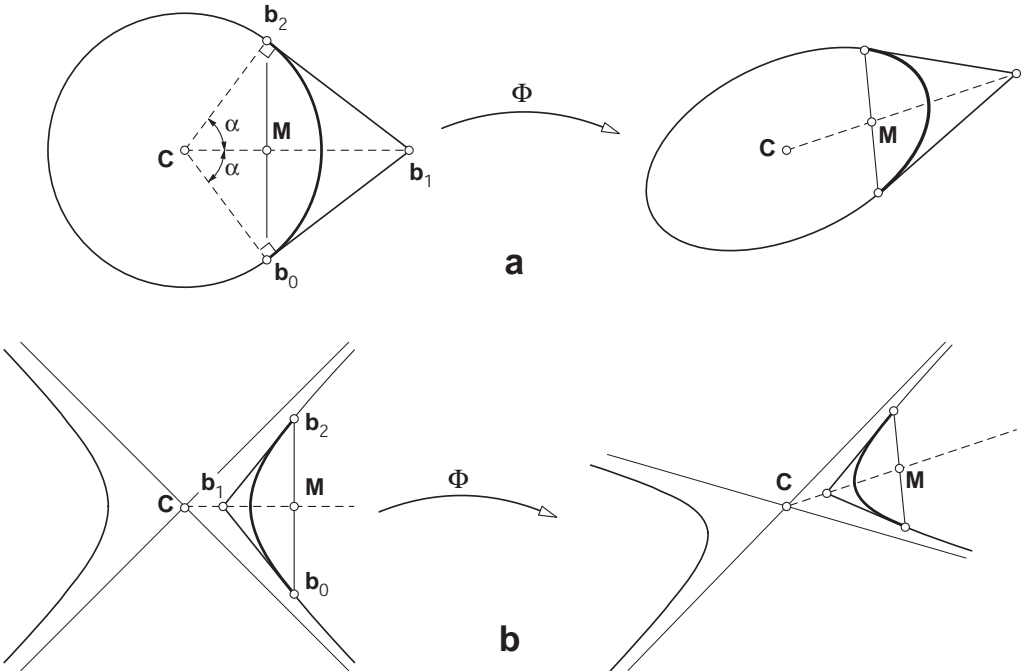


Figura 2: Obtención de un segmento de cónica de centro  $C$  dado mediante una transformación lineal  $\Phi$ . (a) Elipse a partir de un círculo unitario. (b) Hipérbola a partir de una hipérbola equilátera.

Sustituyendo las funciones trigonométricas (1), por sus equivalentes hiperbólicas, se obtiene una hipérbola equilátera  $\mathbf{c}(\theta) = [\cosh \theta, \sinh \theta]$  de centro  $\mathbf{C}$  (Fig. 2b). Como en el caso del arco de circunferencia el segmento de hipérbola simétrico  $\theta \in [-\alpha, \alpha]$  tiene un punto de control intermedio  $\mathbf{b}_1$  situado en la línea  $\mathbf{CM}$ , cuyo peso se expresa también como una relación de distancias:

$$w_1 = \cosh \alpha = \sqrt{\frac{d_M}{d_1}}, \quad \begin{aligned} d_M &= |\mathbf{CM}| = \cosh \alpha \\ d_1 &= 1 / \cosh \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

## 2.2. Método para construir segmentos de cónica arbitrarios de centro dado $\mathbf{C}$ en la forma de Bézier

Mediante una transformación lineal  $\Phi$  de un arco de circunferencia o de una hipérbola equilátera de centro dado  $\mathbf{C}$  en origen de coordenadas, se obtienen elipses o hipérbolas concéntricas respectivamente. Cualquier elipse o hipérbola de centro  $\mathbf{C}$  puede generarse de esta forma. Como  $\Phi$  no afecta a la definición del punto  $\mathbf{M}$ , ni a los pesos, ni modifica la relación entre distancias, las expresiones (2) y (3) son válidas para los segmentos de cónica obtenidos tras aplicar  $\Phi$ .

Esta propiedad permite establecer un sencillo método (Fig. 3a) para obtener un segmento de cónica arbitrario de centro dado en la forma de Bézier:

1. Se eligen arbitrariamente los puntos de control extremos  $\mathbf{b}_0$  y  $\mathbf{b}_2$  del segmento de cónica, asignándoles un peso unitario  $w_0 = w_2 = 1$ .
2. Se especifican las tangentes en los extremos colocando el punto intermedio  $\mathbf{b}_1$  alineado con  $\mathbf{CM}$ ,  $\mathbf{M} = \frac{1}{2}(\mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_2)$ , y se le asigna un peso:

$$w_1 = \sqrt{\frac{d_M}{d_1}}, \quad \begin{aligned} d_M &= |\mathbf{CM}| \\ d_1 &= |\mathbf{Cb}_1| \end{aligned}$$

Obsérvese que si se sitúa el centro  $\mathbf{C}$  en el infinito, entonces  $w_1 = 1$ , y por consiguiente se obtiene un segmento parabólico (Fig. 3b).

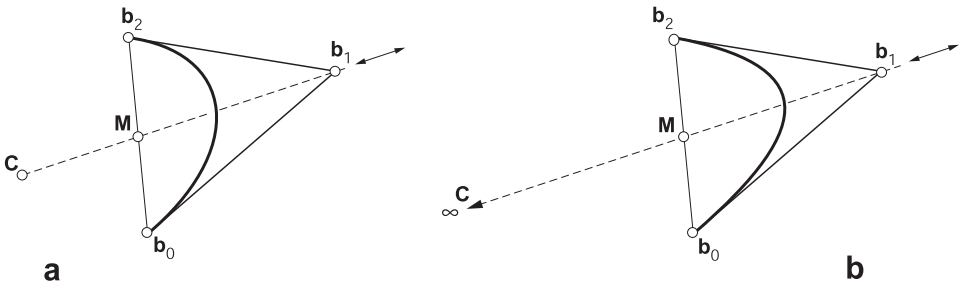


Figura 3: (a) Obtención de un segmento de cónica arbitrario de centro  $\mathbf{C}$ .  
(b) Caso de la parábola.

### 3. Representación de Bézier para una cónica de foco $F$ dado

#### 3.1. Ecuación de una cónica en coordenadas polares con origen en el foco

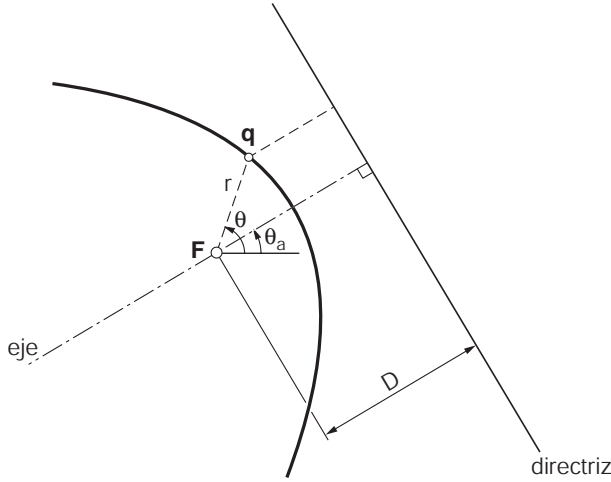


Figura 4. Definición métrica de una cónica con foco  $F$ .

De acuerdo con la definición de Monge (SPIEGEL y LIU, 1999), una cónica es la curva descrita por el movimiento de un punto  $q$  tal que el cociente entre su distancia a un punto fijo (foco  $F$ ) y su distancia a una línea fija (directriz) es una constante  $\varepsilon$  (excentricidad). La directriz está definida por dos parámetros (Fig. 4), su distancia al foco  $D$  y el ángulo  $\theta_a$  entre la dirección horizontal  $\theta=0$  y la perpendicular a la directriz (eje). En esta construcción los 5 parámetros que definen una cónica son por lo tanto  $\{F, D, \varepsilon, \theta_a\}$ .

Empleando coordenadas polares  $(r, \theta)$  con origen  $F$ , la ecuación de una cónica es:

$$\varepsilon = \frac{r}{D - r \cos(\theta - \theta_a)}.$$

Despejando el inverso,  $r^{-1}(\theta)$ , del radio se obtiene una función sinusoidal que define una familia de cónicas de foco común  $F$  que depende de 3 parámetros:

$$r^{-1}(\theta) = \frac{1}{\varepsilon D} [\varepsilon \cos(\theta - \theta_a) + 1] = a_1 \cos(\theta) + a_2 \sin(\theta) + a_3, \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\varepsilon D} \begin{bmatrix} \varepsilon \cos(\theta_a) \\ \varepsilon \sin(\theta_a) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

La excentricidad  $\varepsilon$  determina el número de ceros de  $r^{-1}(\theta)$  y por lo tanto el tipo de cónica: Elipse ( $\varepsilon < 1$ ), parábola ( $\varepsilon = 1$ ), o hipérbola ( $\varepsilon > 1$ ).

### 3.2. Transformación perspectiva de una circunferencia.

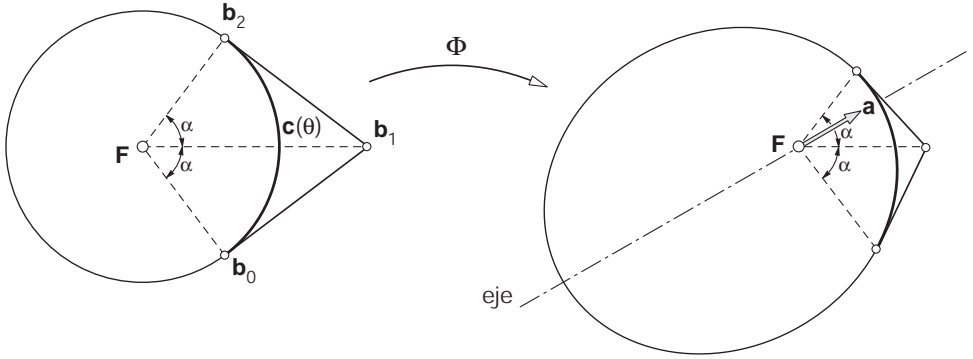


Figura 5. Construcción de un segmento de cónica con foco  $F$ , mediante la transformación perspectiva  $\Phi$  de un círculo.

A continuación se estudiará qué transformación es necesario aplicar a un círculo de centro  $F$  para obtener la familia (4) de cónicas Fig.(5). La transformación deseada  $\Phi$  provoca una deformación radial, dividiendo las distancias radiales  $\rho$  de los puntos  $\mathbf{p}=(\rho, \theta)$  por la función sinusoidal  $r^{-1}(\theta)$  (4) simétrica respecto a  $\theta_a$ .

La aplicación  $\Phi$  no es más que una transformación perspectiva (más un escalado global), donde  $F$  se sitúa en el origen de coordenadas. Adoptando coordenadas homogéneas y la notación de FARIN (1999), la imagen  $\Phi(\mathbf{p})$  de un punto cualquiera  $\mathbf{p} = [p_1, p_2, p_3]^T$  es:

$$\Phi(\mathbf{p}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ a_1 & a_2 & a_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \mathbf{p} \cdot \mathbf{a} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

donde  $\mathbf{p} \cdot \mathbf{a}$  es el producto escalar con un vector constante  $\mathbf{a}$  cuyas 3 coordenadas definen la transformación perspectiva  $\Phi$ . Aplicando  $\Phi$  al círculo unitario (1) se obtiene la curva:

$$\underline{\mathbf{c}}(\theta) = \begin{bmatrix} \mathbf{c}(\theta) \\ 1 \end{bmatrix} \rightarrow \Phi(\underline{\mathbf{c}}(\theta)) = \begin{bmatrix} \mathbf{c}(\theta) \\ r^{-1}(\theta) \end{bmatrix}, \quad r^{-1}(\theta) = a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta + a_3, \quad (6)$$

cuya última coordenada homogénea es  $r^{-1}(\theta)$ , la función sinusoidal que define la familia de cónicas (4) con foco común, por lo que (5) es la transformación perspectiva buscada. Es evidente que cualquier cónica con foco  $F$  puede obtenerse a partir de la transformación perspectiva del círculo eligiendo los parámetros  $\{D, \varepsilon, \theta_a\}$  adecuados, y calculando  $\mathbf{a}$ , vector que define la transformación, de acuerdo a (4). El vector  $\mathbf{a}$  controla la cónica resultante como sigue:

- La proyección euclídea  $\mathbf{a} = \varepsilon [\cos \theta_a, \sin \theta_a]^T$ , tiene coordenadas polares  $(\varepsilon, \theta_a)$ , y por tanto especifica la excentricidad y el eje de la cónica.
- Dividiendo  $\mathbf{a}$  por una constante se consigue un escalado global de la cónica, como indica (5).

Por último si se quiere obtener los puntos de control de la cónica generada mediante la transformación perspectiva (6), simplemente se aplica  $\Phi$  (5) a los puntos de control del círculo original. Como la transformación sólo afecta a la última coordenada, los puntos de control se desplazan a lo largo de las líneas radiales que parten desde  $F$ , y sus pesos variarán proporcionalmente a los inversos de las distancias a  $F$ . Por tanto, las siguientes propiedades del círculo unitario se conservan tras la transformación perspectiva:

- (a) Punto de control intermedio sobre la bisectriz de  $\mathbf{b}_0\mathbf{Fb}_2$ .
- (b) Pesos  $w_i = r_i^{-1}$ , iguales a los inversos de las distancias  $r_i = |\mathbf{Fb}_i|$ .

Para obtener la representación estándar (FARIN, 2001), pesos unitarios para los puntos de control extremos, se aplica una reparametrización de Moebius, que implica multiplicar los pesos originales por  $r_0c^i$ , donde  $c = \sqrt{r_2/r_0}$ . Como resultado el peso del punto de control intermedio viene dado por la relación  $w_1 = \sqrt{r_0 r_2} / r_1$ .

### 3.3. Método para construir segmentos de cónica arbitrarios de foco dado $F$ en la forma de Bézier

A partir de los resultados de la sección precedente se deriva un sencillo método para generar segmentos de cónica arbitrarios con foco dado  $F$  en la forma de Bézier (Fig. 6a):

1. Se eligen 2 puntos de control extremos deseados  $\mathbf{b}_0$ ,  $\mathbf{b}_2$  y se les asignan pesos unitarios  $w_0 = w_2 = 1$ .
2. Se elige el punto de control intermedio  $\mathbf{b}_1$  sobre la bisectriz del ángulo formado por los segmentos  $\mathbf{Fb}_0$ ,  $\mathbf{Fb}_2$ , y se le asigna un peso:

$$w_1 = \frac{\sqrt{r_0 r_2}}{r_1}, \quad r_i = |\mathbf{Fb}_i|.$$

Si  $r_0 = r_1 = r_2$ , esto es, si los puntos de control están sobre el círculo unitario de centro  $F$ , se tiene un segmento simétrico de curva parabólica con eje  $\mathbf{Fb}_1$  (Fig. 6b).

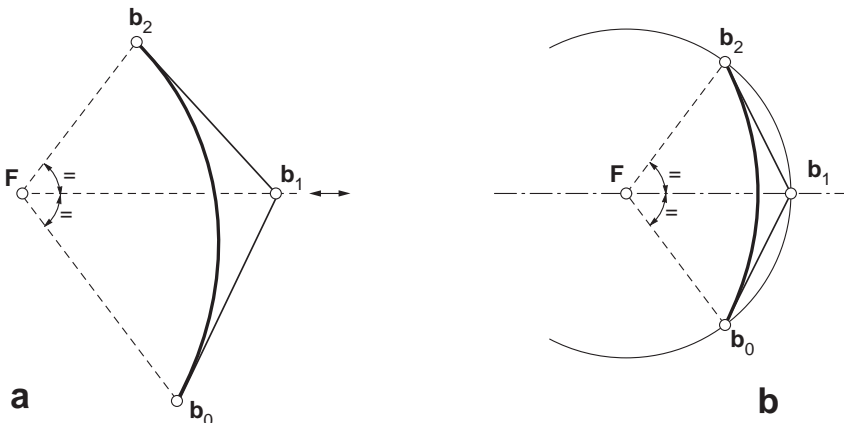


Figura. 6. (a) Construcción de un segmento arbitrario de cónica con foco  $F$ .  
(b) Caso de una parábola.

El valor del ángulo polar para  $\mathbf{b}_0$  y  $\mathbf{b}_2$  permite definir a qué arco del círculo unidad se le aplica la transformación  $\Phi$ , mientras que los radios  $r_0, r_1, r_2$  determinan el vector  $\mathbf{a}$  y por lo tanto  $\Phi$ . Finalmente, obsérvese que los segmentos de cónica obtenidos corresponden al caso cuadrático de un subconjunto especial de curvas racionales de Bézier (SÁNCHEZ-REYES, 1990), que admite una parametrización sencilla en coordenadas polares.

## Agradecimientos

Este trabajo está subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, mediante los proyectos de investigación DPI2000-0676 y DPI2003-02598.

## Referencias

ALBRECHT, G., *Determination of geometrical invariants of rational parametrized conic sections*. In: Lyche, T. Schumaker, L.L.(Eds.), *Mathematical Methods for Curves and Surfaces*. Oslo 2000. Vanderbilt University Press, Nashville, TN, pp. 15-24. 2001.

FARIN, G., *NURB Curves and Surfaces: from Projective Geometry to Practical Use* 2ª Ed. AK Peters. 1999.

FARIN, G., *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*, 5ª Ed. Morgan Kaufmann. 2001.

FARIN, G. HANSFORD, D., *The essentials of CAGD*. AK Peters. 2000.

HOSCHEK, J, LASSER, D., *Fundamentals of Computer Aided Geometric Design*. AK Peters. 1993

LEE, E.T.Y., *The rational Bézier representation for conic*. In: Farin, G.E.(Ed.), *Geometric Modeling: Algorithms and New Trends*. SIAM, pp. 3-20. 1987.

PIEGL, L., TILLER, W., *The NURBS Book*, 2ª Ed. Springer. 1997.

ROGERS, D.F., *An Introduction to NURBS. With historical perspective*. Morgan Kaufmann. 2001.

SÁNCHEZ-REYES, J., *Single-valued curves in polar coordinates*. *Computer-Aided-Design* 22 (1), 19-26. 1990.

SPIEGEL, M.R., LIU, J., *Mathematical Handbook of formulas and tables*. 2ª Ed. McGraw-Hill. 1999

WOLTERS, H.J., *Rational Techniques*. In : Farin, G. , Hoschek, J., Kim, M.-S., (Eds.), *Handbook of Computer Aided Geometric Design*. North Holland/Elsevier, Amsterdam, pp. 111-140. 2002.





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DEL RODEZNO TÍPICO DE LOS MOLINOS HIDRÁULICOS DEL ALTIPLANO BASTETANO (Baza, Granada)

DOMENE GARCÍA, Julián (1); ROJAS SOLA, José Ignacio (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Jaén, España

Grupo de Investigación "INGENIERÍA GRÁFICA Y SOFTWARE EDUCATIVO"

Correo electrónico: judomene@yahoo.es

<sup>(2)</sup>Universidad de Jaén, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Correo electrónico: jirojas@ujaen.es

### RESUMEN

Históricamente, la zona del Altiplano Bastetano, debido a su importancia geográfica ha sido comarca de grandes poblaciones que han dado lugar al desarrollo de una industria de gran relieve. Entre otras actividades, una de las principales ha sido la harinera, representada por sus molinos hidráulicos.

Esta comunicación dedicada a la reconstrucción gráfica y animación por ordenador de uno de los elementos indispensables de los molinos, se inicia debido a la escasa documentación que existe actualmente de este tema y sobre el trabajo basado principalmente en la visita y estudio de cada uno de los molinos harineros de la comarca, donde se observó que no existe ningún rodezno conservado para su estudio y posible recuperación.

Se pretende por lo tanto utilizando las herramientas gráficas necesarias para ello, dar a conocer un patrimonio histórico, tecnológico y cultural que permanece oculto, dando posibilidad a su posible rehabilitación y desarrollo turístico.

Combinando estas tecnologías, junto al estudio teórico del rodezno como una turbina hidráulica horizontal que es, nos muestran las opciones de la animación digital que se utilizará reproduciendo con mucho realismo texturas y movimientos, diseño de los elementos, dibujándolos y modelándolos en el ordenador, así como el diseño de los fondos, colocación de los materiales a los elementos, realización de la iluminación, sombreado de las piezas del rodezno, y por último el "rendering" o traslación de la información de los ficheros que componen los planos, a un fotograma sencillo de la reconstrucción.

**Palabras clave:** Arqueología Industrial, Molinos hidráulicos, Patrimonio Industrial, Modelado 3D.

## ABSTRACT

Historically, the area of the Baza (Granada, Spain), due to its geographical importance has been big populations' that have given place to the development of an industry of great relief district. Among other activities, one of the main ones has been the floury one, represented by their hydraulic mills.

This communication dedicated to the graphic reconstruction and on-line animation of one of the indispensable elements of the mills, begins due to the scarce documentation that exists at the moment of this topic and envelope the work based mainly on the visit and study of each one of the floury mills of the district, where it was observed that any "rodezno" conserved for its study and possible recovery doesn't exist.

It is sought using the necessary graphic tools for it therefore, to give to know a historical, technological and cultural patrimony that remains hidden, giving possibility to their possible rehabilitation and tourist development.

Combining these technologies, next to the theoretical study of the rodezno like a horizontal hydraulic turbine that it is, shows us the options of the digital animation that it will be used reproducing with a lot of realism textures and movements, design of the elements, drawing them and modeling them in the computer, as well as the design of the funds, placement of the materials to the elements, realization of the illumination, shady of the pieces of the rodezno, and lastly the " rendering " or adjournment of the information of the files that compose the planes, to a simple frame of the reconstruction.

**Key words:** Industrial archaeology, hidraulic mills, industrial heritage, modelling 3D.

## 1. Introducción

El molino para grano es la primera y más importante de las aplicaciones del molino hidráulico pero la utilización de la energía hidráulica en usos artesanales o industriales adquiere cada vez mayor importancia en el siglo XII. Y la ciudad es el lugar por excelencia para el funcionamiento de los molinos industriales, al mismo tiempo que la concentración de trigo que producen la harina para el consumo urbano es mayor en ella. La invención que permite la adaptación de la energía hidráulica a otras máquinas, y cuya difusión se da junto a la del molino de agua es el árbol con rueda dentada que transforma el movimiento circular continuo de la rueda motriz en movimiento vertical alternante al accionar un aparato fijo en el extremo del mango o el vástago, martillo, mazo de madera o pilón.

El ser humano ha aprovechado desde hace milenios, la energía renovable contenida en el movimiento del agua de los ríos.

El agua que circula por la superficie terrestre contiene una gran cantidad de energía. Se puede tomar conciencia de su magnitud al contemplar un gran río o una cascada, y analizar los efectos que tiene una enorme masa de agua desplazándose a una cierta velocidad o cayendo desde una determinada altura.

En el Sur peninsular y en las zonas de influencia islámica, pronto fueron empleándose molinos con ruedas motrices de dos tipos:

- El de rueda horizontal se expande especialmente por las zonas de lluvias irregulares y torrenciales.
- Mientras que en los grandes cursos fluviales aparecen las aceñas, los molinos de rueda vertical, y las azudas para elevar el agua de las corrientes y destinarla al riego o a otros menesteres.

Pero ciertamente oscuros son los momentos en que comienzan a generalizarse, así como los lugares de asentamiento. Uno de esos lugares se encuentra en la comarca granadina de Baza, conocida actualmente como el Altiplano Bastetano, donde por sus características particulares se desarrollaron los molinos con rueda horizontal llamados “rodeznos”.

En 2.001, con motivo de la realización de la Tesis Doctoral, se pone en marcha una iniciativa con la idea de restaurar y rehabilitar algunos de los molinos de los muchos inventariados con el fin de convertirlos en centros que enriquezcan el conocimiento de los molinos harineros y muestre al visitante todo el proceso seguido en la fabricación de la harina, encontrándonos con la triste realidad de no existir rodezno en buenas condiciones para su rehabilitación, todos se encuentran en un estado lamentable. De esta manera nace la necesidad de crear uno virtual mediante técnicas infográficas, objeto de esta ponencia.

## **2. Tecnología de los molinos hidráulicos en el Altiplano**

Los distintos momentos históricos conocen y adaptan a sus necesidades las técnicas de equipamiento de los molinos que, en cierto grado y con formas arcaizantes, han pervivido hasta tiempos muy recientes o aún perviven en espacios marginales de áspera geografía y escasos recursos

Pero casi todos los molinos harineros de esta zona se corresponden a ingenios de rueda horizontal, dotada de álabes, palas o cucharas, con un árbol vertical que transmite directamente el movimiento a la muela móvil o volandera.

Aquellos que han representado prácticamente la industria harinera de estas zonas abruptas, hemos de señalar su similitud de estructura y de soluciones técnicas. Estos molinos se caracterizan por utilizar un caudal de agua limitada en la mayoría de las ocasiones. Se denomina a éste, motor hidráulico de rodete (ó bien rodezno, como se ha dicho anteriormente); el motor se monta directamente en la prolongación inferior del árbol vertical de la muela, sobre el nivel inferior del agua del salto, y está constituido por varios álabes de madera dura en forma de cucharas (figura 1), sobre las que cae el chorro de agua conducida por una tobera o canal (saetillo) inclinado a unos 45 ó 60°, de madera machihembrada. (figura 2)

Este conjunto constituye una turbina primitiva de acción que genera un movimiento rotativo capaz de impulsar la muela móvil. Constituye ciertamente la

máxima sencillez de instalación, aunque en detrimento de su rendimiento, sumamente bajo, ya que apenas si aprovecha el 40% de la energía potencial.

El sistema se ha ido perfeccionando a lo largo de los años. Las cucharas o álabes aumentaron en número a la vez que reducían su tamaño. En las mejores ocasiones se rodearon de un aro o anillo exterior para reducir las pérdidas de agua e incrementar su rendimiento.



*Figura 1: Álabes.*



*Figura 2: Incidencia del agua.*

El rodezno o rodete, es la rueda encargada de poner en funcionamiento todo el sistema mecánico como hemos comentado anteriormente. Primitivamente eran de madera provistas de palas o cucharas donde incidía el agua a presión para provocar su giro. Estas cucharas van sujetas de forma radial a la maza.

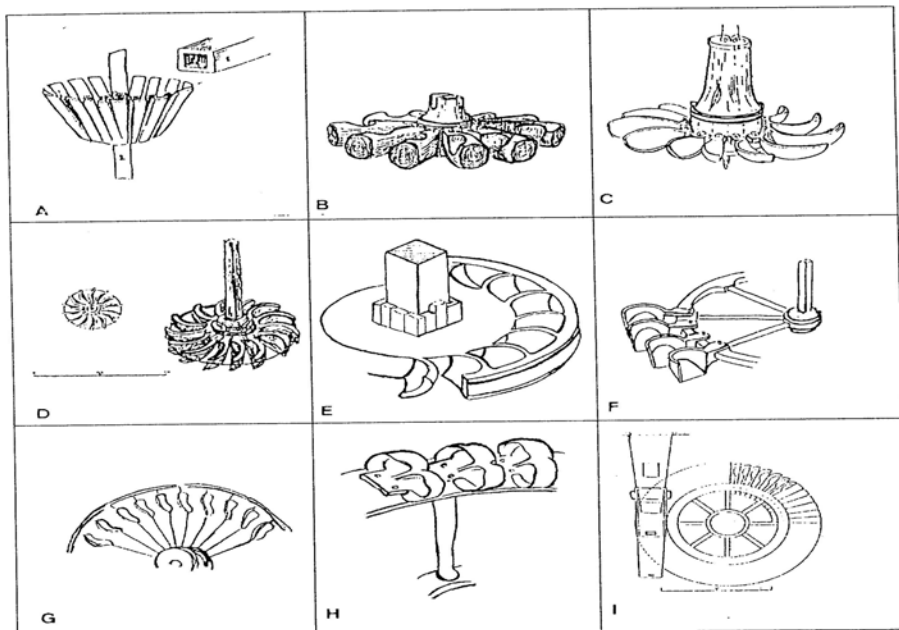
El diámetro del rodezno es muy variable, pero en nuestra zona pocas veces supera el metro y medio y eran construidos por aladreros locales sin gran especialización, quienes normalmente mantenían en agua tacos de madera apropiados para efectuar las sustituciones cuando alguna de estas piezas se rompía. Cada cuchara tiene dos partes bien diferenciadas: la *pala*, zona en la que incide el agua y que tiene forma de cazoleta; y la *cola*, parte que se ajusta perfectamente en la maza a las demás colas de tal manera que no quede resquicio alguno, asegurando de este modo el buen funcionamiento de todo el sistema motriz, reforzándose todo este cuerpo con los *camones*, arcos de hierro que servían para sujetar las colas de los alabes, formando una cárcel en la que encajaban las partes terminales de estas piezas. Los camones, también llamados *quemones* pueden tener igual o menor dimensión que los álabes.

En su evolución, esta rueda horizontal ha conocido multitud de variantes, tanto en la forma de las cucharas, en su colocación y en los materiales empleados en su fabricación. En la figura 3, podemos observar algunos rodeznos utilizados en distintos lugares, así como las disposiciones técnicas utilizadas en cada caso.

El rodezno base de nuestro estudio, es, según hemos comprobado por los restos de algunos de ellos encontrados en varios molinos y por las aportaciones de varios libros sobre el tema, el marcado con la referencia – I -- donde encontramos la planta

de uno de ellos incluido el saetillo, o elemento que se utiliza para orientar el agua hacia la cuchara.

*Distintos tipos de rodeznos.*



- A.- Aferda, rueda horizontal norteafricana.  
 1.- Amajjar conducto  
 2.- Izdi árbol [Según Laouest, 1920]  
 B.- Rodezno corso [Según Orsatelli]  
 C.- Rueda horizontal del Valle del Ezna (Italia) [S. Foresti]  
 D.- Rodezno rumano [Tomado de Moulins du Morvan]  
 E.- Rueda hidráulica monolítica del País Vasco [Tomado de Moog]  
 F.- Rueda metálica en Saboya [Según Moog] (Compárese con el modelo H)  
 G.- Rodezno alpujarreño [Tomado de ALEA]  
 H.- Rodezno de Santiago de la Espada (Jaén) [T. del ALEA]  
 I.- Planta de rodezno y saetillo (Molino María Páez - Alcaucín - Málaga).

*Figura 3: Tipología de rodeznos.*

### 3. Desarrollo del trabajo

El presente documento, se sustenta, como indica su título en la realización tecnológicamente aproximada, de un rodezno que mueve un molino harinero hidráulico característico de la comarca del Altiplano.

La aproximación tecnológica se realiza mediante técnicas infográficas, llegando finalmente a conseguir una vista virtual y su animación. De esta manera se aporta una descripción exhaustiva sobre la tipología del rodezno utilizado, de sus componentes, de su forma de trabajar y el análisis tecnológico del mismo.

Se ha dividido la realización del trabajo en dos partes diferenciadas, la primera en la búsqueda de información, tanto bibliográfica como la obtenida por los molineros de

la zona, por su experiencia y su conocimiento sobre el elemento estudiado. La segunda consistente en la propia reconstrucción gráfica, primero en un reportaje fotográfico de algunos elementos existentes como realización de croquis de los mismos, segundo, la reconstrucción en un ordenador.

### **3.1. Materiales**

Para la ejecución del proyecto se ha utilizado el siguiente material:

- 2 Flexómetros, uno de 8 m. y otro de 2 m.
- 2 niveles, 1 de burbuja y otro de agua
- Un calibre o pie de rey
- 1 plomada de albañil
- Cámara fotográfica, trípode y película para diapositivas ISO 100
- Linterna para iluminación en el interior del cárcavo.
- Cámara digital de video para obtención vistas móviles.

Todas estas herramientas nos han servido para obtener los datos necesarios para los croquis y planos.

### **3.2. Modelado**

Es la primera fase en el trabajo de la reconstrucción gráfica, que nos permitirá posteriormente el estudio preciso del mecanismo estudiado. Para realizarlo tanto en 2D como en 3D se ha utilizado el programa de diseño asistido por ordenador, AutoCAD 2000, de la firma AutoDesk, cuyo uso esta totalmente generalizado en la actualidad. Posee todas las herramientas necesarias como soldar, cortar y editar las formas sólidas utilizadas en la realización final de la pieza.

### **3.3. Animación**

Los rodeznos además de poco estudiados tanto históricamente como tecnológicamente, presentan un estado de abandono casi total.

Por esto, es muy importante la realización de animaciones sobre elementos de nuestro patrimonio industrial. La animación por ordenador nos permite fabricar escenarios, bien reales o imaginarios, sin limitaciones. Así que en nuestro trabajo se recreará una vista virtual del rodezno, de la cual se sacará como consecuencia la comprensión del funcionamiento del mismo.

Cualquier animación se conforma mediante un conjunto de fotogramas que al pasarlos de forma continua, crean la ilusión óptica de ella, en número aproximado de 25 imágenes por segundo, para una buena calidad, es decir 1.500 por minuto.

Una vez obtenidas las piezas en 3D como consecuencia de la etapa de modelado, se exportan al programa de animación, en nuestro caso 3D Studio Max, para pasar a la fase de texturado e iluminación.

La mayoría de las texturas que se presentan en la animación proceden de las obtenidas a través del reportaje fotográfico. Para conseguir que un sólido 3D simule un material real (como la madera, la piedra, etc.) se aplican en sus caras mapas de bits, así como cualquier otro tipo de gráfico (colores planos, etc.) dándole además ciertas características ópticas como opacidad, reflexión, refracción, etc., e incluso cierto relieve. La mejor forma de conseguir un material con efecto de realidad es tomarlo directamente del reportaje fotográfico realizado.

La iluminación, aspecto fundamental, requiere de un análisis previo para que el resultado final parezca real. De esta manera para conseguir el efecto de iluminación solar se coloca un foco “direccional” en el exterior del molino. En el interior, se emplean tanto luces “omni”, a modo de luces de relleno y lámparas o candiles colgados, como focos tipo “spot” en los huecos al exterior, al objeto de emular la luz reflejada del mismo.

Una vez iluminado el conjunto, el siguiente paso es la colocación de las cámaras de forma que se consigan los planos necesarios. Para lograr la animación podemos mover cualquier objeto, incluso las cámaras, a lo largo de las distintas imágenes que asignemos a la animación.

Para la realización de la animación del paseo virtual,, se ha utilizado el siguiente software:

- Para el modelado en 2D y 3D, AutoCAD 2000.
- Para la animación, 3D Studio Max 5.1.
- Para la composición de texturas, el Adobe Photoshop 5.0 y Ulead Photo Express 2.0 SE.
- Para la edición de secuencias y video, el Adobe Premiere 5.1.

El hardware utilizado ha estado basado en un ordenador de sobremesa con procesador P4 3GHz, 512 Mb de memoria RAM; también ha resultado fundamental el empleo de un escáner de diapositivas HP.

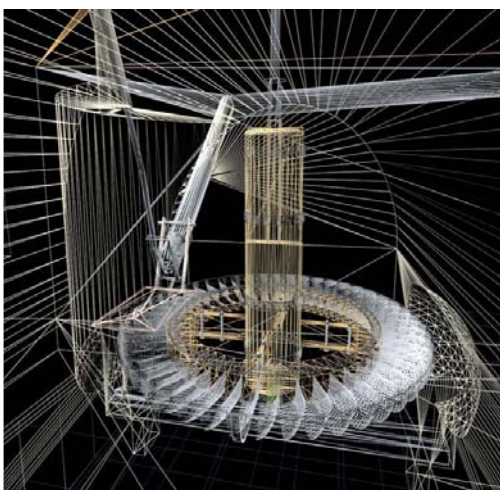
Se realiza un clip de video con extensión “.mpg” donde se recoge el paseo llevado a escoger este formato es la facilidad para su visionado a través del reproductor multimedia contenido en el sistema operativo Windows en la mayoría de ordenadores. El formato de video escogido presenta una calidad de imagen similar a un video VHS domestico.

El estándar de video utilizado a la hora de realizar el paseo virtual ha sido MPEG-1, con una resolución de 352x288 puntos. Para la realización del clip de video, una vez “renderizados” los “frames” sueltos con 3D Studio, se graban con un formato

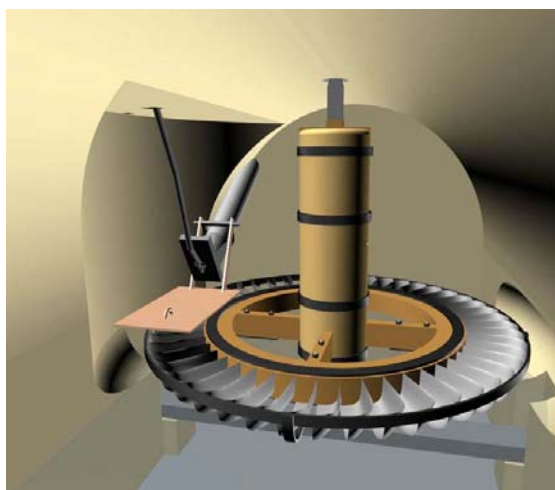
tipo “.tga” al objeto de que no exista pérdida de calidad. Posteriormente, con la utilización de un programa de edición de video (Adobe Premiere 5.1), se enlazan las secuencias, se realizan fundidos, etc. por ultimo, exportamos la película en el formato MPEG-1.

Uno de los objetivos de este proyecto es el mostrar al visitante el funcionamiento de cada una de las piezas del rodezno. Para facilitar el estudio se han utilizado dos técnicas de animación: en primer lugar se aíslan todas y cada una de las máquinas, sobre un fondo negro, y se explica su funcionamiento, independientemente del resto del molino. Después, se realiza una visita por todo el molino, totalmente restaurado en la que se ve qué lugar ocupa cada una de las máquinas.

En las figuras que aparecen a continuación, pueden visualizarse algunas imágenes o vistas del modelado sólido.



*Figura 4: Modelo alámbrico.*



*Figura 5: Modelo sólido*

Para obtener la imagen final, son necesarias cuatro fases que, de forma secuencial, coinciden con todo el desarrollo del presente trabajo, a saber: el modelo de alambres (figura 4), donde se pueden observar los elementos que constituyen el rodezno, como son las cucharas (palas), la cola, los camones e incluso el saetillo. El modelo sólido (figura 5) de la figura anterior donde vemos el cuerpo del rodezno.

La figura 6 nos presenta la tercera fase del trabajo, es decir la aplicación de las texturas necesarias para dar la apariencia real al modelo sólido presentado en la figura anterior. Finalmente en la figura 7, encontramos la iluminación del conjunto, que nos genera las sombras.





*Figura 6: Modelo de texturas.*



*Figura 7: Modelo final.*

#### **4. Consideraciones finales**

El patrimonio cultural y tecnológico es fundamentalmente histórico y a la vez etnográfico.

Hasta hoy, este patrimonio arquitectónico y tecnológico tradicional, está en franco retroceso o abandono, y debe ser por lo tanto objeto de un estudio global que demuestre la existencia de una arquitectura “industrial” en el fenómeno rural, con sus elementos representativos de cada comarca o comunidad.

Nos planteamos como fin la documentación e investigación de los elementos arquitectónicos, históricos, arqueológicos y etnográficos referidos a la molienda, tanto en su expresión material como en su valoración tecnológica e industrial. Se entiende esta labor como un estudio tecnológico, su recuperación y puesta en servicio como recurso económico para algunas zonas, como posible explotación industrial y turística.

La enorme riqueza de la arquitectura molinar, encontrada hasta ahora, requiere una previsión muy importante de actuaciones de investigación, restauraciones y mantenimiento, para ello aquellos elementos de los que no disponemos datos y han desaparecido debido a la desidia de los propietarios de dichas instalaciones, debemos hacer uso de todas las herramientas de las que disponemos actualmente en la ingeniería entre las que encontramos los estudios teóricos para conseguir las características técnicas apropiadas para alcanzar su máximo rendimiento según la Mecánica de Fluidos, que será motivo de estudio en posteriores trabajos.

Pero contamos con otra herramienta, ideal para el presente trabajo, la animación por ordenador, dando como resultado final el expuesto anteriormente y sacando como conclusión final que entre las dos se puede conseguir comprender el funcionamiento real de una máquina e incluso nos permitirá la construcción de la misma a escala natural o incluso a otra más pequeña como podemos observar en las figuras siguientes.



## Referencias

MARTÍNEZ ANICETO, C. *Vídeo digital*. Grupo Anaya, Madrid, 2003.

CANO GARCÍA, G. *La comarca de Baza*, Departamento de Geografía, Instituto Juan Sebastián Elcano (C.S.I.C), Madrid, 1974.

FORNER, S. *Arqueología industrial. Concepto, Teoría y Métodos*. Arqueología Industrial (notas para un debate), Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga, Málaga, 1991.

HUDSON, K. *The Archaeology of industry*. Thames, London, 1976.

REYES MESA, J.M. *Fuerzas motrices aplicadas a los molinos harineros de la provincia de Granada*. Actas de las II Jornadas de Molinología. Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundació Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida, Tarrasa (Barcelona), 1998.

REYES MESA, J.M. *Evolución y tipos de molinos harineros*. Zócalo libros, Granada, 2001.

ROJAS SOLA, J.I. *Estudio histórico-tecnológico de molinos y prensas para la fabricación de aceite de oliva. Aplicación al estudio en detalle y reconstrucción gráfica de una prensa de viga y quintal*. Instituto de Estudios Giennenses, Colección Investigación, Jaén, 1997.

# NORMALIZACIÓN GRÁFICA DE LAS UNIONES ESTRUCTURALES MEDIANTE ADHESIVOS

Arenas Reina, José M. (1); González Gaya, Cristina (2); Guillamón Insa, Antonio (3); Sebastián Pérez, Miguel A. (2)

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Madrid, España  
Área de Ingeniería de Procesos de Fabricación  
Correo electrónico: jmarenas@egi.upm.es

<sup>(2)</sup>Universidad Nacional de Educación a Distancia, España  
Área de Ingeniería de Procesos de Fabricación  
Correo electrónico: cgonzalez@ind.uned.es

<sup>(3)</sup>Universidad Politécnica de Cartagena, España  
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería  
Correo electrónico: antonio.insa@upct.es

## RESUMEN

En la actualidad, el procedimiento empleado por las empresas que utilizan uniones adhesivas para especificar las cualidades, propiedades y características de las juntas, consiste en realizar anotaciones escritas en los planos de montaje. Así pues, no existe una metodología normalizada que favorezca el intercambio de información técnica, a diferencia de lo que ocurre en otros procesos tecnológicos de unión. Esto justifica la elaboración de pautas normalizadas de acotación que aúne criterios y simplifique la tarea constructiva, facilitando la labor a los técnicos. El análisis de los factores técnicos y geométricos más importantes que intervienen en una unión adhesiva estructural ha servido de orientación y de base para el diseño de un sistema normativo gráfico. En este trabajo se presenta un sistema normativo de acotación que permite establecer las características de una unión adhesiva estructural sobre los planos de ingeniería.

**Palabras clave:** Adhesión estructural; acotación gráfica; normalización.

## 1. Introducción

La creciente utilización de la tecnología adhesiva en los diferentes ámbitos de la industria [Liesa y Bilurbina, 1990] hace necesaria la concreción de un sistema normativo gráfico que garantice un proceso metodológico en la especificación de las características de las uniones adhesivas en los planos de montaje.

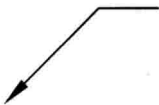
En un trabajo anterior se puso de manifiesto la ausencia de criterios normativos en la representación y acotación de las uniones estructurales mediante adhesivos [Arenas, González, Guillamón y Sebastián, Junio, 2002]. Para este fin se analizaron los factores que influyen decisivamente en el proceso de fabricación de una junta adhesiva, clasificándolos en factores técnicos y geométricos. Dicho análisis ha servido de

orientación y de base para el sistema normativo gráfico que se presenta, permitiendo, además, una clasificación estructurada de los tipos de juntas más frecuentes, facilitando la elección de la junta más apropiada [Arenas, González, Guillamón y Sebastián, Diciembre, 2002]. Un correcto diseño de la junta requiere precisar, entre otros factores, la geometría de las piezas que se van a unir [Adams, Comyn y Wake, 1997].

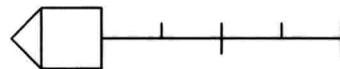
En este trabajo, se propone un sistema normativo gráfico de acotación capaz de incorporar toda la información técnica necesaria para el montaje de una unión adhesiva estructural [Arenas, González, Guillamón y Sebastián, Junio, 2002]. Para ilustrar este sistema, se muestra un ejemplo, tanto para acotación gráfica como simbólica, que indica la adecuación de la propuesta presentada.

## 2. Conjunto gráfico para acotación

Para acotar la unión adhesiva se procederá empleando una línea de referencia, según la figura 1, con un símbolo base que aloje la información más relevante del proceso y junto al cual puedan especificarse también otros datos complementarios de interés, como se muestra en la figura 2. Parece aconsejable incluir en la acotación un identificador simbólico representativo de la unión adhesiva estructural, como parte del símbolo base. Se ha adoptado como tal un cuadrado y un triángulo unidos, (figura 2), que simbolizan la boquilla de un envase tradicional de adhesivo, de modo que sea lo más intuitivo posible y que, además, pueda ser empleado para alojar el símbolo que identifica el tipo de junta o unión, dándole un carácter funcional además de representativo.

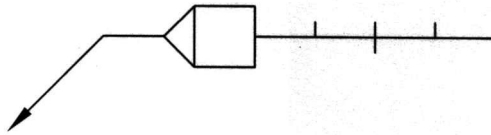


*Figura 1. Línea de referencia*



*Figura 2. Símbolo base*

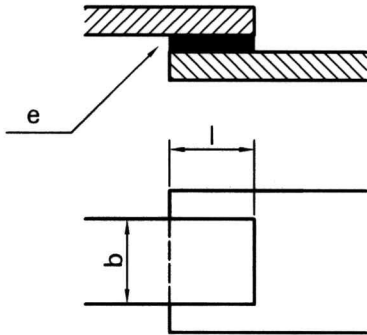
La composición de la línea de referencia y el símbolo base, dan como resultado el conjunto gráfico que se va a emplear para acotar la unión adhesiva estructural, de una manera codificada y que permite recoger la información que interviene en el proceso, según criterio del diseñador (figura 3).



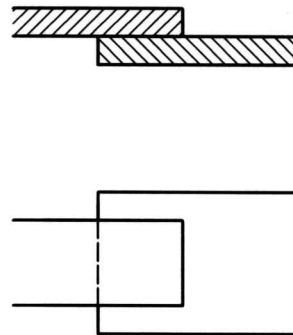
*Figura 3. Conjunto gráfico de la unión adhesiva estructural*

Se contempla la posibilidad de representación de dos formas diferentes: gráfica y simbólica. En el primer caso, se representa sobre el plano, además de los sustratos, el cordón o espesor del adhesivo, así como las dimensiones de la junta (figura 4), de modo que no es necesario reflejar estas cotas sobre el dibujo. En el caso de la representación simbólica, no se concretan sobre el plano los detalles anteriores (figura 5), por lo que sí es necesario disponerlos sobre el dibujo. Por tanto, se concreta un modelo de acotación que sirva para estos dos casos y, al mismo tiempo, que sea funcional y versátil, denominándose a su vez, en correspondencia con los modos de representación, acotación gráfica y simbólica.

Atendiendo a estos criterios, se puede definir cuál es la información que debe intervenir en la acotación y qué situación ocupará ésta en relación con el conjunto gráfico. La figura 6 muestra los espacios destinados para ubicar la información relacionada con el proceso.



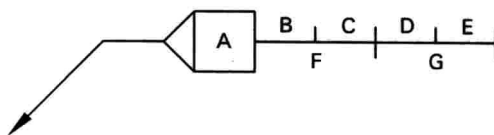
*Figura 4. Representación gráfica.*



*Figura 5. Representación simbólica.*

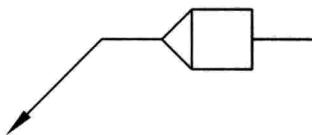
Sólo se utilizará la parte superior del símbolo base cuando se trate de acotación gráfica, es decir, cuando se represente el cordón de adhesivo o el espesor de la capa de la unión. Cuando se trate de acotación simbólica (sin representación del cordón o espesor de la capa de adhesivo) se utilizará además la parte inferior. La indicación de si se emplean cordones o se rellena toda la junta con adhesivo, se realiza mediante la flecha de la línea de referencia, ennegreciéndola completamente si se trata del relleno total de la junta con

adhesivo, o bien vacía, sin ennegrecer, si la unión ha de realizarse disponiendo el adhesivo mediante cordones. Dicho convenio gráfico se ilustra en las figuras 7a y 7b.

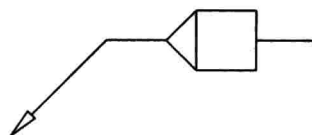


*Figura 6. Disposición de la información que se puede especificar en el sistema normativo gráfico.*

También es importante señalar que no es necesario que aparezcan todos los datos que se van a describir a continuación, ni es preciso que el conjunto gráfico se represente íntegramente, sino que se especificará sólo la información que el diseñador considere oportuna y, por tanto, los cuerpos del símbolo base que sean precisos para situarla.



*Figura 7a. Representación del relleno total de la junta.*



*Figura 7b. Representación mediante cordones.*

### **3. Disposición de los factores técnicos principales**

Los factores técnicos principales se dispondrán sobre el conjunto gráfico de manera destacada. Así, éstos aparecen en las casillas al efecto, B, C, D y E de la figura 6, destinadas a alojar los aspectos más relevantes del proceso adhesivo. Esta información será la siguiente:

- Tipo de adhesivo (posición B en la figura 6).
- Solicitaciones en servicio (posición C en la figura 6).
- Imprimación de los sustratos (posición D en la figura 6)
- Método de curado (posición E en la figura 6).

### **4. Disposición de los factores técnicos secundarios**

El conocimiento de los factores secundarios, también resulta esencial para la operación de pegado de una junta. Por esta razón, y una vez sopesados y elegidos los más destacados, también encuentran emplazamiento en este sistema normativo. Los factores

secundarios figurarán encima del cuadro de rotulación. En esta posición, se dispondrá una tabla por cada junta en la que figuren los datos que contemplen estos aspectos técnicos. Esta tabla (tabla 1) recogerá las referencias relacionadas con las características específicas de los factores técnicos secundarios como: sistema de aplicación del adhesivo, montaje y sistemas de acoplamiento y ajuste para el caso de juntas cilíndricas y ensayos.

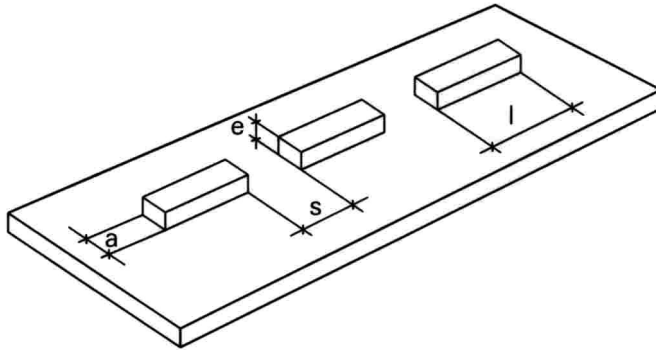
*Tabla 1. Tabla de datos de aplicación, montaje y ensayos.*

<b>1</b>	<b>DATOS DE APLICACIÓN, MONTAJE Y ENSAYOS</b>	
APLICACIÓN		
MONTAJE		
ENSAYOS		

- *Modo de aplicación del adhesivo.* Método de aplicación del adhesivo sobre los sustratos.
- *Montaje.* A continuación se disponen los tiempos característicos que son necesarios observar en la operación de montaje
- *Normativa de ensayos.* Por último, si es necesario especificar la denominación de las normas que regulan el tipo de ensayos.

## **5. Disposición de los factores geométricos**

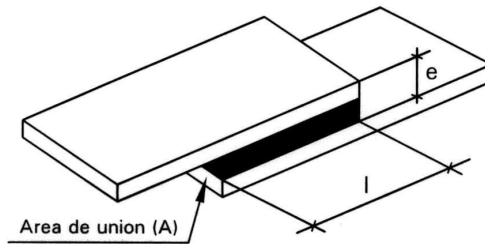
Este sistema de acotación acoge también los factores geométricos de la junta. Las dimensiones que definen la geometría de la junta se especifican haciendo uso de la parte inferior del conjunto gráfico en las casillas F y G de la figura 6. Un aspecto que marca, sin duda, la información que debe figurar en la acotación es el hecho de si el adhesivo se aplica en forma de cordones (figura 8) o rellenando totalmente la junta (figuras 9 y 10).



*Figura 8. Dimensiones finales de los cordones eliminando el sustrato superior.*

Los factores geométricos encuentran su emplazamiento en el interior del identificador simbólico, cuando se trata del símbolo de la geometría de la junta y, en la zona inferior del conjunto gráfico, cuando se hace mención a las dimensiones. Los datos se dispondrán de la siguiente forma:

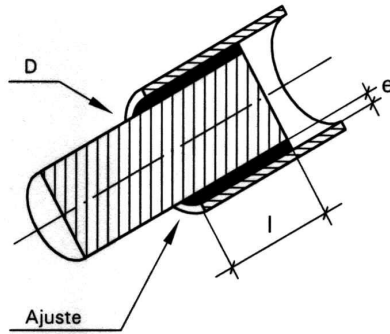
- *Símbolo de la junta adhesiva (posición A en la figura 6).* Identifica la forma geométrica de la unión y se incluirá en el interior del identificador.



*Figura 9. Aplicación del adhesivo rellenando la junta y sus dimensiones*

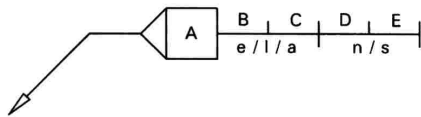
- *Dimensiones (posición F en la figura 6).* Cuando el adhesivo sea aplicado mediante cordones, las dimensiones que deben figurar en esta casilla son el espesor ( $e$ ), la anchura ( $a$ ) y la longitud ( $l$ ) de los cordones de adhesivo (figura 11). Si la junta ha de fabricarse rellenando totalmente el espacio, se dispondrá en este mismo lugar el espesor ( $e$ ) de la capa de adhesivo y la longitud de la unión ( $l$ ), tal y como refleja la figura 12.



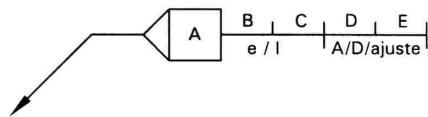


*Figura 10. Junta cilíndrica y sus dimensiones más notables.*

- *Dimensiones (posición G en la figura 6).* El número de cordones (n) y su separación (s), en el caso de que el adhesivo sea dispuesto de esta manera, son las dimensiones que deberán figurar en esta casilla (figura 12). Cuando se rellene la junta deberá indicarse el área (A) de la unión (figura 13). Si se trata de juntas cilíndricas, se indicará el diámetro (D) y el tipo de ajuste, si se requiere, (p.e. H7 h6) que, como se aprecia en la figura 11, son dimensiones características de este tipo de juntas. La ubicación de la información para este último caso, se muestra en la figura 13.



*Figura 11. Aplicación mediante cordones.*



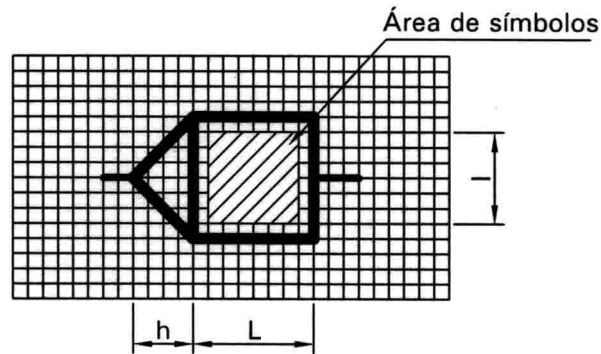
*Figura 12. Aplicación mediante relleno de la junta.*

## 6. Características del conjunto gráfico

Con el propósito de conseguir representaciones homogéneas que contribuyan a su fácil lectura e interpretación, debe existir una cierta similitud en cuanto a los diferentes elementos que intervienen en un plano (dibujos, cotas, textos o símbolos).

Se han concretado las características de este sistema normativo que deben regir su aplicación sobre los planos de ingeniería, desde el dimensionamiento de los símbolos que intervienen (figura 13), como del texto y del espacio requerido para la información asignada a cada casilla. Se especifican proporciones y medidas con el fin de conciliar las dimensiones de los símbolos que se utilizan con el texto. Se definen varios tamaños y se concretan las características de la escritura (altura, separación, grosor, etc.).

También se han especificado las diversas posiciones que puede adoptar el conjunto gráfico sobre el plano, y cómo debe figurar la información de los parámetros característicos de la junta en relación con la diferente orientación que puede ocupar su emplazamiento, que dependerá de las necesidades por motivos de espacio o interferencia con el dibujo.



*Figura 13. Proporciones del identificador simbólico.*

## 7. Aplicación de carácter industrial

La figura 14a, constituye la representación gráfica de la unión adhesiva de un conjunto cilíndrico retenido por interferencia mediante el sistema de diferencia de temperatura. Según la acotación de la unión, se debe rellenar completamente la junta con adhesivo monocomponente de tipo anaeróbico que cura mediante ausencia de oxígeno, con una resistencia a tracción y a cortadura de 12 y 15 MPa, respectivamente. La referencia o marca comercial se indica sobre el conjunto gráfico de acotación. Se muestra, además, el símbolo de la junta y el número de identificación en el plano.

También se representa gráficamente la capa de adhesivo, y mediante el sistema de acotación general, aparecen las dimensiones del espesor de la capa de adhesivo que resulta ser de 0,01 mm, la longitud de la unión de 50 mm y se especifica el diámetro del eje y el agujero de 38 mm junto al que se dispone del tipo de ajuste previsto (H7/f7). Es necesario destacar que la calidad superficial se corresponde con el valor N7 tipificado en la normativa, y que se requiere un tratamiento superficial por inmersión en una disolución de disolvente que permita descontaminar de impurezas y desengrasar las zonas que van a formar parte de la unión.

La representación simbólica del caso anterior se ofrece en la figura 14b. En ella se dispone, en las casillas inferiores del conjunto gráfico, la información geométrica mencionada anteriormente.



1	DATOS DE APLICACIÓN, MONTAJE Y ENSAYOS	
APLICACIÓN	Modo de Aplicación	PM
	Tiempo Abierto (TA)	30 m
	Temperatura Aplicación (TAA)	15-35°C
MONTAJE	Tipo de Interferencia	Dif. Temp
	Temperatura	125°C
	Tiempo de Montaje (TMJ)	10 m
	Tiempo Manipulación (TMN)	1 h
	Tiempo Puesta Servicio (TPS)	12 h
ENSAYOS	Par de rotura (30 N.m)	UNE 26922
	Tracción	UNE 26922
	Cortadura	ISO 10123

La tabla de datos de aplicación, montaje y ensayos, se muestra para ambos casos y en ésta aparecen los datos secundarios relevantes para la fabricación de la unión. Así, se puede apreciar que la aplicación del adhesivo debe realizarse mediante pistola manual,

con un tiempo abierto de 30 minutos y una temperatura de aplicación que debe estar comprendida entre 15 y 35°C. Se indica también que el tipo de interferencia es por diferencia de temperatura, siendo la temperatura que hay que aplicar al componente hembra de 125°C, con unos tiempos característicos de montaje, manipulación y puesta en servicio de 10 minutos, 1 hora y 12 horas, en cada caso. Por último, se especifican sobre dicha tabla las normas que regulan los ensayos realizados de par de rotura, tracción y cortadura.

## 8. Conclusiones

El sistema normativo que se presenta en este trabajo, ha requerido una labor previa consistente en la selección de los factores relevantes para la fabricación de la unión adhesiva estructural. Se han clasificado en factores técnicos y geométricos.

Dado que, en la actualidad, las empresas consignan las características de las uniones adhesivas mediante comentarios escritos junto a los dibujos técnicos, se ha configurado un sistema normativo gráfico que resuelve este inconveniente, posibilitando la representación y acotación de dichos dibujos relacionados con las uniones adhesivas estructurales.

El sistema normativo gráfico que se ha propuesto concreta una metodología de acotación sistemática que permite el intercambio de información técnica sin ambigüedad, de modo similar a lo que ocurre en otros procesos tecnológicos de unión.

Este soporte normativo contribuye a la reducción de costes y simplificación del trabajo. Además, supone el valor añadido de establecer un método universal de representación de la geometría de la junta, así como de las características esenciales de su construcción.

## 9. Referencias

- Adams, R.D., Comyn, J., Wake, W.C., 1997. *Structural adhesive joints in engineering*. Ed. Chapman & Hall. Londres, pp 120-122.
- Arenas, J.M., González, C., Guillamón, A., Sebastián, M.A., Junio, 2002. *Factores técnico-geométricos que condicionan la acotación gráfica de las uniones estructurales mediante adhesivos*. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, pp 250-259.
- Arenas, J.M., González, C., Guillamón, A., Sebastián, M.A., Junio, 2002. *Consideraciones geométricas para el diseño y representación de uniones adhesivas estructurales*. III Jornadas Nacionales sobre Adhesivos. Barcelona, pp 1107-1124.
- Arenas, J.M., González, C., Guillamón, A., Sebastián, M.A., Diciembre, 2002. *Diseño y acotación de uniones adhesivas estructurales*. Ingeniería Química, Vol. 396, pp 93-102.
- Liesa, F., Bilurbina, L., 1990. *Adhesivos industriales*. Ed. Marcombo. Barcelona, p 65.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL. OPTIMIZACIÓN TÉCNICO- ECONÓMICA DEL PROYECTO

LEICEAGA BALTAR, Xoan A. (1); PRIETO VILLAR, José (1); RODRÍGUEZ PÉREZ, Manuel (1); GONZÁLEZ ZAPATERO, Fernando (1); SOTO RODRÍGEZ, Eva (1); TEIJEIRO OTERO, Mario (1); DÍAZ LOPEZ, Juan José (2)

<sup>(1)</sup>Universidade de Vigo, España  
ETSI Industriales, Departamento de Deseño na Enxeñería  
Correo electrónico: leiceaga@uvigo.es

<sup>(2)</sup>Asociación del Clúster Naval de Galicia

### RESUMEN

Debido al incremento de complejidad en las operaciones de producción, y a los bajos tiempos de entrega que exige el mercado actual del sector naval, es necesario el manejo de aplicaciones CAD/CAE que adquieran el papel de integradoras entre las fases de diseño, la planificación y los procesos de fabricación.

En un buque de nueva construcción la cantidad de información que se maneja es muy elevada, gestionándose íntegramente en dos dimensiones hasta alcanzar la última fase de proyecto, previa a la fabricación, donde ya empieza a ser común realizar el desarrollo del acero en tres dimensiones. Por lo tanto, durante la evolución del proyecto no se dispone en ningún momento de una representación 3D del buque completo, lo que obliga en numerosas ocasiones a realizar modificaciones una vez que el buque está ya construido, elevando de esta manera el coste de su fabricación y retrasando los tiempos de entrega. Dichas modificaciones se podrían evitar con un modelo 3D que permita la visualización simultánea de todos sus componentes, tal y como sucede cuando ya está construido.

**Palabras clave:** CAD, Proyecto Naval, Simulación.

### ABSTRACT

Due to the increase of the complexity in the production operations, and to the low times of delivery that demands the present market of the naval sector, it is necessary the use of CAD/CAE programs that acquire the paper of integrators of the phases of design, planning and the processes of manufacture.

In a new construction ship, a high amount of information is handled, managing it totally in two dimensions until the finish stage of the project, previous to the manufacture, where it begins to be common to make the development of the steel in three dimensions. Therefore, during the project evolution there isn't a complete 3D representation of the ship, which forces in numerous occasions to make modifications when the ship was already constructed. This increases the manufacture's cost and delays the delivery time. These modifications could be avoided with a 3D model that allows the synchronized visualization of all its components, as happen when they are constructed.

**Key words:** CAD, Naval Project, Simulation.

## 1. Introducción

La primera de las fases en el proceso de construcción de un buque consiste en realizar un proyecto que refleje el diseño global del mismo, conforme a los requerimientos del armador y a las especificaciones que exigen las sociedades de clasificación [1]. Para ello en los astilleros y oficinas técnicas se cuenta con un elevado número de aplicaciones informáticas (de delineación para la generación de planos, hojas de cálculo para estimaciones de presupuestos, programas específicos de cálculos de arquitectura naval, desarrollo de acero,...) que si bien realizan adecuadamente las tareas específicas para las cuales se han creado, no interactúan entre sí. Por este motivo, es necesario introducir los mismos datos desde cero cada vez que se inicia el trabajo con cada una de las aplicaciones, generando así un foco de incoherencias y desencuentros entre los distintos modos de tratar una misma información.

A causa de la situación actual que se vive en el sector naval [2], surge la necesidad de encontrar una metodología que permita abordar la proyectación de un buque realizando todas sus tareas desde una única plataforma, que basándose en un programa CAD genérico permita crear un modelo 3D del buque completo, optimizándose el proceso.

La coyuntura presente de la industria naval obliga a que la plataforma seleccionada cumpla determinados requisitos, como pueden ser:

1. Coste asequible: para que sea accesible a todas las empresas auxiliares del sector además de a los grandes astilleros.
2. Desarrollable: de manera que permita, mediante la programación de algoritmos, implementar utilidades no presentes en la herramienta básica CAD utilizada.
3. Configurable en Red: para posibilitar el trabajo simultáneo de un grupo de personas en un proyecto común.

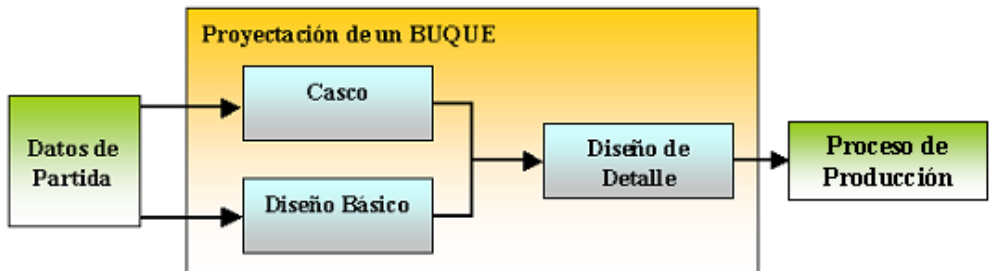
La selección del programa en el que basar el modelado se realizó después de una etapa de análisis de distinto software. En la primera fase de esta búsqueda se encontró que los programas de modelado comercial de tipo genérico, frente a los específicos del

sector, disponían de una mayor gama de primitivas geométricas y herramientas de modelado que aceleraban enormemente el proceso de diseño, teniendo éstas además un coste mucho menor.

En la siguiente fase de la búsqueda, se seleccionó como herramienta básica de modelado el programa MicroStation (a partir de la versión v8) por satisfacer los requisitos anteriormente expuestos, además de poder trabajar con superficies paramétricas necesarias para la generación del casco del buque. Otra característica de gran importancia es la capacidad para manejar una gran variedad de formatos estándares de intercambio de geometrías, para incorporarlas con posterioridad en otras aplicaciones (cálculos FEM, simulaciones) sin repetir etapas de modelado.

## 2. Metodología de Trabajo

El punto de partida para aplicar un nuevo programa en un campo determinado, consiste en establecer una estrategia para abordar todas las facetas propias de ese sector. En el caso de la ingeniería naval existen una gran variedad de tareas que, aunque en un proceso ideal se debieran realizar de manera consecutiva, la situación del mercado obliga a realizarlas de forma simultánea. En consecuencia la estrategia a establecida debe ser flexible posibilitando la realimentación de la información generada en cada una de las etapas. El esquema mostrado a continuación refleja de modo global el proceso establecido para la creación de proyectos de buques.

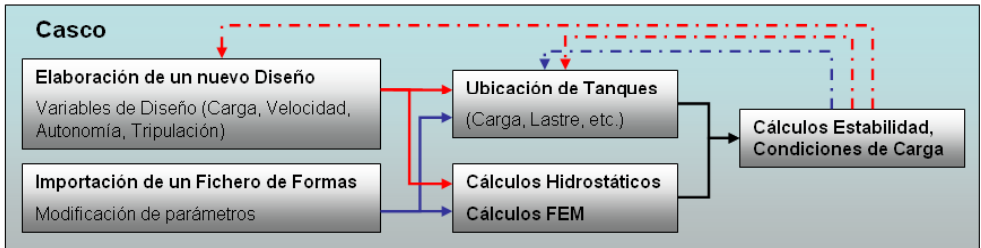


*Figura 1.- Proceso de diseño de un buque*

La *Figura 1* plantea una estrategia en la que partiendo de los datos preliminares que definen el buque (capacidad y tipo de carga, dimensiones máximas, velocidad, etc.) se permite el comienzo simultáneo de las tareas de modelado del casco y del resto de los elementos que conforman el buque. Con posterioridad, cuando ya se haya definido la forma del casco, se adaptan a éste los elementos de la estructura interna. El siguiente paso consistirá en definir con un mayor de detalle todos los elementos, proporcionando así, la información necesaria para plantear los procesos de fabricación.

## 2.1 Modelado del Casco

Dentro de esta actividad se distinguen dos alternativas, en función de si el modelo a crear tiene ligeras variaciones con respecto a otro casco generado anteriormente, o si el diseño es completamente nuevo.



*Figura 2.- Tareas de modelado del casco*

### A) Elaboración clásica, a partir de un diseño anterior

En el caso de que el casco a diseñar este basado en algún otro ya generado, se dispondrá de la información que define la forma de éste. Esta información puede venir a partir de un modelo 3D o de un documento en 2D, denominado Plano de Formas [3], en el que se reflejan las líneas de referencia necesarias para generar las superficies del casco, en cuyo caso se procedería como se explica en [4].

### B) Elaboración de un nuevo diseño

El punto de partida para comenzar el modelado de un nuevo casco serán los parámetros que definen la carga, la velocidad, la autonomía y la tripulación requeridos por el armador. Con estos datos determinados se crea un paralelepípedo cuyas dimensiones quedan determinadas por los valores de la eslora (eje X), manga (eje Y) y puntal (eje Z) del nuevo casco, respetando el sistema de coordenadas estandarizado en el sector naval.

A continuación, se generan las líneas principales de referencia inscritas al paralelepípedo anterior (*Figura3*).

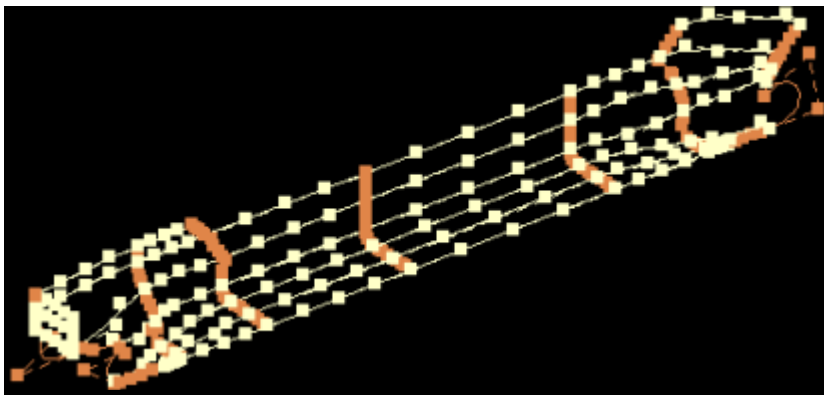


*Figura 3.- Representación de las líneas principales del casco*



Estas líneas se realizan primero a tramos rectos y seguidamente se suavizan a curvos, proporcionando una representación tridimensional esquemática de la forma final del casco sobre la que se crea la superficie que lo define.

Debido al alto grado de complejidad que presenta la superficie completa, es necesario crearla a partir de superficies de menor tamaño. Estas superficies se denominan parches y son generados por medio de superficies paramétricas de tipo NURBS a partir de sus bordes (*Figura 4*). El trazado de los bordes se realiza mediante curvas b-spline apoyándose en las referencias curvas anteriores garantizando que dos futuros parches contiguos tengan un solo borde en común [4].



*Figura 4.- Bordes de los parches del casco*

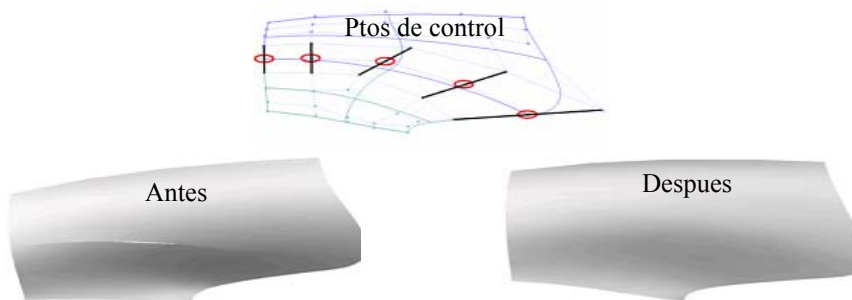
Debido a que el casco de un buque debe estar alisado, será necesario mantener la continuidad de la primera derivada a lo largo de toda su superficie. Al manejar superficies paramétricas, de tipo NURBS, se garantiza dicha continuidad en el interior de cada parche, mientras que para mantener la tangencia (continuidad entre parches) se debe conseguir que los puntos de control adyacentes a cada borde común estén alineados con los del borde.

Para asegurar la continuidad entre parches se desarrollaron, mediante programación en lenguaje MDL, dos nuevas herramientas que se implementaron en el programa básico. La primera de ellas se utiliza para hacer tangentes dos bordes de parches consecutivos (ver *Figura 5*).



*Figura 5.- Herramienta de alineación de bordes B-Spline*

Una vez ya se han dispuesto y alineado todos los bordes (como se observa en la *Figura 4*) se crea cada uno de los parches, y una vez creados éstos, se aplica la segunda de las herramientas desarrolladas. Esta herramienta actúa directamente sobre superficies realizando el alineamiento, con respecto a los puntos de control del borde común, de los puntos de control adyacentes. Debido a que los puntos de control dispuestos sobre los vértices ya estaban alineados en la etapa anterior, no serán modificados en la fase de alisado de superficies, evitándose de esta manera la generación de grietas entre parches (ver *Figura 6*).



*Figura 6.- Alisado de dos Parches. Puntos de control afectados*

Con anterioridad a disponer de estas herramientas era necesario realizar el alineado de puntos de manera manual invirtiendo para ello una cantidad de tiempo muy superior. Realizando el proceso explicado anteriormente con todos los parches se obtiene el modelo del casco completo como se aprecia en la *Figura 7*.



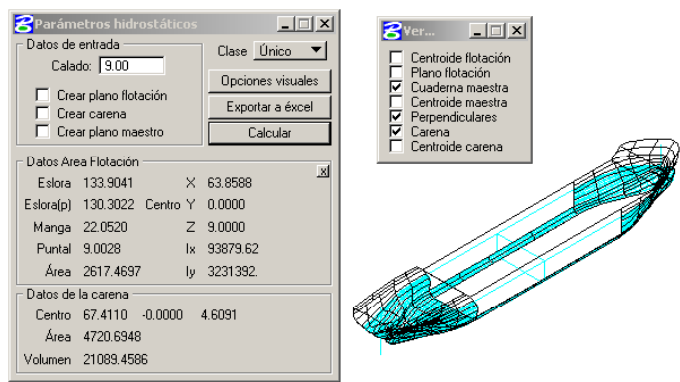
*Figura 7.- Modelo 3D del casco*

En este punto, será necesario validar el comportamiento hidrostático y estructural del casco, paralelamente a la distribución de espacios de carga necesaria para la realización de los cálculos de estabilidad. Con el fin de obtener las curvas hidrostáticas de las carenas rectas, se creó una nueva herramienta que mide los parámetros a partir del modelo 3D del en la misma interfaz del programa CAD, posibilitando la exportación directa de los datos a una hoja de cálculo en la que graficar la información (ver *Figura 8*).

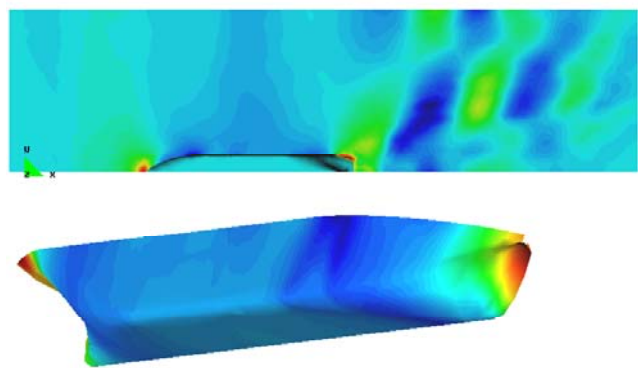
Una vez se haya establecido la disposición de los espacios de carga (distribución de tanques) se puede estudiar la estabilidad manejando los mismos datos de partida, y aplicando las ecuaciones clásicas de la arquitectura naval [5].

Otra posibilidad es la exportación del modelo, mediante formatos de intercambio (iges, parasolid, etc.) hacia programas de análisis por elementos finitos para la

realización de ensayos CFD, herramienta importante en muchos campos de la hidrodinámica del buque[6] (ver *Figura 9*).



*Figura 8.-Herramienta de obtención de parámetros hidrostáticos del casco*

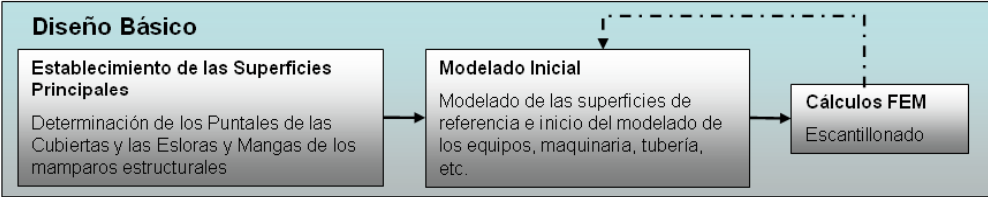


*Figura 9.- CFD, distribución de presiones sobre la carena y sistema de olas provocado por el buque*

En función de los resultados obtenidos en estas fases de cálculo y análisis es posible regresar a fases anteriores del proceso de modelado y realizar las modificaciones oportunas (reajuste de la distribución de los tanques y carga, modificar las formas del casco) en el diseño hasta obtener unos resultados óptimos.

## 2.2 Diseño Básico

Paralelamente al diseño del casco se avanza el modelado de los restantes elementos incluidos en el buque. Las actividades a desarrollar en esta fase se muestran en la *Figura 10*.



*Figura 10.- Esquema de las tareas del Diseño Básico*

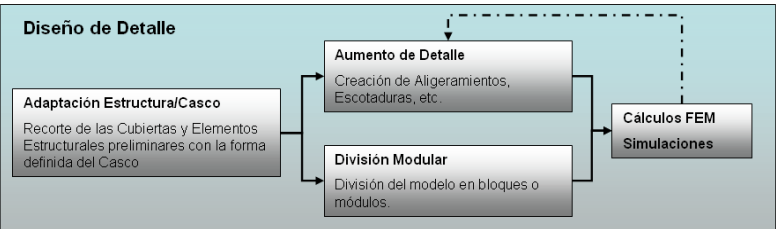
El primer paso del diseño básico consiste en establecer los puntales y los rangos de esloras y mangas de los planos de referencia que representarán a las futuras cubiertas del buque, manteniendo las dimensiones que están siendo establecidas en el modelado del casco. Además en esta fase se debe ir realizando un compartimentado del buque estableciendo los espacios para la sala de máquinas, carga, tanques, etc.

Una vez establecidas las cotas de referencia se inicia el modelado de la estructura y del equipamiento del buque (maquinaria, tuberías, accesorios, etc.) manteniéndose dentro de la envergadura definida por las referencias.

El siguiente paso consistirá en establecer la situación y el espaciamiento de los mamparos resistentes y refuerzos tanto primarios como secundarios. A continuación se validará su comportamiento por medio de un análisis FEM, estableciendo además los espesores y las secciones transversales de los mismos.

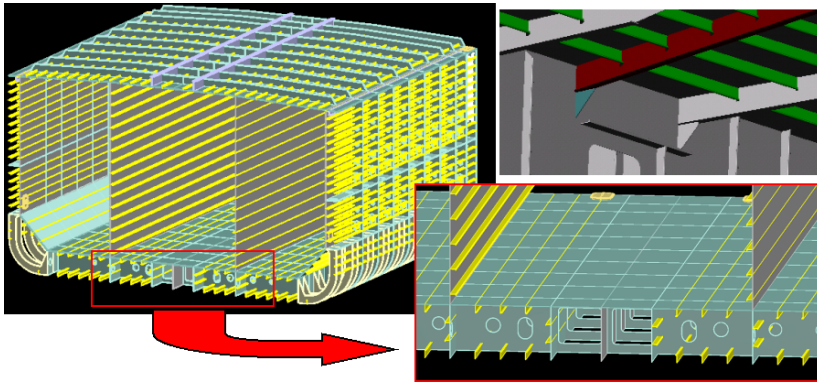
## 2.3 Diseño de Detalle

Esta etapa consiste en elevar el grado de definición de los elementos del modelo. Siguiendo un planteamiento ideal esta fase comenzaría al finalizar tanto la etapa de modelado del casco como de diseño básico, sin embargo, en la práctica se comienza una vez terminado el modelado del casco y con el diseño básico en el punto en el que se encuentre. De esta forma se solapan el final del diseño básico con el inicio del diseño de detalle, eliminando los tiempos muertos en la tareas de modelado y reduciendo así el tiempo global de las actividades de diseño.



*Figura 11.- Actividades del diseño de detalle*

La primera tarea de esta fase será recortar los elementos estructurales adaptándolos así al casco, reubicando los elementos que a causa de la reducción del espacio hayan podido quedar fuera de los límites establecidos por el mismo. A continuación, se realiza una división del diseño en módulos o bloques constructivos mientras se eleva, progresivamente, el grado de detalle. Esto consiste en la incorporación de refuerzos no generados en las etapas anteriores y en realizar las aberturas sobre los elementos estructurales, como pueden ser los aligeramientos en bulárcamas, escotaduras en esloras, etc (ver *Figura 12*)



*Figura 12.-Elementos estructurales en detalle*

Para optimizar el comportamiento estructural del diseño, se pueden realizar cálculos FEM de zonas puntuales del modelo para detectar los puntos sometidos a mayores tensiones o deformaciones, e incorporar en ellos una mayor carga de refuerzos si esto fuese necesario. Los mismos elementos generados para la creación del modelo son utilizados para la realización de simulaciones dinámicas, muy útiles para planificar maniobras de bloques, estudiar el izado del ancla (*Figura 13*), etc.

### **3. Soporte tecnológico**

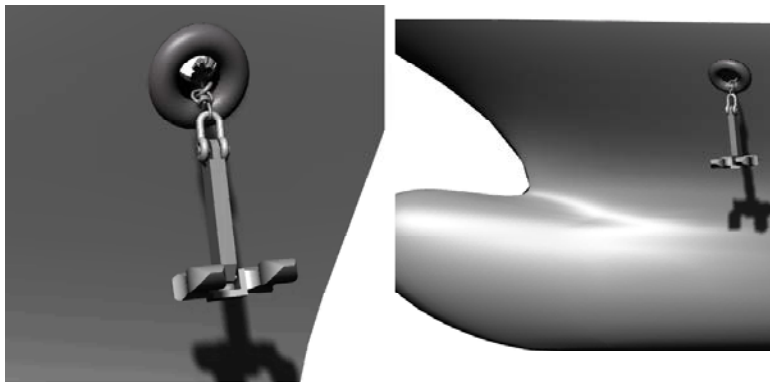
Para el desarrollo de la metodología explicada es necesario disponer de un conjunto de utilidades integradas en la plataforma de trabajo. Estos servicios posibilitan el trabajo en red y la utilización de bases de datos así como gestionar toda la información generada a partir del modelo.

#### **3.1 Trabajo en red**

La plataforma utilizada está configurada para que un grupo de terminales trabajen contra un servidor común que almacene toda la información del proyecto, de esta forma se consigue trabajar en todo momento con un modelo único, eliminando la posibilidad de generar documentos que representen de forma contradictoria el mismo elemento.

En lo referente a la seguridad, el servidor central realiza de forma automática copias de seguridad y permite gestionar que usuarios pueden crear, modificar y

visualizar la información relativa al proyecto, pudiendo además realizar las transferencias de la información de forma cifrada.



*Figura 13.- Simulación del izado del ancla*

### **3.2 Planos y Listas de Materiales**

Aunque la plataforma permita disponer de un modelo 3D completo del buque, por motivos contractuales, de clasificación y de producción sigue siendo necesario trasladar la información a planos 2D. La edición de dichos planos, se realiza de forma directa a partir del modelo virtual en un proceso inmediato. Este proceso consiste en orientar en modelo en la posición deseada, e importar esta vista en un archivo de trabajo 2D, de esta manera cada vez que sea necesario realizar una modificación sobre el modelo, el plano se actualizará de forma automática, dinamizándose enormemente el proceso de obtención de planos en cada fase del proyecto.

Las listas de materiales son documentos que incorporan el recuento de los elementos incorporados al diseño. Este recuento se realiza automáticamente a partir del modelo 3D. Gracias a la conexión con bases de datos, es además posible obtener los pesos y la ubicación de los centros de gravedad para cada uno de los elementos modelados y componer así el peso y el centro de gravedad exacto de todo el buque.

## **4 Conclusiones**

Una parte muy significativa del sector naval europeo está atravesando grandes dificultades debido a la competencia agresiva practicada por países, exteriores a la unión, que financian las compras de los buques construidos en su territorio. Estas subvenciones posibilitan que determinados astilleros puedan ofertar sus barcos, a nivel internacional, incluso a un coste inferior al real de producción. La Comisión Europea pretende actuar contra esta competencia en dos frentes: por un lado, reclamando el arbitraje de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y, por otro, posibilitando ayudas temporales a las empresas europeas afectadas, a través de un mecanismo de subvención de pedidos que podría alcanzar, bajo supervisión comunitaria en los casos de máximos, hasta el 14% del valor de la embarcación, ayudas que actualmente se encuentran bloqueadas a causa de la oposición de algunos países europeos [7].

Mientras se mantiene abierta la lucha en términos de coste, la plataforma presentada en esta comunicación podría dotar a los astilleros europeos de una herramienta que les permita recuperar o ganar cuota de mercado construyendo buques de mayor calidad en mucho menos tiempo. Esta oportunidad surge de capacidades proporcionadas por la plataforma, destacando la integración conseguida según dos vías distintas. Una de ellas es la coordinación conseguida mediante la red que trabaja en tiempo real sobre un modelo único. El otro nivel de integración proviene de la creación de una herramienta que, realizando el diseño de todas disciplinas presentes en un buque, permite ejecutar los cálculos de arquitectura naval y comunicarse fluidamente con otras aplicaciones para la realización de simulaciones y análisis FEM.

Además todas estas aplicaciones (CAD, FEM, Bases de Datos, etc.) están basadas en programas comerciales, lo cual permite reducir la inversión en software garantizando su continua actualización. Otras ventajas a destacar son: edición y actualización automática de planos y listas de materiales, detección de interferencias previa a la producción, evaluación de la funcionalidad de los espacios, ...

## Referencias

1. X. Leiceaga, F.G. Zapatero, M. Rodríguez y J. Prieto, *Proyectación asequible de buques. El modelo 3D al servicio de la ingeniería naval*. Revista Ingeniería Naval, Artículo Técnico pendiente de publicación, Octubre 2003.
2. M. Vila Alonso, *Análisis estratégico del sector de la construcción naval. Perspectivas de futuro y consideraciones para la mejora competitiva*. Tesis doctoral no publicada, Universidade de Vigo, 1996.
3. P.B. González López, *Técnicas de construcción naval*, Servicio de Publicacións, Universidade da Coruña, Marzo 2000.
4. X. Leiceaga, F.G. Zapatero, M. Rodríguez y J. Prieto, *Adaptación de programas genéricos de CAD a la generación de cascos de buques*, GRAPHICA 2003.
5. A. Mandelli, *Elementos de arquitectura naval*, Ed. Alsina, 1960.
6. L. Pérez Rojas, *Diez años de I+D en el canal de la ETSIN*, 1999.
7. <http://www.ayudas.net>, *Ayudas temporales construcción naval*, Fuente: El Correo Español, 2003.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### LA ARQUEOLOGÍA INDUSTRIAL APLICADA A LA FÁBRICA DE SAN GONZALO DE LINARES

LUPIÁÑEZ CRUZ, Patricio (1); ROJAS SOLA, José Ignacio (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Jaén, España

Escuela Universitaria Politécnica, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Correo electrónico: pcruz@ujaen.es

<sup>(2)</sup>Universidad de Jaén, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Correo electrónico: jirojas@ujaen.es

### RESUMEN

La presente comunicación trata de la aplicación de las técnicas de la Arqueología Industrial en la recuperación de una fábrica, que marcó un hito en el desarrollo industrial de la comarca de Linares, comarca minera por excelencia. Se trata de un Conjunto Industrial, digno de ser recuperado en el sentido más amplio de la palabra.

Se exponen los motivos de dicha recuperación, así como las técnicas propias de la disciplina, basadas en la memoria del trabajo y en el devenir de la transformación tecnológica sufrida por la fábrica a lo largo de los años. Se obtendrán testimonios orales y escritos, que conservarán la memoria del trabajo, como parte esencial de dicha evolución, lo que nos permitirá conocer el bagaje tecnológico de la zona y su aportación a la sociedad linarense del siglo XX.

**Palabras clave:** Arqueología Industrial, cultura material, memoria del trabajo, recuperación del patrimonio industrial, historia de la técnica.

### ABSTRACT

The present communication is about the application of the techniques of the Industrial Archaeology in the recovery of a factory that marked a landmark in the industrial development of the district of Linares (Jaen, Spain), mining district par excellence. It is an Industrial Group, worthy of being recovered in the widest sense in the word.

The reasons of this recovery are exposed, as well as the techniques characteristic of the discipline, based on the memory of the work and in becoming of the technological



transformation suffered by the factory along the years. Oral testimonies and writings will be obtained that will conserve the memory of the work, like essential part of this evolution, what will allow us to know the technological baggage of the area and their contribution to the society of Linares in 20th century.

**Key words:** Industrial archaeology, material culture, memory of work, recovery of industrial heritage, history of technology.

## **1. Introducción**

Hemos de señalar como prolegómeno de nuestra introducción, que desde el año 1886 existe en el Paraje llamado Dehesa y Caballería de la Virgen, Camino de San Luis, una fundición de plomo ubicada en la ladera de un olivar; finca que tiene una superficie de 7 hectáreas, 60 áreas y 6 centiáreas. Fue su propietario Don Ignacio de Figueroa, Marqués de Villamejor y en 1910 ya son propietarios sus hijos D. Álvaro Figueroa Torres, Conde de Romanones y D. Gonzalo Figueroa Torres, Marqués de Villamejor y Conde de Mejorada del Campo. La familia Figueroa no sólo explota diversas minas sino que también son partícipes de varias fundiciones de plomo, entre ellas la Compañía Sopwith: G. y A. Figueroa, cuya fundición, ubicada en Linares, se conoce con el nombre de "La Tortilla".

La fundición de plomo ya existente en 1886 tomó el nombre de SAN GONZALO, que dimana del nombre de uno de los hijos de D. Ignacio Figueroa.

## **2. Nacimiento de la S.A. San Gonzalo**

El día 5 de Noviembre de 1910 nace la S. A. SAN GONZALO. La escritura de constitución de la S. A. SAN GONZALO se otorga ante el Notario de Madrid Don Luis Sagrera Ciudad. Los hermanos Figueroa aportan la finca ya descrita y la fundición de plomo, siendo el objeto de la Sociedad, en primer término, la fabricación de objetos de aluminio y objetos de plomo y derivados. Los restantes accionistas adquieren sus acciones en efectivo, entre ellos D. Julio Peña y Martín y D. Antonio Conejero Sánchez, muy conocido en la ciudad. Primero se construye una gran nave instalándose en ella un grupo de laminadores que en un principio elaborarán plancha de plomo. Cuando la instalación está a punto de ponerse en marcha se procede a la inauguración el día 21 de Diciembre de 1911.

Posteriormente nuevas naves son construidas, como así mismo departamentos diversos con el fin de llevar a cabo la instalación de la maquinaria y elementos necesarios para la laminación de aluminio. Las construcciones e instalaciones se llevan a cabo durante los años 1912 y 1913.

D. Julio Peña y Martín, que desde un principio ha adquirido acciones de la Sociedad, así como en las siguientes ampliaciones de capital, se ocupa de todo lo concerniente al proyecto de laminación de aluminio para la puesta en marcha de esta

nueva elaboración. Es un militar de alto grado, emprendedor, muy bien relacionado e influyente en la Corte, amigo de la familia Figueroa a la que convenció con su iniciativa de crear una industria del aluminio en Linares. Por su mediación logra que una empresa suiza adquiera acciones de la Sociedad aportando la maquinaria básica destinada a la elaboración de cintas y papel de aluminio. D. Julio Peña adquiere la patente 37762 de "Aluminiun Warenfabrit Gontenschwil A. G." sobre procedimientos técnicos para la fabricación de papel de aluminio, cedida el 7 de abril de 1912 por escritura pública a la S. A. San Gonzalo.

La nueva factoría linarense nos presenta cuatro naves de fabricación paralelas (la segunda por el orden asignado corresponde a la inicial inaugurada en 1911), nave de fundición, taller mecánico, edificio donde se instala un motor a gas pobre para producir la energía eléctrica que precisa la fábrica, diversos almacenes, comedores, servicios sanitarios, botiquín, una hermosa y amplia casa de tres plantas que se destina a vivienda de la familia Peña y a oficinas que se sitúan en la planta baja.

La instalación industrial consiste en la ampliación de la maquinaria de laminación de planchas con la adición de un laminador desbastador, toda la maquinaria básica y auxiliar para la elaboración de cintas y papel de aluminio hasta un espesor de 0.008 mm., hornos de recocido y hornos de fundición.

Queda suspendida totalmente la laminación de plancha de plomo en los primeros laminadores instalados que han de comenzar a elaborar planchas de aluminio, destinándose parte de la producción de plancha a su ulterior fabricación de discos que serán convertidos por otras industrias de España en baterías de cocina y otros usos.

Se abren las puertas de una nueva fábrica linarense, ofreciéndose a Linares la primera instalación de España dedicada a la elaboración de papel de aluminio, iniciándose una nueva aportación industrial a la ciudad.

Ahora ha llegado a Linares un metal nuevo: el aluminio, que obtenido de la bauxita nos ofrece un color blanco, ligero, de una densidad de 2,7, que no causa ningún riesgo en su fundición y laminación, con una pureza de 99,5 %, íntegramente sano, por lo que podrá ser utilizado en la envoltura de productos alimenticios, medicamentos y muy diversos usos y aplicaciones.

### **3. Períodos más significativos de la empresa**

#### **PRIMER PERIODO: 1913-Julio 1936**

Todas las elaboraciones de productos que se obtienen se inician con la fundición de lingote de aluminio, convertido en placa de laminación de 45 Kgs. de peso o bien directamente de placa suministrada por la empresa Aluminio Español S. A., que es obtenida en su fábrica de Sabiñánigo (Huesca). La amplia gama de productos que se

elaboran la detallamos a continuación: PAPEL, CINTAS, BANDAS, PLANCHAS Y DISCOS

En este período la fábrica tiene una plantilla de personal fijo de 73/90 operarios representando el personal femenino el 20 % de la plantilla, personal que se ocupa en determinados procesos manuales manejando pesos muy livianos dadas las características y reducido espesor del material que manejan.

### **SEGUNDO PERIODO: Agosto 1936- Marzo 1939**

Se produce en España la guerra civil. Estas lamentables circunstancias crean a la fábrica una situación muy difícil y comprometida que fue necesario vencer. Se continuó la fabricación operando con las existencias de materias primas. Los productos elaborados quedaron en su mayor parte inmovilizados pues la situación no permitía poder llevarlos a los clientes.

A los pocos meses de mantenerse una situación agobiante, se produce un acontecimiento inesperado: San Gonzalo se va a convertir en una industria militar. La Comisaría de Armamento y Municiones del Ministerio de Marina se hace cargo de la fábrica con el fin de producir en ella material de guerra.

Se fija el plazo de un mes para la construcción de dicha nave que ha de tener las siguientes dimensiones: largo, 42 metros, ancho 12 metros (504 m<sup>2</sup>).

Durante los días en los que se lleva a cabo la instalación de la nueva fundición se produce una reorganización de los Ministerios militares y la fábrica pasa a depender de la Subsecretaría de Armamento del Ministerio de Defensa. Se le asigna la denominación de Fábrica nº 6 de la Subsecretaría de Armamento.

Construida la nueva nave de fundición, instalados en ella diversos hornos y con la presencia de nuevos hornos de recocido en una de las naves ya existentes comienzan las elaboraciones, que consistían en la fundición de cobre y zinc electrolítico en las proporciones necesarias para la obtención de aleaciones de 90/10, 72/28 y 67/33 (latones militares), cuyas placas son procesadas en los laminadores de desbaste y acabado obteniendo planchas o cintas, según la aleación con que se opera, siendo la plancha de 90/10 la principal elaboración una vez convertida en numerosas prensas, en discos. Estos discos serán sometidos, en otras fábricas, a un nuevo proceso de embutición para la obtención de balas destinadas al ejército.

### **TERCER PERIODO: Abril 1939- Agosto 1948**

El día 1º de Abril de 1939 termina la guerra civil. A los pocos días la ciudad es ocupada por las tropas del ejército vencedor.

Los militares se personan en la fábrica ya que conocen que ha sido industria militar comenzando a realizar una larga y minuciosa inspección.

Los militares, un Comandante y un Teniente, se están haciendo cargo en estos días de las existencias de metales que han de tener un nuevo destino, estando ya presente un representante de la fábrica que ha de recibirlos. Se hace saber al Comandante que, al producirse la ocupación de la fábrica, existían en ella aluminio en lingotes y en proceso de fabricación que fueron en casi su totalidad utilizados en la fabricación de discos para su ulterior transformación en platos, cantimploras y vasos destinados al ejército. Se le muestra un libro denominado "Existencias y movimiento de metal"

Se organiza el transporte del cobre y zinc existente utilizándose unos treinta vagones de ferrocarril que, cerrados y precintados, fueron conducidos desde la estación de Linares-Linarejos a la estación de Córdoba, a la consignación de la Sociedad Española de Construcciones Electromecánicas (SECEM). Los militares pudieron apreciar el interés de todo el personal de la fábrica en ponerla, cuanto antes, en marcha. Nosotros también descubrimos en ellos altas calidades humanas.

La situación, recién terminada la guerra civil, no ofrece, por el momento claras perspectivas. Algunos de los principales clientes han desaparecido, otros se encuentran reconstruyendo sus fábricas, existiendo en todos los ámbitos dificultades de tipo económico. Todo ello merma considerablemente el consumo. El papel de aluminio, considerado como envoltura de lujo dada la crisis que se padece, obliga a limitar su producción. Para contrarrestar dicho descenso se incrementa la fabricación de planchas, cintas y discos.

En 1945 se hace público un concurso de la Fábrica Nacional de Moneda Y Timbre para la adquisición de cospeles (discos torculados) destinados a la acuñación de moneda fraccionaria de 10 y 5 céntimos. La Gerencia de la fábrica estima que si se logra obtener la realización de este trabajo, que ha de ocupar un mayor número de personal y garantizar una mayor actividad fabril durante largo tiempo, se vencería la crisis actual.

La elaboración de los productos habituales alcanza una media durante el período abril 1939 - agosto 1948 de 220 Tm./año, produciéndose un descenso por la crisis padecida durante los primeros años de dicho período, quedando altamente compensada con la producción complementaria obtenida por la fabricación de cospeles destinados a la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

La Fábrica, durante el referido período, aunque no ha logrado los beneficios que precisa para un mejor desenvolvimiento, ha realizado una estimable aportación industrial a la ciudad, ha ocupado en sus talleres a un estimado número de personas y, continuando su labor social al crearse un Grupo de Empresa -que aun se mantiene en nuestros días-, ha colaborado con su ayuda a su estabilidad, facilitando un local

apropiado para la realización de sus funciones. El Grupo de Empresa ofrece al personal excursiones, deportes y diversas actividades culturales, creándose una Biblioteca.

#### **CUARTO PERIODO: Septiembre 1948-1972**

La Sociedad Española de Construcciones Electromecánicas se hace cargo de la fábrica. Esta empresa conoce, por las circunstancias que ha concurrido en fechas anteriores, no sólo sus instalaciones sino también la calidad de sus hombres. Y se produce un hecho que merece ser señalado. Los nuevos propietarios mantienen íntegramente a su personal no realizando sustitución alguna de los mandos, tanto técnicos como administrativos.

Se reanuda la fabricación de cospeles por una ampliación del concurso anterior. El precio de transformación es más elevado, realizándose estas nuevas labores con una mayor experiencia y con la disponibilidad de mejores medios técnicos.

La producción alcanza un elevado tonelaje, obteniéndose un prudencial beneficio. Con los millones de cospeles fabricados la Fabrica Nacional del Moneda y Timbre acuña una nueva emisión de monedas de 10 y 5 cts. que llevan en su anverso la indicación de 1953.

Los laminadores de papel, ya resentidos y anticuados, son sustituidos por otros nuevos de procedencia alemana aunque del mismo ancho de fabricación. Se adquiere un laminador desbastador reversible y una rectificadora de cilindros. La fábrica está comenzando un proceso de modernización y experimenta un aumento en su producción a partir del año 1956.

Se construye una nueva nave paralela a las 4 existentes que toma el número 5 instalándose las máquinas de impresión, gofradoras, cortadoras, parafinadora y otras auxiliares.

Era necesario llevar a efecto con urgencia una nueva modernización de nuestras instalaciones. En 1954 comenzó a desarrollarse en nuestra provincia el PLAN JAEN que ofrece a la industria importantes ayudas económicas y diversos beneficios. Se decide realizar una nueva modernización de nuestra instalación de cintas y papel de aluminio presentándose en la Delegación de Industria un proyecto para que sea acogido por el PLAN JAEN.

El proyecto comprende:

#### **CONSTRUCCIONES**

Dos grandes naves con anexos

## INSTALACIONES

Subestación Eléctrica

Grupos convertidores y motores auxiliares

Refrigeración

Gas butano

Puente grúa

## MAQUINARIA

Laminador desbastador

Laminador acabador

Dobladora

Separadora (2 máquinas)

Lacadora (2 máquinas)

Huecograbado

Bilacadora

Parafinadora

Metalizadora

Gofradora

Bobinadora (2 máquinas)

Diversa maquinaria auxiliar

La nueva instalación recibirá banda de 1020/1070 mm. de ancho con un espesor de 0,7/0,8 mm., y un peso de 1.200 Kgs. La nueva modernización se lleva a efecto durante los años 1962 y 1963. Los proveedores de las diversa maquinaria son de varios países: España, Alemania, Italia y Francia.

Vencidos todos los problemas que trae consigo una instalación de esta envergadura, comienza su puesta en marcha en el año 1964. Funciona con perfección, reduciéndose el precio de costo y la elevación de la producción como estaba previsto. El proveedor de la materia prima (banda de 0,7/0,8 mm. de espesor) es la Empresa Nacional del Aluminio S. A. Desde 1964 a 1970 la producción total sigue un ritmo ascendente influida por la repercusión favorable del aumento de las cifras de elaboración de cintas y papel obtenidas en la nueva instalación.

Pudimos descubrir que la nueva instalación llevada a cabo bajo los auspicios del PLAN JAEN estaba ya extra-oficialmente vendida a Aluminio de Galicia (ALUGASA), nuestro enemigo comercial; y en este momento se inicia la necesaria defensa. Es la obligación de todos salvar la fábrica y con ella a su personal. El Alcalde, el Gobernador Civil y el Comité de Empresa comienzan a librar batalla llevando como solución que la fábrica fuese adquirida por la Empresa Nacional del Aluminio S. A. (ENDASA) integrada en el Instituto Nacional de Industria.

Después de diversos contactos con los nuevos directivos de SECEM y realizadas visitas a la fábrica de Linares para conocer en profundidad sus instalaciones, ENDASA toma la ansiada decisión: la adquisición de todas las acciones de San Gonzalo en poder de SECEM, compra que se lleva a efecto el 18 de diciembre de 1972.

## **QUINTO PERIODO: 1973-1985**

La fábrica está en poder de ENDASA.

La Sociedad no cambia de nombre, continúa llamándose S. A. San Gonzalo y es nombrado un Administrador único, residente en Madrid.

San Gonzalo se adapta paulatinamente a las normas que tiene ENDASA establecidas, tanto de índole técnica como administrativa.

La denominación "papel de aluminio" pasa a ser "hoja fina" y el "papel de aluminio con adicionales" se designa "mezcla".

El 1.º de Agosto de 1975 se produce un hecho trascendente muy deseado por el personal: la fusión de ENDASA con SAN GONZALO por absorción de esta última por la primera. Con esta fusión el personal recibe nuevos beneficios al unificarse sus retribuciones y prestaciones sociales con las que percibe el personal de las otras fábricas de ENDASA. Desaparece con la mayor dignidad la S. A. SAN GONZALO. En la fachada de la fábrica aflora su nueva denominación: EMPRESA NACIONAL DEL ALUMINIO S. A. Fábrica de LINARES.

Durante este período floreciente en todos los aspectos, tanto de índole económica como social, se ha realizado una importante aportación industrial a la ciudad de

Linares. Un gran tonelaje se ha producido, el mayor de la historia de la fábrica, siendo la primera vez que una parte de este tonelaje se ha consumido fuera de las fronteras de España como consecuencia de las exportaciones que se han realizado.

En el aspecto social hemos de señalar la construcción de un nuevo edificio destinado a una nueva instalación de servicios: comedores, vestuarios, aseos,... También han experimentado una amplia reforma los Servicios Médicos y se ha construido un parque para el estacionamiento de vehículos del personal.

## **SEXTO PERIODO: 1986 hasta la actualidad**

En este período, se produce una convulsión de gran trascendencia que afecta a toda la industria del aluminio de España. El Instituto Nacional de Industria (INI), principal partícipe de la Empresa Nacional del Aluminio (ENDASA) y Aluminio de Galicia (ALUGASA) acuerdan la fusión de todos sus centros fabriles. Esa unificación se legaliza con la creación de una Sociedad que toma el nombre de Industria Española del Aluminio (INESPAL), y por tanto, se encuentra incluida la fábrica de Linares.

Finalizado el año 1991 se produce un hecho lamentable, extremadamente grave: toda la instalación de San Gonzalo, cuya modernización fue realizada con la ayuda del Plan Jaén y puesta en marcha con la eficiente colaboración del personal, mejorada después con nuevas técnicas por ENDASA, cuyas labores tienen un precio de costo favorable, que los productos que fabrica son aceptados por el mercado por su calidad, que viene realizando importantes exportaciones a otros países, es puesta en venta.

La fábrica que vende INESPAL comienza a recibir visitas de compradores con el fin de conocer sus instalaciones. Vienen a Linares industriales de la lejana Corea no lográndose un acuerdo de venta. También se personan mejicanos, los que representan a una importante industria de su país dedicada a la laminación de aluminio cuyos productos son de espesores gruesos y que desean introducir la elaboración de papel de aluminio para evitar que tenga que ser importado.

También en estos años observamos una tendencia destructiva, a nuestro juicio innecesaria. Se derrumban las naves 1,2 y 3. Los grandes espacios se convierten en zonas de jardín.

Instalada la maquinaria de la nueva fábrica, esta comienza a funcionar en el año 1993. Dada la complejidad de las modernas máquinas se ha de sufrir un largo período de experimentación para lograr un normal funcionamiento.

En este período, el Instituto Nacional de Industria (INI), que mantiene en todo momento la mayoría de las acciones, primero en ENDASA y después en la naciente INESPAL, cambia de nombre siendo su nueva denominación: Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI). Se produce un brusco cambio en su actuación ya



que, siguiendo la política del Gobierno, su gestión ha de ser conducida a la privatización de las industrias que se encuentran bajo su dominio.

En los últimos meses del año 1997, el Ministerio de Industria, siguiendo las directrices del Gobierno, pone en práctica, con más ímpetu, su política de privatización y anuncia y gestiona la venta de un grupo numeroso de empresas estatales. Entre ellas figura la Industria Española del Aluminio S. A. (INESPAL) que representa al grupo del aluminio. Una empresa multinacional americana, Aluminium Company of América (ALCOA), está interesada en esta importante adquisición industrial y, al producirse el acuerdo, la Dirección General de la Competencia de la Comisión Europea presta su autorización.

El Consejo de Ministros que se celebra el 23 de Enero de 1998 autoriza a la SEPI la enajenación. La venta a ALCOA del grupo INESPAL se formalizará el día 6 de Febrero del año en curso.

Hoy la fábrica vieja, que fue remozada y varias veces modernizada, sólo puede ofrecer a la nueva su solar, sus naves, el legado de hombres preparados y laboriosos y los muchos años de su existencia para que en su nueva andadura herede su longevidad ya que pronto será centenaria por estar cerca la celebración de esta efemérides.

#### **4. Consideraciones Finales**

Esta comunicación que forma parte de una Tesis Doctoral sobre Arqueología Industrial aplicada a la Fábrica de San Gonzalo en Linares, constituye el primer paso en orden a obtener la memoria del trabajo y la cultura material en la citada fábrica, que es un conjunto industrial en la clasificación del Patrimonio Industrial.

Con esta aportación y los registros orales y los planos obtenidos, se va a proceder al estudio en el diseño en planta de las modificaciones sufridas por la fábrica a lo largo de su historia y se realizará una recreación virtual, como paso previo al estudio sobre las aportaciones de la industria en su entorno desde el punto de vista socioeconómico e industrial.

Se trata como se observa de un auténtico estudio de dicha disciplina cuyo campo de aplicación por el trabajo de campo gráfico que supone, se enmarca dentro de nuestra área de conocimiento de Expresión Gráfica en la Ingeniería, cuya parte gráfica será objeto de otra comunicación.

#### **Agradecimientos**

Queremos agradecer muy especialmente a D. Alberto López Poveda su aportación y amabilidad por brindarnos toda clase la información que influye decisivamente en la memoria del trabajo.

## Referencias

FÁBRICA DE SAN GONZALO, S.A. *Documentación propia*. Histórica.

FORNER, S. *Arqueología industrial. Concepto, Teoría y Métodos*. Arqueología Industrial (notas para un debate), Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga, Málaga, 1991.

HUDSON, K. *The Archaeology of industry*. Thames, London, 1976.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO DEL MECANISMO DE UN SIMULADOR ECUESTRE

GARCIA MATÉ, Esteban; BAÑOS GARCIA, M<sup>a</sup> Esther; RAMOS BARBERO, Basilio;  
MELGOSA PEDROSA, Carlos; RUIZ CALVO Justo

<sup>(1)</sup>Universidad de BURGOS, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA

Correo electrónico: [egarciam@ubu.es](mailto:egarciam@ubu.es) ó [ebayos@ubu.es](mailto:ebayos@ubu.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de BURGOS, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de CALCULO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA

### RESUMEN

El objetivo de esta ponencia es el diseño de un mecanismo simple que pueda transmitir las sensaciones que experimenta un jinete a lomos de un caballo. El mecanismo tendrá un movimiento plano y podrá realizar los diferentes aires naturales del caballo (paso, trote, galope).

En su desplazamiento el caballo utiliza movimientos que coordinan entre sí las cuatro extremidades, la cabeza y el cuerpo. En el estudio nos fijaremos exclusivamente en el cuerpo del animal ya que es el que trasmite los movimientos al jinete.

Para analizar las sensaciones de los movimientos del caballo consideramos dos puntos del mismo: la cruz y el lomo, donde se ubica la silla para el jinete. Estos dos puntos se consideran como un sólido rígido.

La obtención de las curvas de movimiento se realizará mediante una grabación en vídeo de un caballo en condiciones reales (pista de equitación), la cual nos proporcionará los datos necesarios para el diseño del mecanismo (posiciones, velocidades, aceleraciones, ...).

Las gráficas de movimientos se obtendrán a través de un software multimedia específico y con los fotogramas filmados, previamente digitalizados, obtendremos los puntos de desplazamiento (cruz y lomo). Analizando dichos puntos, con las curvas de movimiento diseñaremos un modelo en 3D del equino, al cuál incorporaremos unos actuadores (cilindros motorizados) para realizar la simulación de los movimientos del caballo.

**Palabras clave:** Simulador, ecuestre, aplicaciones, multimedia, animación .

### ABSTRACT

An English version of the “resumen” is required in this location.

**Key words:** to write an English version of the “palabras clave”.

## 1. Introducción

Inicialmente la idea de un simulador surge por la inquietud de algunas escuelas de equitación y centros de formación ecuestre de Burgos, por adquirir un simulador para personas con miedo, de edad avanzada, para la iniciación de niños pequeños, personas discapacitadas, etc, En la actualidad existen varios tipos de simuladores ecuestres en Inglaterra, EEUU etc, los cuales son impensables de conseguir debido a sus costos. Entonces surge la idea por nuestra parte de diseñar un simulador (figura 0). Cuando analizamos la idea, surgen multitud de problemas, como la ausencia de presupuesto para analizar los movimientos del caballo en rampas de pruebas, la disponibilidad de un caballo etc.

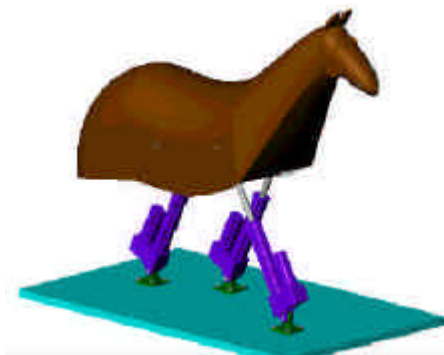


Figura 0

Tras muchas discusiones llegamos a la conclusión de que la mejor forma de obtener las curvas de movimiento del caballo es in situ, filmando a un caballo con una cámara de vídeo convencional, en el picadero de procedencia de dicho equino.

Posteriormente comentaremos la metodología para la obtención de las curvas, su tratamiento, el diseño del equino y la animación del mismo

## 2. Revisión Bibliográfica

## 3. Desarrollo del Trabajo

En una primera fase y antes de realizar las filmaciones del caballo en sus diferentes aires (paso, trote y galope), haremos las siguientes consideraciones:

Consideraremos el punto 1 y el punto 2 como si estuvieran unidos por una barra rígida e indeformable. Hay que analizar la posición de esta barra (analizando por separado la posición del punto 1 y el punto 2) a lo largo de un tranco completo (ciclo completo) del caballo en sus tres tipos de aires naturales de desplazamiento.

Luego el estudio del movimiento del caballo se restringe al análisis de los desplazamientos de estos dos puntos que están unidos por una barra.

Veamos el la Figura 1 las consideraciones descritas.

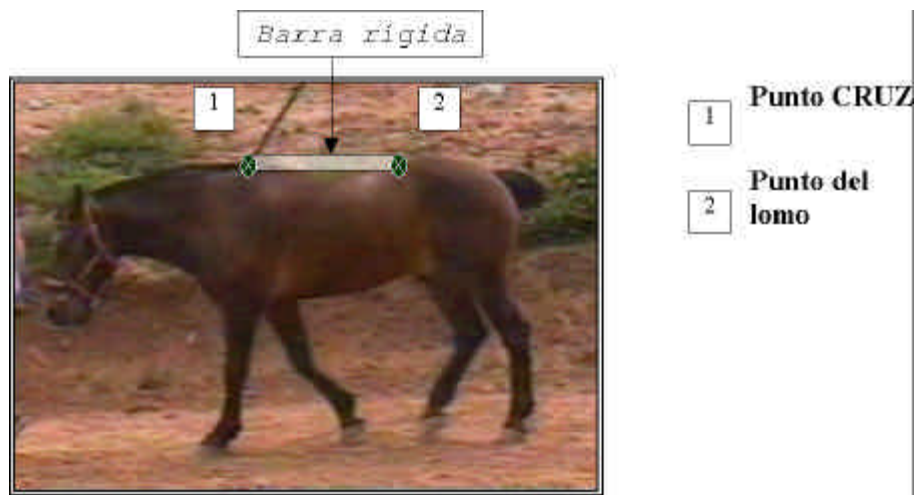


Figura 1

Descripción de la filmación; ésta se realizó sobre una pista de tierra de unos 16 metros de longitud y unos 10 metros de anchura (Figura 2).

Se utilizó una videocámara ( Hitachi VM-H 520E 8mm) con el centro de la lente del objetivo situada a una altura de 1,5 metros del suelo, colocada perpendicularmente a la pista y a una distancia aproximada de 10 metros al caballo. La amplitud del campo de visión fue de unos 6 metros, lo que permitió grabar al menos un tranco completo.

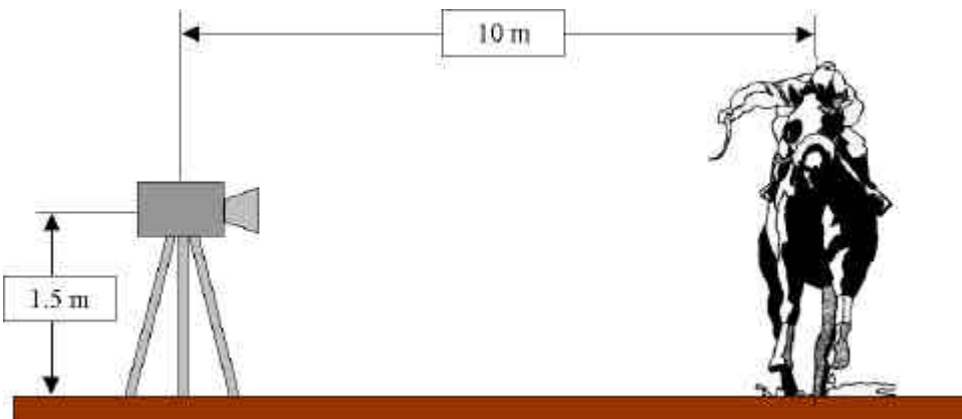


Figura 2

Filmamos al caballo en los tres aires de paso, trote y galope. Con cada uno de esos aires realizamos tres grabaciones del animal: sin silla, con silla y con jinete. En las dos primeras grabaciones (sin silla y con silla) llevamos al animal "a la cuerda".

En una segunda fase digitalizamos la tomas de vídeo, con el fin de obtener los fotogramas que nos definen los puntos a analizar, con los que hemos obtenido las curvas de movimiento que nos han servido para realizar el automatismo que generará los movimiento del caballo simulador.

Para la obtención de las curvas hemos realizado un seguimiento digital de los puntos de control como muestra la Figura 3.

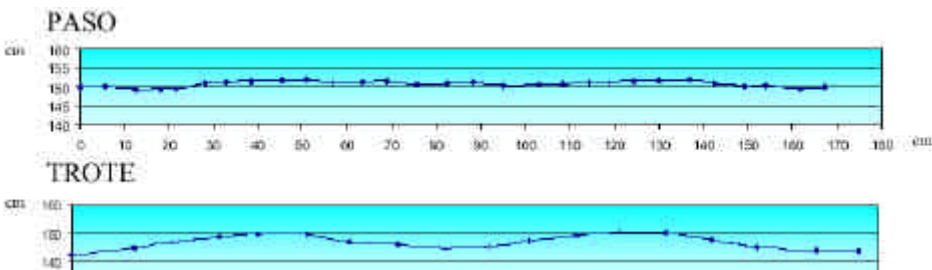


**Figura 3**

Con la técnica de digitalización obtenemos de forma bastante fiable la relación entre el desplazamiento vertical y horizontal de los puntos de control a lo largo del tiempo como se vé la figura 4, que muestra las curvas de desplazamiento de la cruz en los distintos aires naturales del caballo.

Una vez obtenidas las curvas de movimiento, estudiamos los actuadores que existen en el mercado y que generaran dichos movimientos, seleccionando los actuadores electromecánicos por su versatilidad y precisión de movimientos.

Con los actuadores ya seleccionados definiremos la estructura que nos permita generar los movimientos que simulan los aires del caballo. Esta estructura se puede apreciar en la figura 5.



La Fase tercera consiste en la generación de un modelo 3D al cual dotaremos de animación para ver los resultados finales. El modelo 3D lo componen una estructura rígida que simula la morfología del caballo, así como los actuadores o elementos que generan el movimiento simulado y la estructura o soporte de la estructura, que simula el cuerpo del caballo que son barras rígidas. El resultado final lo podemos ver en la Figura 5.

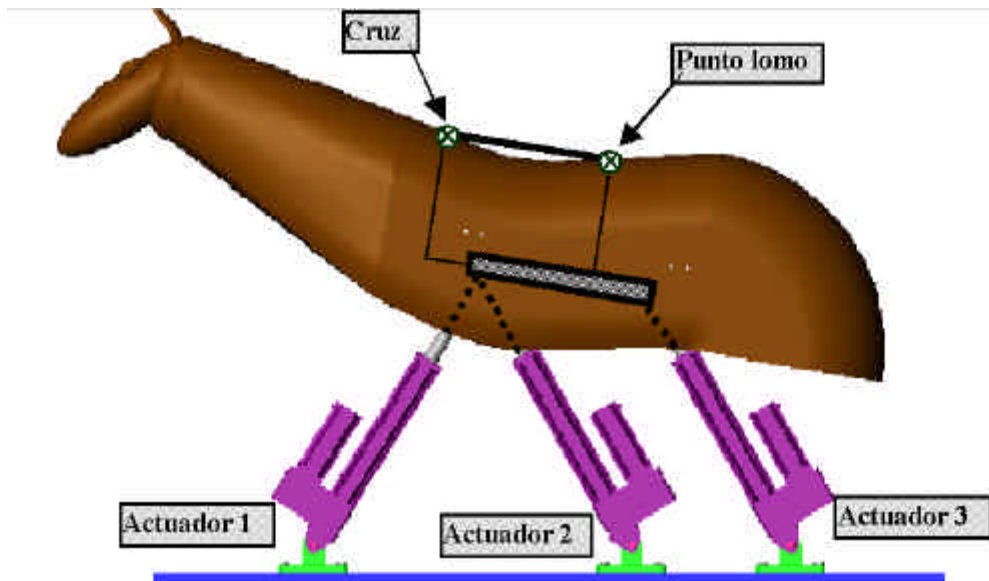


Figura 5

#### 4. Conclusiones o Consideraciones Finales

En la ponencia objeto de esta comunicación, “Diseño del mecanismo de un simulador ecuestre”, el problema fundamental era la obtención de las curvas de movimiento del lomo de un caballo real, tras una serie de estudios llegamos a la conclusión de que la mejor forma de obtenerlas era a través de aplicaciones multimedia.

Estas aplicaciones consisten en la filmación in situ del equino, posteriormente se digitalizan las secuencias de vídeo filmadas y a continuación se localizan los puntos a analizar para reconstruir las curvas deseadas.

A continuación realizaremos un modelo 3D al que animaremos de forma que reproduzca los movimientos deseados.

Para finalizar y como conclusión final diremos que el coste de este simulador básico ronda los 45.000 Euros, aproximadamente 2 o 3 veces menos que los simuladores ya existentes en el mercado y con similares características.

## Agradecimientos

Agradecemos al propietario del picadero FUENTE HELADA de Burgos a D. Tomás González, por permitirnos la utilización del picadero y de un caballo para las pruebas realizadas, así como a los alumnos D. Javier de la Hera barriuso Y D. Lorenzo Berezo Carcedo, por encargarse de realizar el trabajo de campo.

## Referencias

Como referencia para el análisis de las curvas de movimientos nos referimos al estudio realizado por el Department of Physiology, Istituto Tecnologie Biomediche Avanzate, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Fratelli Cervi 93, 20090 Segrate, Milano, Itali. Las curvas en cuestión se ven reflejadas en la figura 6.

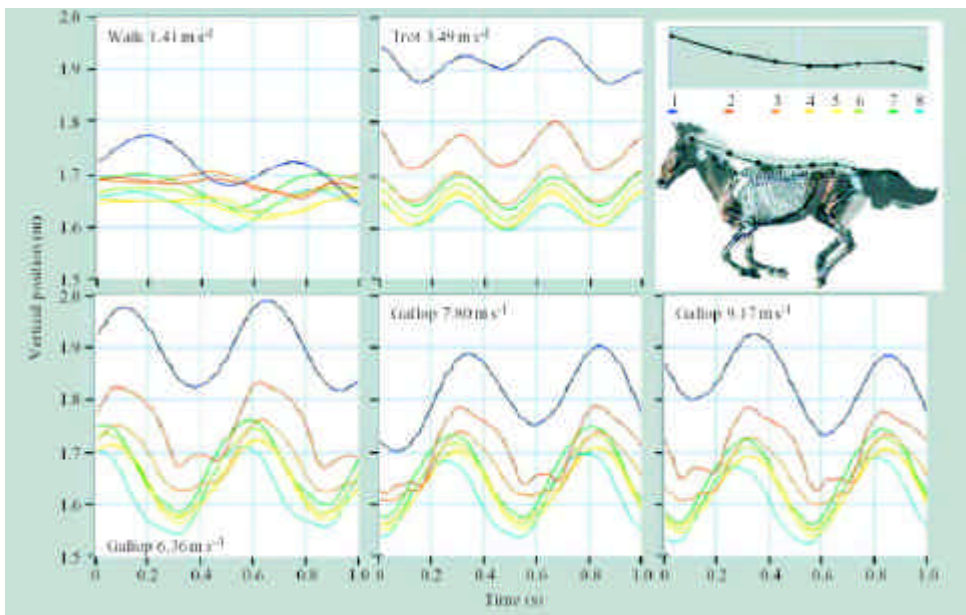


Figura 6





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA APLICADO A LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS

SUÁREZ QUIRÓS, Javier (1); MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago; RUBIO GARCÍA, Ramón;  
GALLEGO SANTOS, Ramón

<sup>(1)</sup>Universidad de Oviedo, España

Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales de Gijón, Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación,  
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería  
Correo electrónico: quiros@uniovi.es

### RESUMEN

Se presentan los resultados de los trabajos realizados hasta el momento en el *Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería* de la *Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales* de la **Universidad de Oviedo** en colaboración con la delegación de Oviedo del **Instituto Tecnológico Geominero de España, ITGE**. Los estudios geológicos utilizan como herramienta de apoyo fotografías aéreas estereoscópicas. Hasta el presente, se utilizan fotografías en papel y visores manuales, lo que ocasiona problemas de cansancio visual e ignora las posibles sinergias del trabajo sobre ordenador personal. Se analiza la viabilidad de un procedimiento alternativo. Para ello se definen los equipos y programas necesarios para trabajar directamente sobre ordenador personal. De las distintas soluciones tecnológicas, se profundiza en las llamadas *gafas obturadoras (shutter glasses)*. Se estudia también la problemática de generación del par estereoscópico en formato digital. Finalmente, se discuten las necesidades de desarrollo de software para la señalización de los elementos estructurales identificados en el terreno.

**Palabras clave:** Visión estereoscópica, gafas obturadoras, realidad virtual, fotogeología.

### ABSTRACT

This communication summarizes the results of the works carried out by the *Area of Graphic Expression in the Engineering* of the *School of Industrial Technical Engineers* of the **University of Oviedo**, in collaboration with the Oviedo office of the **Mining Technical**

**Institute.** The geologic studies use as tool of support stereoscopic air pictures. Until now, pictures are seen using manual viewers. It causes problems of visual fatigue and it ignores the possible synergies of the work with personal computers. The viability of an alternative procedure is analyzed. The hardware and the software needed to work directly on personal computer is defined. Of the different technological solutions, there are selected the shutter glasses. It is also studied the problem of the generation of the stereoscopic pair in digital format. Finally, the necessities of software development for the drawing of the identified structural elements in the land are discussed.

**Key words:** Stereoscopic vision, shutter glasses, virtual reality, photogeology.

## 1. Introducción

La fotogeología es la rama de la fotointerpretación encargada de estudiar los sucesos geológicos a través de las fotografías aéreas [2, 3]. Mediante la composición de pares estereoscópicos, el experto identifica diferentes rasgos geológicos en el terreno. Este proceso se realiza habitualmente sobre fotografías aéreas de gran calidad, utilizando visores estáticos como los mostrados en la Figura 1. El trazado de los elementos estructurales identificados se realiza sobre las propias fotografías.

Evidentemente, este sistema tradicional de trabajo presenta diversos inconvenientes. En primer lugar, es un procedimiento que provoca cansancio visual por diversos motivos. Las imágenes deben ser ajustadas sobre la mesa de trabajo manualmente, desplazando el visor sobre ellas para estudiar las distintas áreas. Además, la anotación de los elementos estructurales identificados exige retirar la vista del visor y reacomodarla directamente sobre la fotografía. En una segunda categoría de inconvenientes se incluiría la baja utilidad del documento finalizado, pues las anotaciones se realizan sobre la fotografía manualmente, dificultando la integración de esta información en una oficina técnica.

Conscientes de estas limitaciones, el Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales de Gijón ha iniciado una colaboración con la delegación de Oviedo del Instituto Tecnológico Geominero de España, ITGE. Se analiza la viabilidad de un procedimiento alternativo. Para ello se definen los equipos y programas necesarios para trabajar directamente sobre ordenador personal. De las distintas soluciones tecnológicas, se profundiza en las llamadas gafas obturadoras (*shutter glasses*). Se estudia también la problemática de generación del par estereoscópico en formato digital. Finalmente, se discuten las necesidades de desarrollo de software para la señalización de los elementos estructurales identificados en el terreno.



*Figura 1. Modelos de estereoscopios: de espejos (izquierda) y de lentes (derecha).*

## 2. Fundamentos y tecnologías de visión estereoscópica

### Visión estereográfica y señales de profundidad

La visión del Hombre es binocular, esto quiere decir que el cerebro humano interpreta la realidad a partir de dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, debidas a la separación entre los ojos, que varía alrededor de los 65 mm de media. La disparidad o **paralaje** entre estas imágenes es uno de los elementos utilizados por el cerebro para percibir la profundidad de una imagen.

Evolutivamente, todas las especies que precisan de una percepción muy exacta de la profundidad, particularmente los depredadores, poseen visión binocular estereoscópica, pues el ángulo de visión de ambos ojos se solapa en un alto porcentaje. Aquellas especies que, por el contrario, precisan únicamente de un control de su entorno, como es el caso de los herbívoros, no poseen visión estereoscópica, pues cada ojo percibe imágenes de un área diferente.

Realmente no es la disparidad retinal la única señal de profundidad utilizada por el cerebro para percibir la tridimensionalidad del entorno. De hecho, estas otras señales permiten interpretar adecuadamente la profundidad de una imagen plana. También permiten desenvolverse con soltura en el espacio a individuos con dificultades severas de visión en uno de los ojos. De forma resumida, otras **señales de profundidad** son:

- **Perspectiva cónica.** Que los objetos disminuyan aparentemente de tamaño al alejarse o que las líneas paralelas converjan constituyen señales de profundidad básicas.
- **Interposición o solapamiento.** Los objetos próximos tapan a los objetos más alejados. El perfil de un objeto relativamente próximo puede obtenerse cambiando de punto de vista.
- **Iluminación y sombreado.** La tridimensionalidad de los objetos se ve realzada por medio de la iluminación lateral, pues se intensifican los efectos de luz y sombra.

- **Atenuación y desplazamiento cromático al azul.** Los objetos lejanos, por efecto de la difracción de la luz en la atmósfera aparecen más difuminados. Por el mismo motivo, se observa un desplazamiento cromático hacia los tonos azules en los objetos más alejados.
- **Enfoque.** Para percibir nítidamente el objeto observado, tanto el ojo humano como el objetivo de una cámara fotográfica deben adaptarse, teniendo en cuenta la distancia a que se encuentre.

## Creación y visualización de imágenes estereoscópicas

Históricamente, se atribuye al físico Charles Wheatstone (1802 – 1875) la interpretación de los fundamentos de la visión estereoscópica, en el siglo XIX, si bien existen antecedentes que se remontan al siglo XVI e incluso antes. El desarrollo de la fotografía durante ese siglo conduce a la aparición de las primeras cámaras estereoscópica y de los primeros visores estereoscópicos. En estos visores, las fotos que constituyen el par estereográfico son montadas una junto a otra (en un cartón si son positivos o en un cristal si se trata de diapositivas), reduciéndose el visor a unas lentes que facilitan la acomodación de la vista (*enfoque*) y que garantizan que cada ojo perciba únicamente la imagen que le corresponde.

Este es, en última instancia el fundamento de los sistemas de creación y visualización de imágenes estereoscópica: captar dos imágenes de un mismo entorno a partir de dos puntos de vista diferentes, para luego conseguir, mediante distintos sistemas, que cada ojo perciba únicamente la imagen que le sea asignada.

Los sistemas de visualización estereoscópica más significativos se describen brevemente a continuación:

- **Visión paralela.** Es el primer y más primitivo sistema de visualización. El observador debe centrar su atención en un punto en el infinito, manteniendo los ejes de visión paralelos. Las imágenes no pueden tener un tamaño superior a 65 mm entre sus centros. Para facilitar la visión paralela, se utilizan lentes para acomodar la vista y evitar que cada ojo perciba lateralmente la imagen correspondiente al otro ojo.
- **Visión cruzada.** En este caso, las líneas de visión de ambos ojo se cruzan, fijándose en un punto medio más cercano. De esta forma el ojo derecho observa la imagen izquierda y viceversa. Es posible emplear imágenes con formatos mayores de 65 mm.
- **Anaglifos.** Las imágenes que forman el par estereográfico son representadas superpuestas, previamente coloreadas utilizando tonos complementarios (rojo – azul, rojo – verde, ámbar – azul). El observador debe utilizar unas gafas con los filtros de color correspondientes. El resultado puede ser una imagen en color o en tonos de escala de gris.

- **Polarización.** Las dos imágenes son proyectadas mediante sendos dispositivos dotados de filtros polarizadores, girados 90° uno respecto del otro. La pantalla debe conservar la polarización de la luz reflejada. El observador debe utilizar unas gafas con lentes polarizadas de forma congruente con los proyectores.
- **Obturación** (*shutter glasses*). En este caso, las dos imágenes son mostradas por un monitor de forma alternativa, con una frecuencia de refresco suficiente. El observador debe utilizar unas gafas dotadas de dos lentes de cristal líquido (LCD) que se oscurezcan alternativamente de forma sincronizada con el monitor.
- **Monitores individuales** (*Head Mounted Display, HMD*). En este caso, el observador dispone de un casco especial con dos monitores miniaturizados, donde se proyectan las imágenes del par estereoscópico.
- **Monitor lenticular o auto - estéreo.** El monitor proyecta una imagen tridimensional sin necesidad de que el observador utilice ningún otro dispositivo. Para ello, sobre la pantalla se adhiere una superficie lenticular que desvía las imágenes representadas en ella para que sean percibidas independientemente por cada ojo.

### 3. Selección de un sistema de visualización y definición del hardware

#### Elección del sistema de visualización

No todos los sistemas de visualización descritos anteriormente son aplicables en fotogeología. Así, se descartan en una primera aproximación los siguientes sistemas:

- Visión cruzada, por el cansancio visual que provoca.
- Polarización, pues se persigue un sistema de trabajo individual en oficina, no de proyección.

En una segunda aproximación, se descartan también los sistemas de monitores individuales y de monitor lenticular, pues en ambos casos la inversión necesaria está por encima de la utilidad que se pretende. Por ello, los sistemas objeto de estudio son la visión paralela, los anaglifos y la obturación.

El primero de ellos, la visión paralela, es el utilizado actualmente en este tipo de trabajos, con los problemas ya comentados. El sistema de anaglifos es indudablemente muy económico, pero su uso prolongado también provoca cansancio visual al usuario, debido a la coloración de las lentes. Además, la calidad de la imagen es baja. Por ello, se descarta esta solución como alternativa válida en fotogeología.

El sistema de gafas obturadoras, sin embargo, reduce los problemas de cansancio visual, con una alta calidad de imagen y a un coste razonable. La selección del modelo

de gafas obturadoras debe ser objeto de un estudio detallado, basado en un conocimiento más profundo de la forma en que funcionan.

### Funcionamiento de las gafas obturadoras

Este sistema se basa en mostrar en el monitor, de forma alternativa, las dos imágenes que definen el par estereoscópico. El observador debe utilizar unas gafas dotadas de dos lentes de cristal líquido que se oscurezcan alternativamente, de forma sincronizada con el monitor, para que cada ojo perciba únicamente la imagen deseada. Cada ojo recibirá alternativamente esa imagen seguida de un fotograma en negro. Para que no se produzca la sensación de parpadeo (*flicker*), es necesario que esta alternancia sea suficientemente rápida, de unos 90 fotogramas por segundo, 45 válidos y 45 en negro [4]. La figura 2 muestra esquemáticamente la generación de imágenes según este sistema.

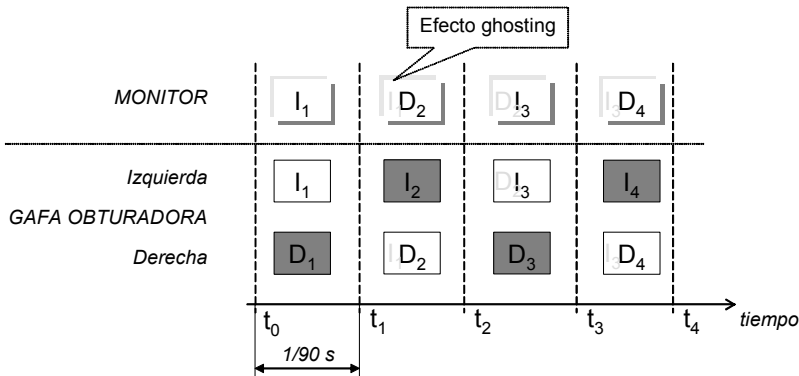


Figura 2. Generación de imágenes estereoscópicas por el sistema de gafas obturadoras.

La sincronización entre el monitor y las gafas obturadoras se consigue mediante un dispositivo de sincronización acoplado a la tarjeta gráfica, cuya complejidad varía según las características de esta. La señal generada por el dispositivo de sincronización se envía a las gafas a través de un cable o mediante un emisor de infrarrojos. Evidentemente esta segunda opción es más deseable, no sólo por la movilidad que permite al usuario, sino también porque hace más sencillo el trabajo de varias personas sobre un mismo monitor.

### Formatos para la representación de las imágenes estereoscópicas en el monitor

Existen distintas soluciones informáticas para asignar, en un PC, a las imágenes izquierda y derecha del par estereoscópico los pixels que van a ser enviados a la pantalla, de forma que se pueda sincronizar el monitor y las gafas obturadoras [5]. La figura 3 trata de ilustrar los conceptos que se desarrollan a continuación.

En el caso de tarjetas de video de gama alta, compatibles con dispositivos estéreo, se utiliza una técnica de doble buffer. Cada imagen del par es almacenada con la misma resolución que tendrá en pantalla. Estas tarjetas de video trabajan a frecuencias

superiores de 120 imágenes por segundo, valor suficiente para evitar problemas de parpadeo. La sincronización se realiza directamente con el pulso de envío de imágenes al monitor. Muchas de estas tarjetas gráficas disponen de un conector estándar para conectar el dispositivo de sincronización.

En tarjetas de video inferiores, no compatibles con dispositivos estéreo, no se dispone de doble buffer. Una alternativa es reducir a la mitad la resolución vertical de las imágenes que forman el par y almacenarlas conjuntamente en el buffer destinado originalmente a una única imagen (*above-and-below format*). El PC descomprimirá las imágenes al enviarlas al monitor, pero se habrá perdido resolución vertical. Además, es necesario añadir un pulso de sincronización entre las dos imágenes comprimidas, generado por un dispositivo externo, que se combinará con el pulso de final de buffer. Si la tarjeta tiene una velocidad de lectura estándar de 60 imágenes por segundo, al trabajar sólo con la mitad del buffer se alcanzará una frecuencia de 120 imágenes por segundo. Si esta es la frecuencia del monitor, no habrá problemas de parpadeo.

Finalmente, existe una última solución, desarrollada como estándar flexible y general para proveedores, programadores y usuarios. Esta solución se basa en añadir al final de la última fila del fotograma una línea de código que indique si se trata de la imagen derecha o izquierda del par estereoscópico (*White-Line-Code*). Esta línea es utilizada por el dispositivo de sincronización para ajustar el parpadeo de las gafas obturadoras. En este caso no se tiene en cuenta la velocidad de refresco del monitor ni el tipo de tarjeta gráfica.

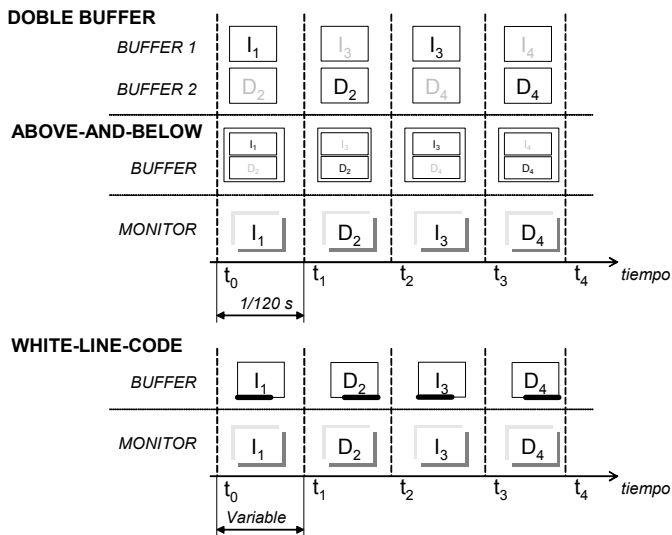


Figura 3. Representación gráfica de los tres sistemas de representación de imágenes estereoscópicas en monitores CRT.

## **Requisitos generales del sistema para el trabajo con gafas obturadoras**

De acuerdo con las consideraciones anteriores, son dos las características técnicas del PC que deben tenerse en cuenta para garantizar su compatibilidad con las gafas obturadoras: el monitor y la tarjeta de video.

En primer lugar, es necesario un monitor CRT, de tubo de rayos catódicos, con frecuencia de refresco vertical de 100Hz y resolución de 1024x768. Los nuevos monitores LCD presentan actualmente inconvenientes que los hacen inadecuados para el sistema de gafas obturadoras. Presentan una velocidad de refresco demasiado lenta, inferior a los 90 fotogramas por segundo, por lo que el observador percibe un parpadeo en la imagen. Además, en el monitor LCD la imagen proyectada no desaparece completamente al cambiar de fotograma, por lo que el ojo derecho puede ver la estela de la imagen izquierda y viceversa. Este es el llamado efecto *ghosting* [1].

Un segundo aspecto a considerar es, como se ha comentado, el tipo de tarjeta gráfica del PC. El proveedor de las gafas debe asesorarnos sobre si nuestra tarjeta gráfica soporta el estéreo y de qué forma se llevará a cabo la sincronización entre las gafas y el monitor. Dependiendo de ello, puede ser necesario un dispositivo de sincronización exterior. Otra aproximación al problema sería identificar, en función de nuestro sistema operativo, qué tarjetas gráficas soportan estéreo.

## **4. Definición del procedimiento de trabajo**

Una vez definidos los elementos físicos del equipo informático, se describen a continuación las líneas generales del procedimiento de trabajo.

### **Obtención del par estereoscópico**

Si bien diversas empresas comercializan en la actualidad fotografía aérea en formato digital, en ocasiones será necesario digitalizar imágenes de vuelos antiguos mediante escáner. La calidad de la imagen obtenida es de suma importancia: sólo con formatos de alta calidad será posible observar con detalle determinados aspectos del relieve.

Dos fotografías aéreas, para formar un par estereoscópico válido, deben cumplir los siguientes requisitos:

- Haber sido tomadas a la misma altitud.
- Solaparse en al menos las 2/3 partes.
- La desviación de la cámara respecto de la vertical debe ser menor de 2°.
- El rumbo del avión debe ser constante para evitar el giro entre dos imágenes consecutivas.



Mediante el software adecuado se genera el par estereoscópico a partir de las dos fotografías [6, 7]. En este proceso es posible corregir algunos errores menores:

- **Giro.** Eventualmente, una fotografía puede estar girada respecto de la otra. Definiendo en ambas dos pares de puntos se corrige esta desviación.
- **Escala.** Una fotografía puede estar ampliada respecto de la otra. Mediante dos pares de puntos se ajustan ambas al mismo tamaño.
- **Posición.** También es necesario corregir la desviación vertical entre las dos imágenes. En este caso, es suficiente con un par de puntos coincidentes en ambas imágenes.
- **Profundidad.** Es necesario determinar en ambas imágenes al menos un par de puntos coincidentes que estén a la misma profundidad. Podemos hacer que esos puntos correspondan con la pantalla, de forma que los objetos más alejados se visualizarán “dentro” del monitor y los más cercanos entre el monitor y el observador.

## Visualización del par estereoscópico

Existen distintos programas comerciales orientados a la visualización de pares estereográficos [8]. Si bien permiten la visualización de pares en distintos formatos, las utilidades de ampliación/reducción de imagen y desplazamiento en pantalla están poco desarrolladas.

## Representación gráfica de rasgos geológicos

No se han identificado programas comerciales para esta tarea, por lo que se asume la necesidad de programar esta utilidad. Para ello se utilizarán librerías gráficas sobre OpenGL, pues permiten el manejo de imágenes utilizando la técnica de doble buffer en la tarjeta gráfica.

Desde el punto de vista gráfico, la representación de los rasgos geológicos es sencilla. Es necesario disponer de las herramientas línea y arco, con selección de tipo y color. También es necesaria una herramienta para insertar anotaciones. En algunas ocasiones es interesante resaltar, mediante tramas, áreas del dibujo. Programas comerciales sencillos, con salida en formato raster o vectorial, serían adecuados para estas tareas.

Para la implantación de esta utilidad se plantean dos alternativas. La primera, trabajar con dos ventanas en pantalla: una en 3D dotada de herramientas de visualización y otra en 2D dotada de herramientas de visualización y dibujo. Esta alternativa es sencilla desde el punto de vista de la programación. La segunda alternativa es desarrollar las herramientas de dibujo directamente en 3D. Evidentemente complica las necesidades de programación. También exige un aprendizaje por parte del usuario.

## 5. Conclusiones o Consideraciones Finales

El sistema tradicional de trabajo sobre fotografías aérea, empleando visores manuales, puede ser mejorado empleando las llamadas gafas obturadoras (*shutter glasses*). De esta forma se reducen los problemas de cansancio visual y se generan nuevas sinergias, al desarrollarse todas las tareas sobre ordenador personal. La implementación de este sistema exige conocer las bases de su funcionamiento, de forma que los equipos informáticos sean compatibles entre sí. Existen distintos programas comerciales para generar el par estereoscópico a partir de las fotografías aéreas. Es necesario desarrollar un software específico para la representación gráfica de los rasgos geológicos. Esta solución presenta ventajas suficientes para reemplazar definitivamente a los visores manuales.

## Agradecimientos

Deseamos agradecer la colaboración en la realización de estos trabajos de D. César Nuño y Dña. Mónica Meléndez, técnicos de la delegación en Asturias del Instituto Tecnológico Geominero de España, ITGE.

## Referencias

LIPTON, Lenny. *Factors affecting "ghosting" in time-multiplexed plano-stereoscopic CRT display systems*, SPIE Proceedings, Vol.761, 1987.

VERGARA, M.L. *Manual de Fotogeología*, CIEMAT, 1988.

GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. *Compendio de Teledetección Geológica*. Serv. Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 1993.

LIPTON, Lenny. *Stereographics Developer's Handbook*, StereoGraphics Corporation, 1997.

LIPTON, Lenny. *Stereo-vision formats for video and computers graphics*, StereoGraphics Corporation, 1997.

SPENCER, Andy. *3D PIX Stereoscopic Image Editor v3.4*, NuVision Technologies, Inc., 1998.

SCULLION, Richard P. *3D Combine v3.2.0*, 2000.

*DepthCharge Viewer v.2.5*, VRex Inc., 2001.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE LAS ALMAZARAS EN JAÉN

MATA ALBENDEA, Miguel (1); ROJAS SOLA, José Ignacio (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Jaén, España

Grupo de Investigación "INGENIERÍA GRÁFICA Y SOFTWARE EDUCATIVO"

Correo electrónico: mata@swin.net

<sup>(2)</sup>Universidad de Jaén, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Correo electrónico: jirojas@ujaen.es

### RESUMEN

Las almazaras que han coexistido en la provincia de Jaén, han ido evolucionando en sus diseños de planta, motivados por distintos aspectos importantes, que dieron lugar a unas disposiciones que iban desde almazaras muy pequeñas y molinos desperdigados que se situaban en las zonas productoras. Así en el año 1.945 se llegaron a constatar en España unas 15.000 almazaras o molinos. Actualmente no se llega a un censo de las 1.000 almazaras distribuidas en forma de cooperativismo o en particulares sociedades de productores. La motivación de las reformas y construcciones, estaban en la evolución de los elementos de fabricación, y en especial el paso que hubo desde el sistema de producción por prensado hasta el continuo. Esta comunicación pretende establecer una metodología de diseño de las almazaras, a través de una ficha-protocolo donde se estudien los principales parámetros de funcionamiento para analizar la evolución del diseño de las mismas. Se realizará no sólo un estudio del pasado de las almazaras, sino de la tendencia evolutiva, que son principales elementos de gran importancia económica en la zona de Jaén.

**Palabras clave:** Metodología, Diseño de almazaras.

### ABSTRACT

An The olive oil factories that have coexisted in the county of Jaén, have gone evolving in their plant designs, motivated by different important aspects that gave place to some dispositions that went from very small factories and scattered mills that they were located in the areas producers. This way in the year 1.945 you ended up verifying in Spain some 15.000 factories or mills. At the moment you doesn't arrive to a census of the 1.000 factories distributed in cooperativism form or in particular societies of producers. The motivation of the reformati

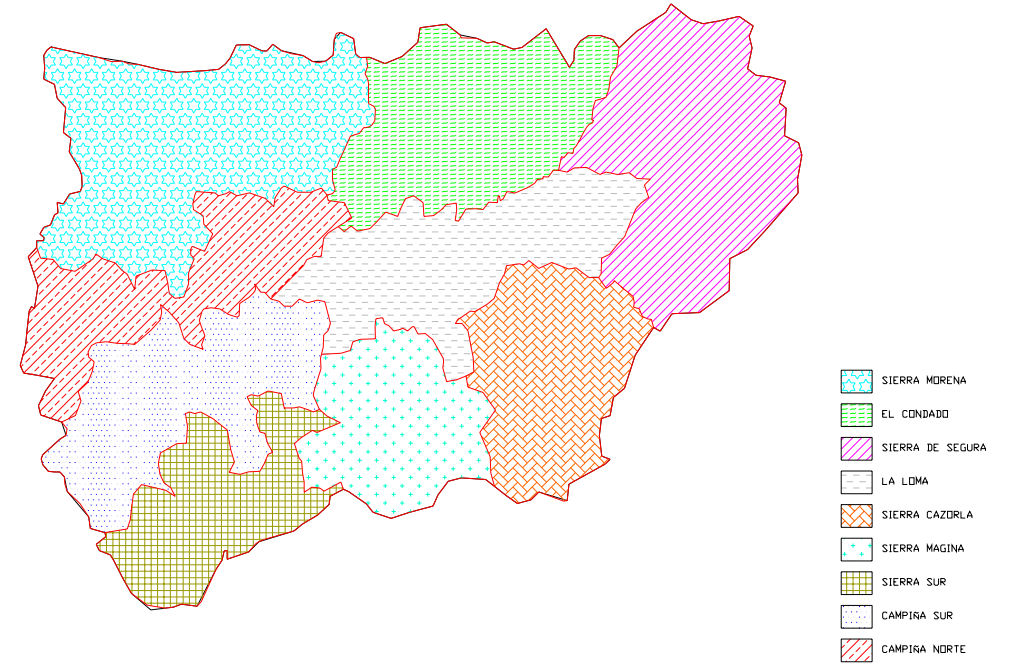
and constructions, they were in the evolution of the elements of production, and especially the step that there was from the production system had pressed until the continuous system. This paper seeks to establish a methodology of design of these factories, through a record-protocol where the main operation parameters are studied to analyze the evolution of the design of the same ones. It will not only be carried out a study of the past of the factories, but of the evolutionary tendency that are main elements of great economic importance in the area of Jaén.

**Key words:** Methodology, Design of olive oil factories.

# 1. Introducción

El trabajo de investigación tiene como finalidad el estudio de evolución histórica en el diseño de almazaras que se encuentran dentro de la provincia de Jaén. En es realidad, una Tesis Doctoral, dirigida por el Dr. Rojas Sola.

Para ello, se han seleccionado las almazaras, desde el punto de vista de la producción y las más desarrolladas tecnológicamente, según comarcas enclavadas en la provincia de mayor producción mundial de aceite de oliva.



*Figura 1. Comarcas olivareras de la provincia de Jaén. Zonas de estudio.*

Para la realización de este trabajo de investigación, se han recopilado datos técnicos, cartografías, fichas técnicas, etc., que se han obtenido de distintos proyectos del Registro de Industrias Agroalimentarias del Ministerio de Agricultura y de otros

organismos. Dos etapas de desarrollo se han diferenciado desde el punto de vista tecnológico en la producción fabril:

- El paso del sistema tradicional al sistema continuo de tres fases y
- El paso de tres fases a dos fases en la producción.

El resto de maquinaria auxiliar ha ido evolucionando en su desarrollo tecnológico paralelamente a estos cambios de sistemas productivos.

En definitiva, el objeto de este trabajo es constatar desde el punto de vista técnico esta influencia en el diseño de las instalaciones. Para ello se ha establecido una FICHA DE DISEÑO, donde se exponen los principales parámetros de funcionamiento y de esta forma analizar la tendencia evolutiva.

Se han seleccionado una serie de almazaras que se consideran más significativas desde el punto de vista del diseño en el sistema de fabricación, fácilmente extrapolables a otras fábricas, evolucionadas como consecuencia de los siguientes aspectos significativos:

- Desarrollo de nuevas tecnologías en la maquinaria de elaboración, introducción de la limpieza de aceituna.
- Evolución del sistema de molturación de sistema tradicional a sistema continuo, para disminuir las necesidades espaciales y ahorro de personal.
- Los aumentos de producción que han obligado a desarrollar los sistemas más productivos y con capacidades para absorber la entradas máximas diarias de aceituna.
- La mejora de la calidad que vino como consecuencia de evitar las fermentaciones que se daban en los trojes de almacenamiento, por que las entradas diarias no se podían transformar. También con la introducción del Acero Inoxidable como material mas adecuado para almacenamiento del producto, en sustitución al acero al carbono, que estaba en contacto directo con el aceite y provocaba enlaces de hierro, e intervenía directamente en la calidad.
- Las presiones medioambientales, impulsaron el desarrollo de sistemas que requerían menor consumo de recursos, y generación de menores cantidades de residuos, tres fases a dos fases, uso más efectivo de la limpieza de aceituna. Intentos de depuración de residuos líquidos generados.
- Aumento de la competitividad de los fabricantes industriales frente a las sociedades de productores. Aparición de sistemas productivos más eficaces que extraían al máximo el rendimiento de grasa en la aceituna.
- Aprovechamiento de los subproductos generados, como la introducción de deshuesadoras y repaso de orujos, entre otros.

## **2. Planteamiento de la investigación**

Para el análisis de la tendencia evolutiva, previamente se ha analizado el sector oleícola por comarcas olivareras, con capacidades productivas. Tras este análisis previo, se escogerán las instalaciones más significativas desde el punto de vista de producción, mayor o menor grado de modernización tecnológica, adaptación más adecuada a las tecnologías y de mayor historia.

Además se tendrán en cuenta las siguientes clasificaciones:

- Industriales particulares.
- Sociedades cooperativas.

que si bien sus intereses económicos y razones existenciales son contrapuestos, han experimentado un desarrollo común en la historia del diseño.

La siguiente fase será la de recopilación de los datos históricos fundamentales, fotografías, entrevistas a dirigentes o personal de trabajo, cartografía existente.

## **3. Propuesta de ficha de diseño y su clasificación**

Aquí se incluye la ficha, y además una explicación de porque se realiza la inversión, motivos económicos, políticos, calidad, medioambiente, aplicación de tecnología moderna, etc.

Para el análisis de la tendencia evolutiva, previamente se ha analizado el sector oleícola, la distribución de almazaras en las comarcas olivareras, las capacidades productivas, la evolución en la producción de aceituna, los rendimientos industriales medios de las zonas agrícolas y otras características comunes.

La siguiente fase será la recopilación de datos históricos, fotografías, consultas a presidentes, gerentes y molineros. Una vez realizada esta fase, se adaptarán los datos a la ficha de diseño que a continuación se muestra. También se incluirá en este trabajo una breve explicación de la historia desde la fundación de la industria, la evolución en los sistemas de producción, incluyendo fotografías y planos de planta y alzados.

Esta fase de trabajo de campo y del estado del arte constituye ya de por sí una de las aportaciones de la Tesis más novedosas, pues supone una recopilación histórica de toda esta información en la provincia de Jaén.

Además pretendo avanzar en este camino que ya iniciara nuestro querido amigo, el Dr. Montes Tubío, en la Escuela de Ingenieros Agrónomos y de Montes de la Universidad de Córdoba, con la Tesis dirigida a D<sup>a</sup> Amalia de León Díaz, que hablaba de la evolución sufrida por la almazaras en dicha provincia.

FICHA DE EVOLUCIÓN DE ALMAZARA
1. NOMBRE
2. SITUACIÓN
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
FORMA NAVE PRINCIPAL
SUPERFICIE CONSTRUIDA
TIPOS DE CONSTRUCCIONES
ESTRUCTURA DE SOPORTE
LADRILLO O PIEDRA.
MUROS DE FABRICA
PILARES DE HORMIGON
PILARES METÁLICOS
ESTRUCTURA CUBIERTA
CERCHAS MADERA
CERCHAS METÁLICAS
VIGAS PORTICO
CUBIERTA
MADERA Y TEJA VIEJA
PLACAS DE FIBROCEMENTO
PLACA SANDWICH
OTRAS CARACTERÍSTICAS DESTACADAS
<u>ZONA DE RECEPCIÓN DE ACEITUNA</u>
CAPACIDAD TOTAL TM/H

Nº TOLVAS DE RECEPCIÓN			DISPOSICIÓN.		TRESBOLILLO		ESPINA-PESCADO	
LIMPIADORA		LAVADORA		PESADORA				
TOLVAS DE ALMACENAMIENTO			Nº					
ZONA FABRICACIÓN:								
CAPACIDAD MÁXIMA			TM/24H					
MOLIENDA								
Nº RULOS CILINDRICOS								
Nº RULOS TRONCOCÓNICOS								
Nº METÁLICOS								
BATIDORA		Nº						
TIPO DE BATIDORA								
MOLTURACIÓN:								
PRENSADO		TIPO		Nº				
CONTINUO		TRES FASES		DOS FASES				
ORUJO:								
TIPO DE ALMACENAMIENTO			MOVIMIENTO					
<u>BODEGA</u>								
TIPO DE DEPÓSITOS		CAPACIDAD						
TINAJAS								
HIERRO AL CARBONO								
TRUJAL								
ACERO INOXIDABLE								
<u>SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS</u>								



## 4. Consideraciones finales

Tras la redacción y terminación de este trabajo original de investigación, se podrá constatar la tendencia evolutiva en el diseño según diversos factores específicos, como modificación en el diseño de planta de las almazaras por la modificación tecnológica, pues las prensas dejaron de ser de viga por prensas hidráulicas que necesitaban mucho menor espacio en planta, por políticas diversas tras la creación de las industrias y en su desarrollo, intervenciones estatales y europeas en las inversiones, desarrollos tecnológicos y aplicaciones, así como las buenas o malas consecuencias tras la experimentación de unos sistemas más desarrollados, permitiendo posibles desarrollos futuros y tendencia al consumo de los productos.

## Referencias

ALBA MENDOZA, J. *Procesos de elaboración. Nuevas técnicas de extracción*. Instituto de la Grasa y sus derivados, Sevilla, 1993.

ARAMBARRI, A. *La oleicultura antigua*. Ed. Agrícola Española, Madrid, 1992.

CIVANTOS LÓPEZ-VILLALTA, L. *Obtención de aceite de oliva*. Ed. Agrícola Española, Madrid, 1992.

DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIAS AGRARIAS, *Estudio sobre el sector de extracción del aceite de oliva*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1979.

DI GIOVACCHINO, L., MASCOLO, A., SOLINAS, M., ANGEROS, F. *Incidenza dei sistemi di lavorazione della qualità dell'olio di oliva*. Istituto sperimentale per la elaiotecnica, Pescara, 1980.

HERMOSO, M., UCEDA, M., GARCÍA, A. ET ALG. *Elaboración de aceite de oliva de calidad*. Dirección General de Investigación Tecnológica, Junta de Andalucía, Sevilla, 1991.

LÓPEZ ONTIVEROS, A. *El sector oleícola y el olivar: oligopolio y coste de recolección*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría Técnica, 1978.

MARTÍNEZ MORENO, J., PETRUCCIOLI, G. *Manual de elaiotecnica*. F.A.O. e I.N.I.A, Córdoba, 1974.

ROJAS SOLA, J.I. *Estudio histórico-tecnológico de molinos y prensas para la fabricación de aceite de oliva. Aplicación al estudio en detalle y reconstrucción gráfica de una prensa de viga y quintal*. Instituto de Estudios Giennenses, Colección Investigación, Jaén, 1997.

TIÓ, C. *La política de aceites comestibles en la España del siglo XX*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1982.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### PROPUESTA DE ARQUITECTURA PARA LA GENERACIÓN INTERACTIVA DE ENTORNOS COLABORATIVOS DE REALIDAD VIRTUAL PARA EL CAMPUS VIRTUAL DEL G9

RUBIO GARCÍA, Ramón, SUAREZ QUIRÓS, Javier; GALLEGO SANTOS, Ramón;  
MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago

Universidad de Oviedo, España  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Area de Expresión Gráfica en la Ingeniería  
Correo electrónico: quiros@uniovi.es

### RESUMEN

El adiestramiento en la percepción espacial es una necesidad incontestable en el ámbito formativo del futuro técnico. Hasta ahora, el aprendizaje se llevaba a cabo recurriendo al estudio de los Sistemas de Representación, forzando obligatoriamente su desarrollo al plano bidimensional. Las Nuevas Tecnologías permiten acometer el entrenamiento de esta capacidad mediante el empleo de Entornos de Realidad Virtual Tridimensionales que realzan la sensación de inmersividad en el espacio real, consiguiendo así una mayor eficacia en el aprendizaje.

En este trabajo se ponen las bases necesarias para la construcción de un Entorno Interactivo de creación de tales escenarios que facilite al docente su tarea su diseño y gestión, manteniendo los objetivos perseguidos por estas herramientas. Las elevadas capacidades de integración mostradas por las distintas plataformas que sustentan los Campus Virtuales de la Universidades del G9, unidas a la flexibilidad de sus interfaces nativos, hacen de estos entornos un ámbito de actuación muy apropiado para la implementación de la arquitectura propuesta.

**Palabras clave:** realidad virtual, VRML, aprendizaje colaborativo, e-learning.

### ABSTRACT

New Technologies, based on Virtual Reality, allow more effective 3D-spatial abilities training than traditional procedures because of its immersive interface. To reinforce this idea, an easy Interactive 3D Worlds Builder is presented, in order to decrease staff duties, thanks to the integration capabilities and interfaces flexibility showed by Virtual Campus of G9 Universities.

**Key words:** Virtual Reality, VRML, Collaborative Learning, e-learning

# 1. Introducción

La habilidad de poder recrear la imagen de un objeto y poder manipularlo mentalmente tiene una significativa aplicación práctica en campos como la matemática, física, arquitectura o ingeniería [1]. Esta capacidad, conocida con el nombre de Percepción Espacial, es la más importante de todas aquellas que un individuo debe poseer para el ejercicio de la ingeniería, en opinión de Mohler [2]. Aunque el debate sobre la cuestión sigue abierto, las habilidades que esta capacidad engloba son las siguientes [3]:

1. Reconocimiento de un objeto tridimensional desde ángulos diferentes.
2. Percepción de la estructura interna de una configuración espacial dada.
3. Determinación de las relaciones espaciales entre el entorno y el individuo (orientación)

Tradicionalmente, en el ámbito de la ingeniería se han empleado numerosos métodos tanto para incrementar la percepción espacial de los alumnos de carreras técnicas como para valorar sus posibles variaciones en el proceso de aprendizaje, recurriendo para ello a la confección de pruebas tipo test [4], modelos geométricos realizados en CAD 2D y 3D [5] así como animaciones tridimensionales y videojuegos [6]. La aparición de los computadores y los soportes informáticos aumentó las posibilidades de creación y difusión de nuevos esquemas cognitivos orientados a la mejora de esta habilidad [2].

En un primer momento, las tecnologías multimedia interactivas, que permiten la integración de texto, audio y gráficos con posibilidad de intervención del usuario, permitieron un avance sustancial en el desarrollo de nuevos procedimientos, al verificar la máxima expuesta por Wolfram [7] en 1994: “La gente sólo recuerda el 15% de lo que oye y el 25% de lo que ve, pero recuerda el 60% de aquello con lo que interactúa”. En la actualidad, la Realidad Virtual permite al usuario una expansión del mundo real jamás imaginable hasta la fecha, posibilitando el diseño de herramientas dotadas de una efectividad mucho mayor [8], ya que esta tecnología no sólo permite una interacción dinámica e inmediata, sino la sensación de “inmersividad” en un espacio tridimensional cuasi-real donde es posible crear una realidad paralela adaptada a las necesidades impuestas por el proceso cognitivo a desarrollar. De ese modo, es posible potenciar de forma extraordinaria el adiestramiento en todos aquellos conceptos del mundo de la ingeniería donde el posicionamiento y la orientación tienen un carácter relevante.

La impartición por parte de los ponentes de la asignatura virtual “Gráficos por Computador”, adscrita al Campus Virtual Compartido de las universidades del grupo G9 [9], ha originado la necesidad de contar con herramientas que faciliten una homogeneización de las habilidades espaciales necesarias para comprender los principios geométricos que sustentan la generación computarizada de gráficos, debido a la dispar procedencia de nuestros alumnos, procedentes de estudios y niveles formativos distintos. La solución propuesta consiste en el diseño e implementación de

una plataforma para la generación de entornos virtuales orientados al adiestramiento de la percepción espacial en un ámbito colaborativo, permitiendo la interacción entre los usuarios dentro del sistema, y facilitando al docente las tareas de creación y gestión de los entornos mediante interfaces sencillos y amigables. En este trabajo se abunda en la problemática de partida y se describe la arquitectura propuesta para la plataforma, así como la metodología a seguir para su empleo.

## **2. Motivación**

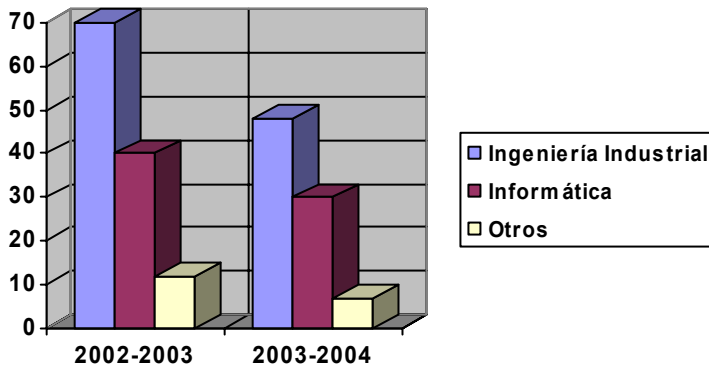
El Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la E.U.I.T.I. de Gijón (Universidad de Oviedo), imparte la asignatura cuatrimestral “Gráficos por Computador” (6 créditos) en el Campus Virtual de la Universidad de Oviedo (AulaNet), y que también forma parte de la oferta docente del Campus Virtual Compartido, una iniciativa puesta en marcha en 2000 por el grupo G9 de Universidades, y que permite a los alumnos de las mismas cursar dichas asignaturas de forma no presencial como estudios de Libre Configuración. Los objetivos que se pretenden conseguir con su impartición son los siguientes:

1. Abordar el estudio de los principios matemáticos, geométricos y físicos que fundamentan la generación de gráficos en un computador.
2. Conocer las técnicas que hacen posible la visualización gráfica, haciendo especial hincapié en los algoritmos que las respaldan.
3. Adiestrar a los alumnos en el empleo de las librerías gráficas más comunes, incidiendo en sus especificaciones más relevantes, mediante la elaboración de sencillas aplicaciones que pongan de manifiesto los conceptos teóricos expuestos.

La metodología empleada viene marcada por su carácter no presencial, con la consiguiente ruptura de las barreras espacio-temporales habituales en el proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional, así como por un cambio en el rol de profesor, adquiriendo funciones de tutor. La plataforma que sustenta el Campus Virtual de la Universidad de Oviedo (WebCT) ofrece herramientas para fomentar la interacción entre alumnos y profesores (e-mail, foros de debate, videoconferencia, pizarras compartidas), así como utilidades para el seguimiento y evaluación de los estudiantes, posibilitando incluso la realización de pruebas objetivas on-line. Los contenidos se organizan en torno a manuales digitales confeccionados mediante técnicas multimedia tradicionales, integrando hipertexto, gráficos, audio y vídeo.

Es de reseñar el carácter transversal de la asignatura, como corresponde al espíritu de los estudios de Libre Configuración, al fundamentarse en el aprendizaje de unos principios científicos procedentes de áreas de conocimiento diversas y con carácter basal. Además, la tecnología de generación de gráficos computarizados presenta hoy en día un ámbito de aplicaciones muy extenso, abarcando un gran número de disciplinas, lo que potencia el atractivo académico de la asignatura. Este fenómeno potencia la matriculación de alumnos con procedencias muy diversos, como refleja la figura 1, donde se representa la distribución de los alumnos de “Gráficos por

Computador” en función de los estudios realizados en los dos últimos cursos académicos. Se aprecia una fuerte polarización entre los alumnos procedentes de ingeniería industrial e informática (ciclo medio y superior) frente al resto.



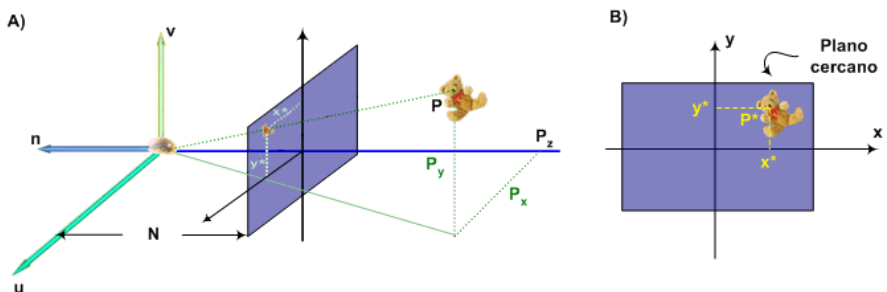
*Figura 1. Distribución de los alumnos de GPC en función de su carrera de procedencia*

### Problemática surgida

Después de dos años de docencia de la asignatura, se ha observado que un grupo numeroso de alumnos presenta problemas importantes de comprensión en aquellos conceptos geométricos claramente relacionados con la percepción espacial. La detección de estas anomalías se ha llevado a cabo gracias a la comunicación establecida directamente a través de las tutorías electrónicas, y observando el escaso rendimiento alcanzado en aquellas prácticas o cuestiones donde el conocimiento de tales nociones resultaba fundamental.

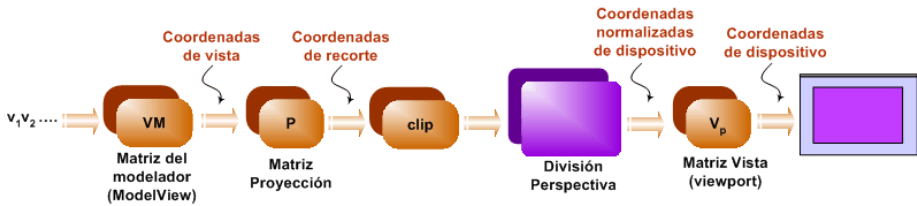
En concreto, los conceptos cuya comprensión resultó más dificultosa se pueden agrupar en dos grandes conjuntos:

- El concepto de Proyección (figura 2), indispensable para el conocimiento de la transformación perspectiva, debido a su incapacidad para identificar correctamente los elementos que intervienen en la misma y las correlaciones que se establecen entre las figuras origen e imagen.



*Figura 2. Concepto de Proyección*

- El conjunto de transformaciones que permiten representar en un periférico de salida la geometría dispuesta en una escena desde un determinado punto de vista se conoce como Pipeline Gráfico (figura 3). Se trata de una operación algebraica con fuerte significado geométrico, al tratarse de una sucesión ordenada de cambios de coordenadas de referencia, que provoca malentendidos entre los alumnos de la asignatura debido a las dificultades que entraña la adopción de diferentes puntos de vista para apreciar una misma realidad.



*Figura 3. Representación esquemática del Pipeline Gráfico*

Las razones que explican la aparición de esta problemática son las siguientes:

- Ausencia de un adiestramiento previo. El perfil de ingeniería informática carece de esta formación en la troncalidad de sus estudios, mientras que en la ingeniería industrial, aunque la incluye, se observa con preocupación cómo la carencia formativa de ciclos anteriores tiene su reflejo.
- El material gráfico multimedia empleado en la asignatura está constituido en su mayor parte por proyecciones planas estáticas de objetos tridimensionales, de forma que no es sencillo percibir con claridad la naturaleza real de estos objetos y su ubicación en el espacio para los sujetos no iniciados.
- La interactividad que presenta este material multimedia es nula, lo que imposibilita una manipulación por parte del usuario que facilite el proceso cognitivo de la percepción, por ejemplo, permitiendo la elección de puntos de vista distintos sobre la geometría representada.

En definitiva, el diagnóstico dictamina la ausencia de experiencias inmersivas tridimensionales interactivas que ayuden a mejorar la comprensión de los conceptos descritos. Ante esta situación, se impone la búsqueda de herramientas que permitan satisfacer estas necesidades dentro del entorno Web sobre el que se desarrolla la asignatura.

### **3. Los Entornos Colaborativos de Realidad Virtual**

Desde su advenimiento, la Realidad Virtual prometió revolucionar la forma en la que los humanos interactuamos con los computadores, abriendo un mundo nuevo de posibilidades de comunicación y de compartición de información entre sujetos [10]. El

último exponente en esta conquista emprendida hace más de veinte años son los entornos CVE (*Collaborative Virtual Environments*, Entornos Virtuales Colaborativos), lugares sintéticos, generalmente de carácter tridimensional, pensados para la acción y la interacción, donde los usuarios pueden relacionarse entre sí o con otros agentes pertenecientes al mundo virtual, y a los que se accede desde sencillos interfaces gráficos creados para la Web o a través de sofisticados periféricos como los cascos VR o los datagloves [11].

Los campos de aplicación de los entornos CVE son incontables. La simulación de complejos procesos industriales, el adiestramiento del personal en tareas comprometidas sin riesgo alguno o el ocio, se benefician de las ventajas de esta tecnología. También la educación se ve favorecida. De forma sucinta, se describen las razones que avalan esta hipótesis:

- Numerosos trabajos certifican las bondades del aprendizaje colaborativo como catalizador en el desarrollo de competencias tales como la argumentación o el contraste de ideas, frente a un modelo de aprendizaje basado sólo en la transmisión de conocimientos.
- Los nuevos recursos tecnológicos empleados en los entornos CVE propician la aparición de nuevos esquemas para abordar el proceso de aprendizaje, al facilitar el desarrollo de nuevos modelos cognitivos basados en métodos innovadores de acceso y representación de la información. En el ámbito de la percepción espacial, la posibilidad de mantener una experiencia inmersiva cuasi real multiplica por un factor significativo la eficacia de este método frente a los convencionales.
- Los entornos CVE pueden recrear escenarios sintéticos especialmente diseñados para la metáfora conceptual o la potenciación de aspectos metodológicos concretos, dictando para los mismos códigos de conducta y comportamiento sin reflejo en el mundo real. Además, su carácter multisensorial, extendiéndose la emulación a sentidos como el tacto, refuerza el proceso de aprendizaje de una forma consistente.

#### **4. Solución propuesta**

Dada la facilidad de integración que presentan los entornos CVE en el ámbito de las técnicas multimedia convencionales empleadas en la Web, así como las mejoras evidentes que pueden acarrear en el proceso docente, el Área de Expresión Gráfica de la E.U.I.T.I. de Gijón ha acometido el diseño e implementación de un Entorno Virtual Colaborativo orientado al afianzamiento de la percepción espacial con vistas a su integración en la asignatura “Gráficos por Computador”. El diagrama funcional de la aplicación, personalizado para cada usuario, se muestra en la figura 4.

El usuario, definido tanto en términos de percepción sensorial (vista, oído, tacto) como respecto a las acciones que puede llevar a cabo sobre el entorno, recibe información del sistema y genera respuestas que interactúan con el mundo sintético a través del *interface directo*, es decir, el conjunto de periféricos que el usuario tendrá a

su disposición para experimentar y controlar el mundo sintético. Debido al coste que supone el empleo de periféricos de altas prestaciones inmersivas (como los cascos VR o los dataglobes), se ha preferido emplear en una primera fase un sencillo interface gráfico con capacidades de navegación tridimensional.

El *motor de procesamiento de información* genera un comportamiento y una visualización adecuados en función de los eventos de entrada causados por la acción del usuario y el propio comportamiento predefinido del medio sintético, optimizado en este caso para maximizar la eficacia del aprendizaje. En general, el escenario virtual propondrá actividades encaminadas al desarrollo de las habilidades espaciales (visualización de piezas, elección de puntos de vista, juegos de construcción tridimensional). La creación y gestión posterior de este entorno será llevada a cabo por el docente a través de sencillos interfaces gráficos y formularios. Obviamente, el entorno CVE no funciona aisladamente, sino que se integra con el resto de utilidades de la asignatura.

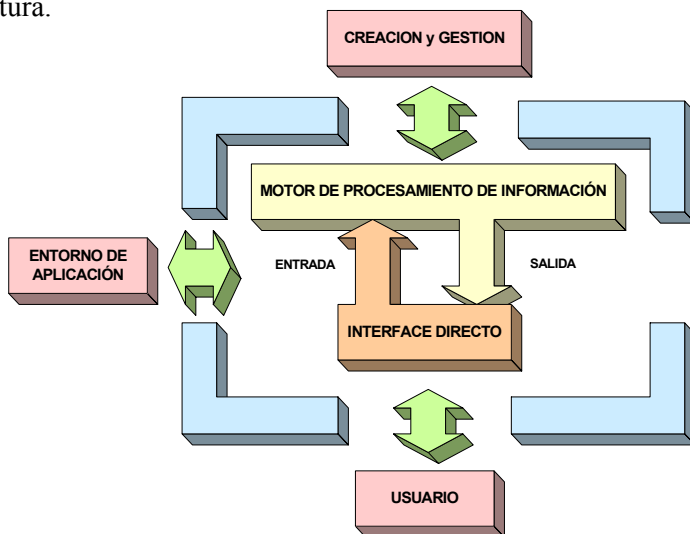


Figura 4: Diagrama Funcional de la aplicación CVE

Para implementar la funcionalidad gráfica del CVE se ha recurrido al empleo de VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), un lenguaje de script para la descripción de escenas tridimensionales elevado a la categoría de estándar [12], que permite la creación de escenarios interactivos en base a una estructura arborescente conocida como grafo. Cada nodo de esta arquitectura define la geometría, aspecto y comportamiento de cada objeto (figura 5). Las razones que han llevado a su elección son las siguientes:

- Independencia de la plataforma y/o sistema operativo elegido. La integración de la escena VRML con el navegador se lleva a cabo a través de programas auxiliares denominados *plug-ins*.
- Al tratarse de un lenguaje de script, la creación y gestión posterior de las escenas resulta sencilla (al ser editable en modo texto) y económica, ya que las necesidades de ancho de banda que exige la interacción son muy reducidas.



- VRML es una tecnología de dominio público, no sometida a las arbitrariedades de las grandes multinacionales del sector.
- Presenta una elevada extensibilidad, conseguida mediante lenguajes auxiliares como Java o PHP, que permiten la creación de nuevos tipos de nodos o la inclusión de soporte multiusuario, característica no contemplada en la especificación inicial [13]

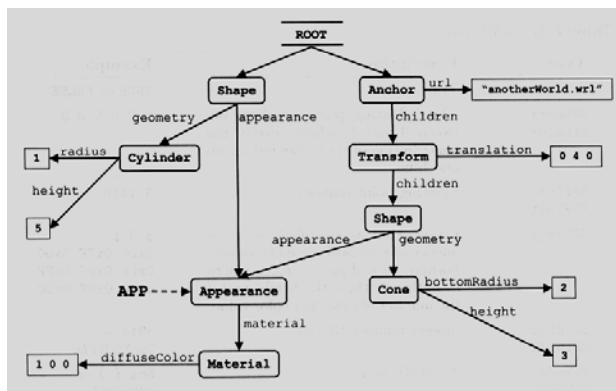


Figura 5. Grafo de una escena modelada con VRML

## Arquitectura de la aplicación CVE

Se trata de un entorno clientes/servidor construido con tecnología *OpenSource*, empleando Apache (<http://www.apache.org>) como servidor Web, MySQL (<http://www.mysql.org>) como motor de base de datos y PHP (<http://www.php.net>) como lenguaje de script ejecutado en el servidor, lo que permite generar en tiempo real una respuesta (una variación en el escenario virtual) ante los eventos de entrada ocasionados por el cliente. La figura 6 muestra el diagrama de conjunto.

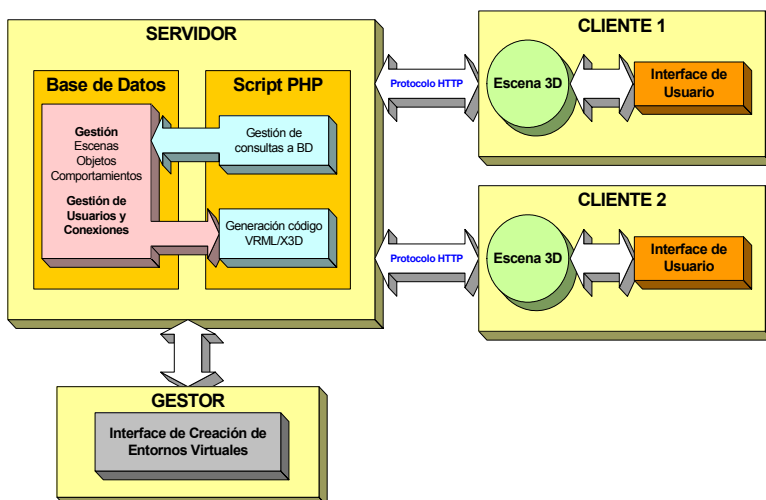


Figura 6. Arquitectura de la aplicación CVE

Para el almacenamiento de la información asociada al entorno (posición, estado y apariencia de cada agente, usuarios conectados, etc.), es necesario contar con el respaldo de una base de datos. PHP permite llevar a cabo la consulta ante la petición del usuario y traducir la respuesta a código VRML, lo que modifica la visualización de los clientes, y que se transmite a los mismos mediante protocolo TCP/IP. Se hace de nuevo especial hincapié en las utilidades de las que dispone el docente para crear y gestionar tanto los agentes que componen el entorno como los usuarios que tienen acceso al mismo. Estos procedimientos se basan en aplicaciones VRML secundarias o formularios HTML con la mira puesta en la máxima sencillez de empleo, de modo que estas herramientas puedan ser empleadas por docentes cuyo contacto con las Nuevas Tecnologías sea aún reducido.

## **Implementación de la aplicación CVE**

El diseño y puesta en marcha de la aplicación descrita se realizará en tres fases:

1. Adopción de un protocolo CVE, es decir, un esquema de comunicación entre los usuarios que acceden de forma concurrente al entorno que regule el estado y la prioridad de cada agente, la corrección de errores de transmisión, y que preserve la consistencia entre la información que alberga el servidor y la que visualizan los clientes. En la actualidad existen numerosas propuestas [14].
2. Implementación de la arquitectura cliente-servidor propuesta, recurriendo a extensiones de VRML que permitan su integración con lenguajes de script tales como PHP para conseguir un comportamiento dinámico de la escena. El estándar propuesto denominado EAI (*External Authoring Interface*) [15] es el más versátil de los utilizados hasta el momento.
3. Creación de interfaces amigables para la creación y gestión del CVE mediante VRML y HTML.

## **5. Consideraciones Finales**

Las nuevas tecnologías de Realidad Virtual aplicadas a la docencia permiten la elaboración de herramientas más eficaces para el adiestramiento de la percepción espacial, sacando ventaja de la participación en un entorno colaborativo y minimizando el esfuerzo de creación y gestión por parte de los docentes. El empleo de tecnologías *OpenSource* sin recurrir a dispositivos sofisticados reduce notablemente la inversión a realizar, por lo que el ratio eficacia-coste se eleva significativamente.

## **Referencias**

[1] MOHLER, James L. *Using Interactive Multimedia Technologies to Improve Student Understanding of Spatially-dependent Engineering concepts* Actas del International Graphicon Conference on Computer Geometry and Graphics, Nizhny Novgorod, Rusia, 2001

[2] ROBICHAUX, Rebecca R. *Predictors of Spatial Visualization: Structural Equations Modeling Test of Background Variables*. Journal of Integrative Psychology, 2(3), 2002

[3] EISENBERG, Ann N. *An Educational Program for Paper Sculpture: a Case Study in the Design of Software to Enhance Children's Spatial Cognition*. Tesis Doctoral. Universidad de Colorado (EE.UU.).

[4] NEWLIN, C. V. *The Total Concept of Graphics and Design in the Engineering Curriculum*. Engineering Design Graphics Journal, 43(2), pp. 21-22, 1979.

[5] MACK, W. E. *Computer-aided Design Training and spatial visualization ability in gifted adolescents*. Journal of Technologies Studies, 21(2), pp. 57-53, 1995.

[6] WIEBE, E. *Visualization of Three-dimensional Form: A Discussion of Theoretical Models of Internal Representation*. Engineering Design Graphics Journal, 57(1), pp. 18-28, 1993.

[7] WOLFGRAM, D. E. *Creating Multimedia Presentations*. McMillan Computers Pub, 1994

[8] McLellan, H. *Cognitive Issues in Virtual Reality*. Journal of Visual Literacy, 18(2), pp. 175-199, 1998.

[9] SUAREZ QUIROS, J.; GARCÍA DÍAZ, R. P.; ALVAREZ PEÑÍN, P. I.; GALLEGOS SANTOS, R. *Nuevas Tecnologías en la Enseñanza Virtual a través de la Red: Gráficos por Computador en el Campus Virtual de AulaNET*. Actas XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Santander), 2002.

[10] CHURCHILL, E. F.; SNOWDON, D. N.; MUNRO, A. J. *Collaborative Virtual Environments: Digital Places and Spaces for Interaction*. Springer Verlag, 2001

[11] SUAREZ QUIROS, J. *Gráficos por Computador*. ISBN: 84-688-1648-5 Universidad de Oviedo, 2003

[12] SUAREZ QUIROS, J.; GARCÍA DÍAZ, R. P. *Un Standard Gráfico para Internet: el Lenguaje VRML*. Actas IX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Bilbao), 1997.

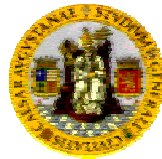
[13] Especificación VRML (<http://www.web3d.org/technicalinfo/specifications/>)

[14] DIEHL, S. *Distributed Virtual Worlds*. Springer Verlag, 2001

[15] Especificación EAI (<http://www.web3d.org/WorkingGroups/vrml-eai/ExternalInterface.html>)



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### NUEVAS APLICACIONES DE SOFTWARE SEMIAUTOMÁTICO DE MOLDES DE INYECCIÓN

CLAVERÍA AMBROJ, Isabel (1); FERNÁNDEZ CUELLO, Ángel (2); CASTANY VALERI, Javier (3); JAVIERRE LARDIÉS, Carlos (4);

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, España

Centro Politécnico Superior, TIIP, Área de Ingeniería Mecánica, Unidad Asociada al CSIC

[isabel.claveria@unizar.es](mailto:isabel.claveria@unizar.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Zaragoza, España

Centro Politécnico Superior, TIIP, Área de Ingeniería Mecánica, Unidad Asociada al CSIC

[Angel.fernandez@unizar.es](mailto:Angel.fernandez@unizar.es)

<sup>(3)</sup>Universidad de Zaragoza, España

Centro Politécnico Superior, TIIP, Área de Ingeniería Mecánica, Unidad Asociada al CSIC

[javier.castany@unizar.es](mailto:javier.castany@unizar.es)

<sup>(4)</sup>Universidad de Zaragoza, España

Centro Politécnico Superior, TIIP, Área de Ingeniería Mecánica, Unidad Asociada al CSIC

[Carlos.javierre@unizar.es](mailto:Carlos.javierre@unizar.es)

### RESUMEN

Durante los últimos años, el TIIP, Unidad Asociada al CSIC, ha venido desarrollando una herramienta de diseño para hacer más sencillo y más rápido las labores de diseño de un molde de inyección de termoplásticos, en la fase de anteproyecto. Esta herramienta es, a su vez un potente medio de formación para los diseñadores implicados.

Esta ponencia presenta las novedades introducidas en la herramienta de diseño, desde el año 2001, incluyendo la generación de sistemas de correderas para diseños complejos y el sistema de expulsión. Una de las utilidades más interesantes que se presentan es la inclusión en la línea de ejecución del programa, de herramientas relacionadas con la orientación de la pieza en el molde, según criterios objetivos.

La metodología seguida en el programa, es la que se ha desarrollado y se viene aplicando con éxito en el TIIP en softwares anteriores. El software ofrece al usuario un entorno, en el cual él participa activamente, tomando decisiones acerca del diseño, pero no ejecutándolas, que es tarea del software.

Este trabajo es continuación del presentado en el XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, y muestra las novedades desarrolladas desde entonces.

**Palabras clave:** diseño, moldes, inyección, CAD

## **ABSTRACT**

During last years, TIIP, Associate Unit to CSIC, has been developing a software tool in order to make easier and faster, the task of designing a thermoplastic injection mould, at the stage of ante project. The tool developed is also a powerful training tool for non qualified personnel in this task.

The paper presents a software that covers the complete generation of the mould, according to standard components: plates, screws, guiding system, ejection system, and slide movements. Some of the most interesting utilities included, in the executing line of the software, are the ones related to the orientation of the part into the mould, according to specified criteria.

The methodology followed in the software is the one developed in TIIP, and that has been already successfully applied in previous software. The software offers to the user an interface in which, he participates actively by making decisions about the design, but not executing this decisions, that it is a task of the computer.

This work continues the previously presented in XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, and shows all the new developments introduced in the software since 2001.

**Key words:** design, mold, injection, CAD

## **1. Introducción**

El trabajo que se expone sigue los trabajos realizados por Castany [1], Fernández [2], Javierre [3], y Clavería [4] durante los últimos diez años, en la línea de investigación de metodología de diseño para moldes de inyección. La fase más reciente de estos trabajos recoge la introducción de una serie de utilidades en el programa de software para diseño semiautomático de moldes de inyección. Estas utilidades hacen referencia a la inclusión de sistemas de correderas en el conjunto del molde diseñado, así como las herramientas que permiten decidir al usuario si dichas correderas son necesarias o no.

## **2. Estado del arte, y punto de partida del trabajo**

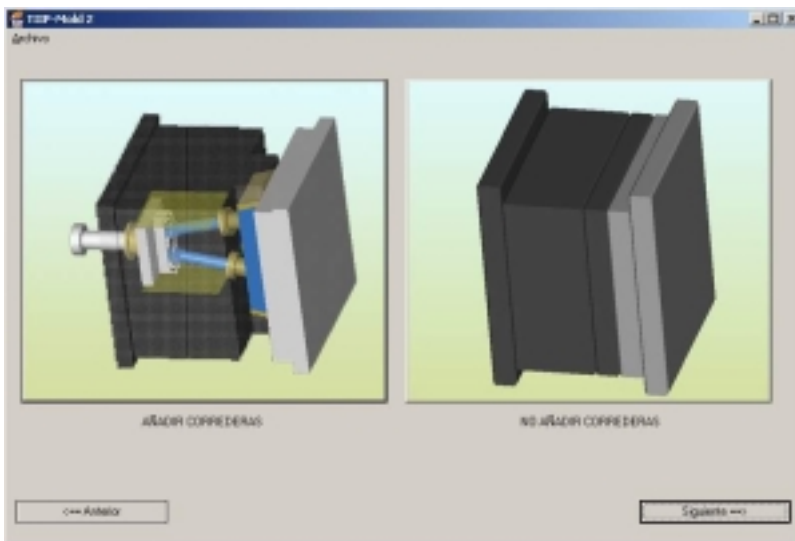
Tal y como se presentó en la anterior edición del Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, se está desarrollando un software para diseño semiautomático de moldes de inyección. Básicamente, este software contenía una serie de utilidades que permitían al usuario el diseño básico de un molde a partir de una pieza. El sistema estaba preparado para ofrecer al usuario una serie de decisiones, a partir de la pieza elegida para diseñar el molde, en cuanto a dimensiones generales del mismo, dimensiones de los elementos placa, y posición y dimensionamiento de una serie de sistemas auxiliares. Los sistemas auxiliares que habían sido implementados eran el sistema de tortillería, sistema de guiado del molde, y sistema de expulsión. A partir de ese punto se ha desarrollado la implementación de los sistemas de desmoldeo con correderas, indicados para topologías especiales, en las que aparecen superficies en

contrasalida, es decir, superficies que no pueden ser liberadas en la dirección de apertura del molde.

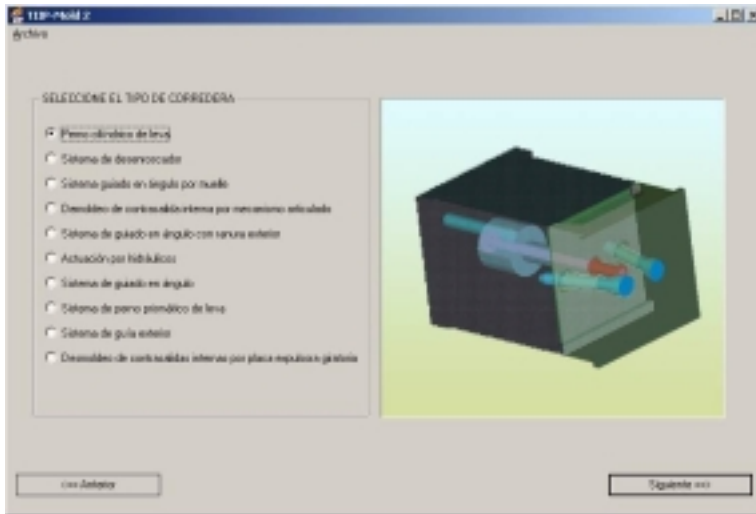
### 3. Implementación de los sistemas de correderas

Punto fundamental en el diseño de un molde de inyección es la localización de la pieza en su interior. Esta localización determina la dificultad de la superficie de partición que se generará, y la necesidad de incluir sistemas de correderas en el molde, lo cual, eleva su nivel de complejidad, tanto a nivel de diseño, como de su posterior funcionamiento. Teniendo en cuenta este aspecto, se ha implementado en el software un módulo para el diseño de correderas en el molde. Dicho módulo, al que se accede directamente después de haber colocado la pieza dentro del molde, ofrece en primer lugar la opción de incluir o no el sistema de correderas en el molde. Esta opción se ofrece, ya que el software, destinado principalmente a ser herramienta de anteproyecto, puede ser utilizado en toda su extensión o por bloques que se suceden automáticamente, según sea la intención del usuario. Es decisión de éste último, el incluir los sistemas que él estime oportunos en cada ocasión.

Caso de que se opte por incluir un sistema de correderas, el software nos ofrece once tipos diferentes de estos sistemas, de los cuales dos están actualmente implementados, y un tercero está en desarrollo. Estos tres sistemas de correderas, y sus posibles combinaciones, suponen el 95 % de los sistemas de correderas que aparecen en los moldes comerciales actuales. La figuras 1 y 2 muestran las pantallas a través de las cuales se accede a estas selecciones:



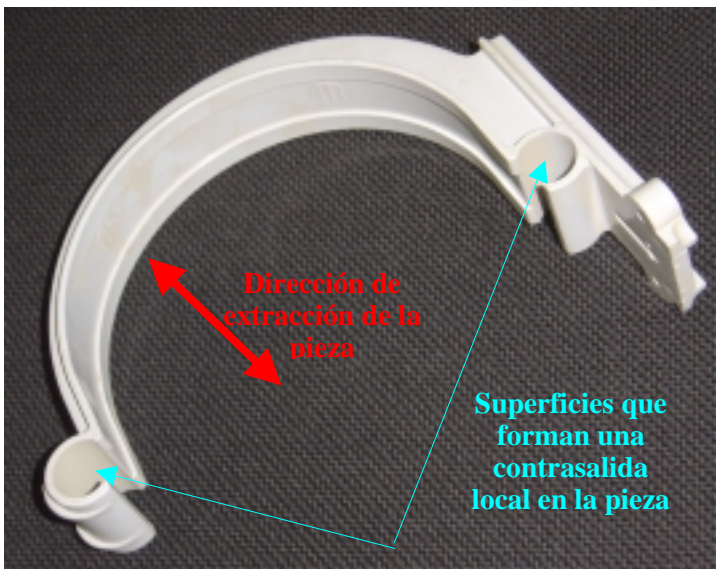
*Figura 1: pantalla que da la opción de incluir o no un sistema de correderas*



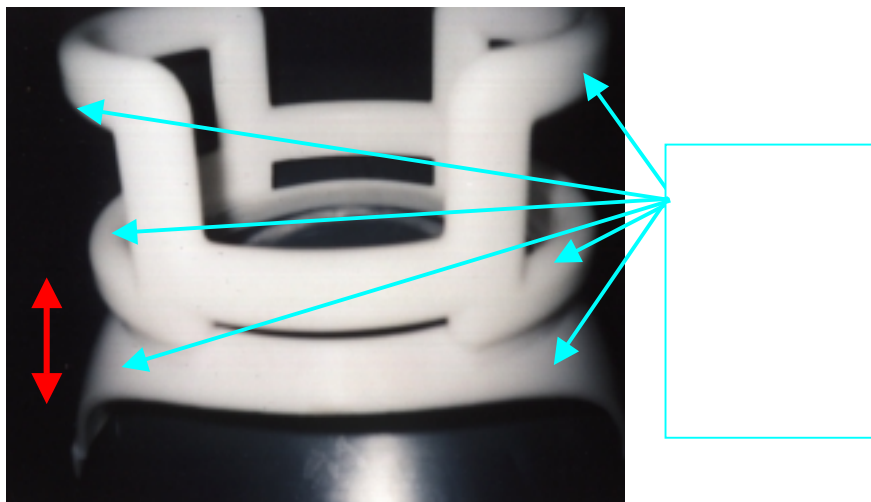
*Figura 2: pantalla que permite seleccionar el tipo de sistema de correderas*

### 3.1. Sistema de correderas de perno cilíndrico de leva

Uno de los sistemas de correderas que se pueden seleccionar es el sistema de correderas de perno cilíndrico de leva, que a su vez se divide en dos subtipos: sistema normalizado y sistema no normalizado. Estos dos sistemas se diferencian en que el sistema normalizado es apto para contrasalidas que afectan a la totalidad del contorno de la pieza, y el sistema no normalizado, para contrasalidas localizadas en una zona de la geometría. Las figuras 3 y 4 ilustran el concepto de contrasalida, así como su carácter global o local.

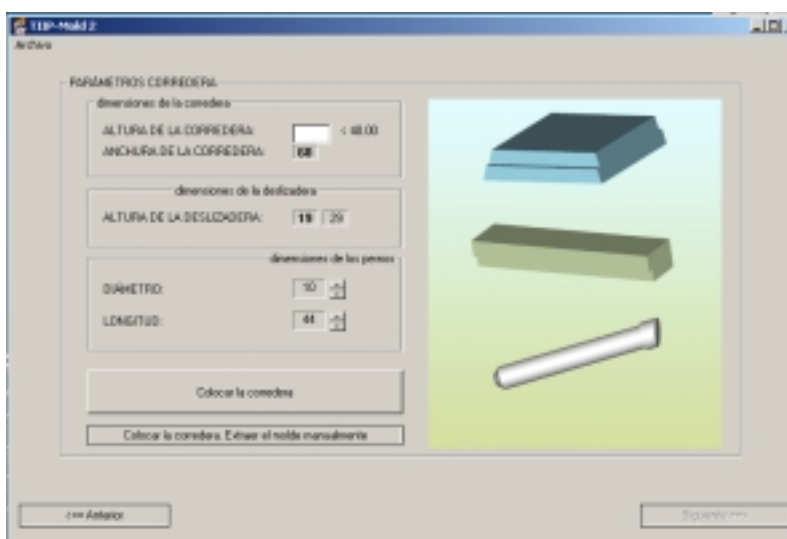


*Figura 3: pieza con contrasalida local*



*Figura 4: pieza con contrasalida global*

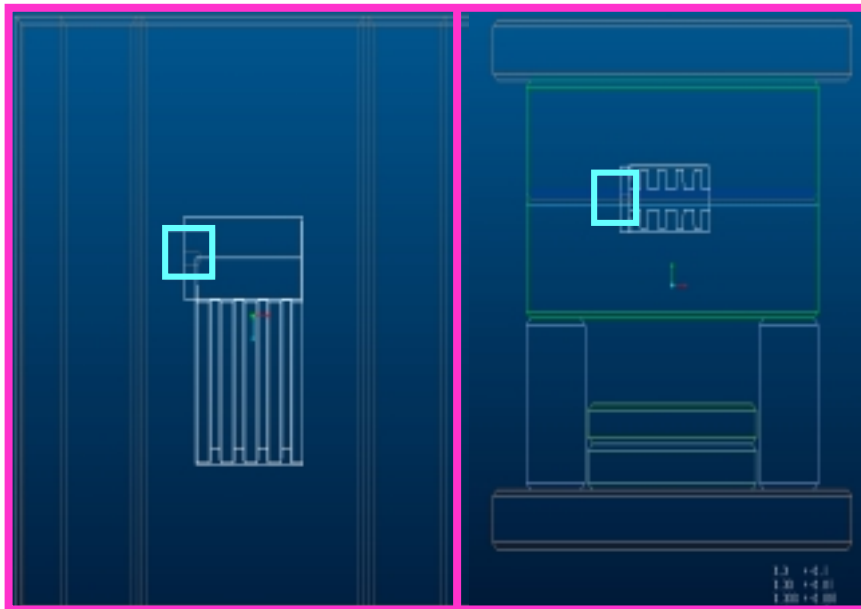
Una vez se ha elegido cual de los dos sistemas se va a elegir el sistema nos pide los parámetros característicos del sistema, y que determinarán el correcto desmoldeo del componente. En el caso del sistema normalizado, como su nombre indica, las dimensiones principales quedan definidas según las dimensiones de las placas que se hubieran elegido para el molde. Queda a criterio del usuario el definir la longitud del perno que guiará el movimiento de apertura de la corredera, y garantizará la correcta liberación de las superficies. Estos datos se aportan a través de la pantalla mostrada en la figura 5:



*Figura 5: pantalla de introducción de los parámetros de la corredera*



En el caso del sistema no normalizado, las dimensiones de la corredera deben ser aportadas por el usuario. El software provee de un método que permite estimar gráficamente, a partir de las dimensiones de la pieza y de la contrasalida, las dimensiones de la corredera, a través de una selección de ventana, tal y como se muestra en la figura 6. Posteriormente será necesario dar valor a los parámetros del perno cilíndrico de forma similar al sistema normalizado.



*Figura 6: dimensionado de la corredera no normalizada, a través de una selección de ventana*

En general, el bloque correspondiente al diseño del sistema de correderas sigue una estructura similar al resto de los bloques del software ya existentes. En primer lugar, el programa ofrece un opción de diseño basada en las características de los sistemas del molde diseñados hasta ese momento. A partir de esa opción presentada, es el usuario el que debe decidir si la acepta o decide modificarla según su criterio. Pocos aspectos quedan totalmente libres para ser determinados por el usuario, como es el caso del dimensionado de la corredera no normalizada. Aún así, en este caso, el software proporciona unas herramientas, que limitan la libertad de esa decisión en el sentido de evitar soluciones erróneas o no adecuadas.

### **3.2. Sistema de noyos hidráulicos**

El sistema anteriormente descrito resulta adecuado cuando la dirección de extracción de las correderas es perpendicular a la dirección de apertura del molde. Cuando no ocurre así, es necesario recurrir a otros sistemas, como los noyos hidráulicos. Técnicamente, estos sistemas tienen dos características principales, que los distinguen de los anteriores. En primer lugar, su movimiento es accionado hidráulicamente, y no depende de ningún otro movimiento del molde. En segundo

lugar, permite direcciones de extracción en direcciones distintas de la perpendicular a la de apertura del molde.

Para definir este sistema, el usuario debe determinar la dirección de extracción de esta corredera y sus dimensiones principales, tal y como se muestra en la figura 7:

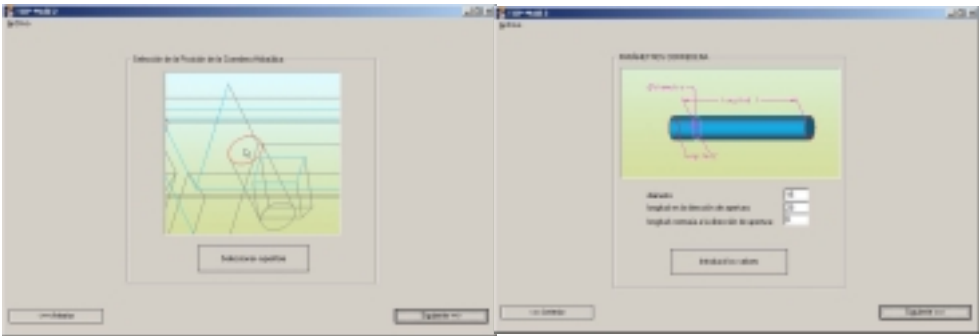


Figura 7: pantallas para definir el sistema de correderas por noyos hidráulicos

## 4. Conclusiones

- A partir del trabajo presentado en INGEGRAF 2001, se han introducido, en el software para diseño semiautomático de moldes de inyección, una serie de utilidades orientadas a la inclusión de sistemas de desmoldeo por correderas, en el diseño del molde.
- La inclusión de estos sistemas es aplicación directa de la metodología de diseño TIIP (Taller de Inyección de la Industria de los Plásticos), en la que se basa el software que se está desarrollando.
- La posibilidad de incluir sistemas de desmoldeo por correderas es fundamental en una herramienta de diseño de moldes, ya que un porcentaje muy elevado de componentes de plástico presenta características geométricas que requieren de estos sistemas.
- Se han desarrollado tres sistemas de correderas: sistema de perno cilíndrico de leva normalizado, sistema de perno cilíndrico de leva no normalizado, y sistema de noyos hidráulicos. Estos sistemas, junto con el de expulsores inclinados, suponen el 90 % de los sistemas de desmoldeo que se utilizan actualmente en la industria.
- Cada uno de los sistemas incluidos sigue un esquema de funcionamiento similar: en primer lugar el programa ofrece una solución al diseño que se plantea, y en segundo lugar el usuario acepta esa propuesta, o la ejecuta según su propio criterio.

Actualmente, se está trabajando en el desarrollo del sistema de correderas de expulsores hidráulicos, fundamental en el desmoldeo de contrasalidas internas en piezas de plástico. Estos resultados estarán listos para ser presentados en la próxima edición de INGERAF.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a todos sus compañeros del TIIP (Taller de Inyección de la Industria de los Plásticos) y de la Fundación AITIIP, por su ayuda y colaboración en diferentes fases del trabajo realizado y del que actualmente se está llevando a cabo.

Por otra parte, mostrar nuestro agradecimiento al CSIC, (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), del que TIIP es Unidad Asociada, por permitir a través de su programa de “Especialización en Líneas de Interés para el Sector Industrial”, la financiación de este proyecto.

## Referencias

MENGES, Mohren. *How to make injection moulds*. Aachen (Alemania): Hanser Publishers, 1993.

REES, H. *Mold engineering*. Notario (Canada): Hanser Publishers, 1995.

JAVIERRE, Carlos. *Desarrollo de un sistema informático integral que cubra los aspectos técnico-económicos en el desarrollo del anteproyecto de una pieza de plástico*. Zaragoza (España): Universidad de Zaragoza, 1999.

CLAVERIA, Isabel. *Software para diseño semiautomático de moldes de inyección*. Zaragoza (España): Universidad de Zaragoza, 2003.

LODENSTEIN, M.A. et al. *Development of mold design software*. In: Proceedings of the 52<sup>nd</sup> Annual Technical Conference, 1994.

SHIN, K et al. *Design of side cores of the injection molds from automatic detection of interference faces*. In: Journal of design Manufacturing, 1993.

WEINSTEIN, M et al. *Optimum parting line design of molded and cast parts for manufacturability*. In: Journal of Manufacturing System, 1997.

NEE, A.Y.C. et al. *Determination of optimal parting directions in plastic injection mold design*. In: CIRP Annals Manufacturing Technology. Singapore, 1997

SERRAR, M et al. *Automatic generation of parting surfaces and mold halves*. In: Computers in Engineering ASME, 1995.

RAVI, B et al. *Computer Aided Parting Surface Generation*. In: Proceedings of Manufacturing International, Part 4, 1990.

CHEN, L.L. et al. *Parting directions for Mould and Die Design*. In: Computer Aided Design, 1993.

MOCHIZUKI, T et al. *Methods of extracting potentials undercut and determining optimum withdrawal direction for mold designing*. In: International Journal Japan Society, 1992.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INTERFAZ PARA EL MANEJO DE APLICACIONES DE DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR MEDIANTE DISPOSITIVOS CAPTADORES DE VOZ

LÁZARO CAÑEDO-ARGÜELLES, Eugenio (1); DOMÍNGUEZ SOMONTE, Manuel (2)

<sup>(1)</sup>Universidad Pontificia Comillas, España  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)  
Correo electrónico: e\_lazaro\_ca@einf.upco.es

<sup>(2)</sup>Universidad Nacional de Educación a Distancia (U.N.E.D.), España  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales  
Correo electrónico: mdominguez@ind.uned.es

### RESUMEN

El desarrollo de las aplicaciones de diseño asistido por ordenador en los últimos diez años ha sido espectacular. Sin embargo, su manejo va haciéndose más complicado con nuevas versiones. Tanto es así, que un profesional requiere actualmente una fuerte preparación para manejarlas. En la actualidad se habla de nuevos entornos informáticos que harán más agradable el manejo de los equipos y aplicaciones. Uno de estos nuevos entornos es el del manejo a través de órdenes impartidas mediante micrófono. Es decir, el reconocimiento de voz por parte del ordenador. Este entorno está empezando a desarrollarse y los fabricantes de software hacen esfuerzos para que llegue a ser una agradable realidad. La utilización de este nuevo entorno en el campo del diseño asistido puede facilitar la labor a los usuarios, permitiendo a éstos centrarse en su trabajo obviando la faceta informática, que pasa a ser interpretada por el sistema de reconocimiento de voz.

Este trabajo muestra lo que puede ser el desarrollo de una nueva interfaz que permita dar órdenes, de manera coloquial, a la aplicación de diseño sin estar sometido a la rigidez de los comandos habitualmente usados en estas aplicaciones.

**Palabras clave:** diseño asistido, reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje.

### ABSTRACT

Over the last few years, evolution in graphic design for manufacturing has certainly been important. All of this has been reached solely through the evolution of information hardware and software, mainly in computer assisted design software. At present, there is a new challenge: computers have to communicate with users by means of a new language, the user's language instead the computer's. Moreover, handling of computer assisted design applications has, through the use of corresponding interfaces, to be opened to users with handicaps, even disabled ones. Besides, use of information applications will have to be opened to voice recognition handling; so that, users will be able to control and, at least partially, give orders to the computer, with same exactness as through the mouse or keyboard.

This paper shows the state of art in computer design handled with voice or speech recognition applications, doing emphasising in possibilities and limitations, and trying to predict the future, considering needs that will have to be reached.

# 1. Introducción

La evolución del diseño industrial en los últimos años ha sido ciertamente importante. Se ha pasado de las representaciones en dos dimensiones sobre papel - a partir de aquí referenciadas como 2D - a visualizaciones fotorealísticas en tres dimensiones - a partir de aquí referenciadas como 3D - con posibilidades como: perspectivas automáticas, cambios de escala de forma continua, sección automatizada de dibujos, visualizaciones múltiples, efectos de iluminación y sombra y otras. Todo esto se ha conseguido mediante la gran evolución que han sufrido tanto el hardware como el software de diseño, llegándose a aplicaciones muy potentes pero muy complejas. Los usuarios actuales se encuentran con: programas de muchos tipos, desde diseño y análisis, pasando por multimedia, comunicaciones vía telefónica, lenguajes de programación y llegando a aplicaciones de realidad virtual, no habiendo campo en el que la informática no se haya introducido como herramienta auxiliar.

A la vez que la potencia y variedad de posibilidades han crecido de forma exponencial también lo ha hecho la complejidad. Lo que hace diez años era relativamente simple, pese a la incomodidad del entorno, ha pasado en muchos casos a un grado de complejidad que dificulta seriamente el acceso a usuarios que se definen como normales. La necesidad de cursos de formación previos cada día es más imperiosa. Con un agravante, los programas evolucionan a un ritmo muy difícil de asimilar, resultando cada vez más arduo poner al día los conocimientos, cosa cada día más necesaria para desenvolverse en cualquier actividad profesional. Hoy día no se concibe a un técnico especialista cualquiera sin unos conocimientos mínimos de manejo de aplicaciones de informáticas para la oficina.

Todo esto, lleva a una necesidad clara: se debe poder comunicarse con los equipos informáticos de forma más natural. Si se analizan los diferentes formas en que se comunica el ser humano - imágenes, gestos, escritura - se llega a la conclusión que ésta debe ser el propio lenguaje verbal, que es la forma más natural en que se comunican las personas entre sí. Con esta elección, aparece un reto: el ordenador debe comunicarse con el usuario a través de órdenes verbales dadas mediante un lenguaje familiar en lugar de mediante órdenes rígidas ejecutadas mediante teclado, ratón y otros dispositivos parecidos. Es decir, se busca controlar el equipo informático de la manera más completa posible a través de órdenes verbales; órdenes que deben ser “entendidas” por el ordenador y ejecutadas con la misma precisión que con los dispositivos periféricos clásicos. El resultado pretendido es claro, se desea manejar los ordenadores mediante sistemas de reconocimiento de voz.

En este momento hay en el mercado diversos sistemas de reconocimiento de voz asequibles al usuario de “calle”, tanto por su precio como por su facilidad de instalación y uso. Sin embargo, son herramientas con unos propósitos muy definidos - la escritura de textos y la navegación por Internet - y si bien permiten llevar a cabo un control de las aplicaciones informáticas presentan una serie de lagunas.

Actualmente uno de los campos más importantes en el desarrollo informático es el del diseño asistido por ordenador. Este es un campo en el que la complejidad y

potencia de las aplicaciones ha alcanzado niveles muy altos, con un buen número de estas en el mercado, con capacidades muy variadas para distintos entornos. La mayoría de estas aplicaciones son complejas y los conocimientos para su manejo no se adquieren con un simple curso. La posibilidad de hacer diseño asistido en un ordenador impartiendo órdenes verbales al equipo informático resulta muy atractiva. Junta dos campos totalmente diferentes. Uno, el del diseño asistido por ordenador, muy avanzado y potente. Otro, el del reconocimiento de voz; muy novedoso y poco desarrollado todavía pero con un gran futuro. La integración de ambos campos da unas posibilidades de trabajo que es necesario analizar para extraer conclusiones.

## **2. Los sistemas de reconocimiento de voz.**

Los sistemas de reconocimiento de voz son programas informáticos que permiten trabajar con el ordenador relacionando el lenguaje oral con ciertos procesos que se ejecutan en el equipo informático.

Presentan, claramente diferenciadas, dos posibles tareas que son ejecutables mediante el uso de un micrófono. Por un lado sirven para escribir dictando el texto directamente a través del propio micrófono. Por otro, permiten dictar órdenes al equipo, haciendo que éstas se ejecuten exactamente igual que si se ejecutasen con la ayuda del ratón o el teclado. En esta segunda tarea sustituyen las interfaces habituales, teclado y ratón, por un conjunto de auricular y micrófono, a través del cual se dictan las correspondientes órdenes. Las órdenes son palabras o frases muy determinadas que hay que vocalizar con bastante exactitud y que el ordenador interpreta haciendo que se lleven a cabo.

La diferenciación entre las dos tareas a la que se hace referencia en el párrafo anterior no es un tema baladí y ya se dio, de manera similar, con los primeros programas procesadores de texto. El problema es que al enviar información al ordenador hay que diferenciar claramente qué es texto dictado y qué son órdenes - introducidas como caracteres estándar. Así, la palabra *dibujar*, puede ser una más dentro de un texto o una orden para hacer "algo". En cada uno de los dos casos la respuesta del ordenador es completamente diferente.

Los sistemas de reconocimiento de voz transforman secuencias de sonidos en palabras. A su vez, ese conjunto es posteriormente convertido en una frase. Teniendo en cuenta esta consideración, los actuales sistemas de reconocimiento de voz pueden clasificarse en:

1 - Sistemas de reconocimiento específico: utilizan un conjunto reducido de palabras que reconocen y no permiten la ampliación de su diccionario. En este apartado están todas las aplicaciones que se usan para contestadores automáticos por teléfono y aplicaciones parecidas.

2 - Sistemas de reconocimiento general: su vocabulario es extenso y permiten la ampliación de éste añadiendo nuevos términos, incluso aunque no estén en diccionarios de lenguas.

Los sistemas que interesan son del segundo tipo que permiten dictar una gran variedad de órdenes y añadir nuevas palabras al conjunto de términos aceptados por el sistema. Este tipo de sistemas resulta muy ágil a la hora de trabajar, permitiendo tanto dictar texto libremente como dar órdenes que sirven para cualquier tipo de aplicación. La posibilidad de añadir nuevos términos, incluso no correctos ortográficamente, amplía las posibilidades de control de las aplicaciones de manera muy completa.

### **3. El diseño asistido controlado por el reconocimiento de voz.**

En toda aplicación que trabaja bajo Windows® hay una serie de características comunes entre ellas, cuyo funcionamiento es igual en todos los casos. Estas características son los diversos elementos que están presentes siempre, como: ventanas con sus botones de control los menús con sus opciones, los cuadros de diálogos con sus diferentes elementos que incorporan, la barra de tareas del propio sistema Windows®, las diversas barras de herramientas con botones y muchos más. Todos estos elementos se usan para darle órdenes a la aplicación o para ejecutar tareas de cualquier índole. El hecho de querer manejarlos mediante un sistema de reconocimiento de voz implica saber cómo hacer para que el sistema ejecute órdenes que no tienen nada que ver con dictar texto. Esta es quizá, una de las mayores dificultades a la hora de manejar la aplicación de diseño asistido mediante un simple micrófono -que pretende sustituir al teclado y al ratón. Dictar texto es relativamente sencillo, pero dictar órdenes es algo más complicado y que requiere mucha más precisión. Con el actual entorno de los sistemas operativos, todos estos elementos estándar se manejan con el ratón y con el teclado. Así, se puede acceder a un menú cualquiera de los que tenga la ventana activa pulsando el juego de teclas Alt + la letra correspondiente; esta letra es la que se muestra subrayada en el menú (por ejemplo, en AutoCAD® el menú Archivo muestra subrayada la letra A). Así, la ejecución de mandatos (u órdenes) con el micrófono implica sustituir teclado y ratón - más teclado, que ratón - por mandatos dictados por el micrófono; mandatos que el sistema de reconocimiento de voz debe reconocer sin confundirlos con texto dictado.

A fin de cuentas de lo que se habla es de una interfaz insertada entre el usuario y la aplicación de diseño, con lo que ello implica de problemática añadida. Ya no basta con hacer frente a los problemas típicos de este tipo de aplicaciones – diseño asistido por ordenador – sino también a los que provoca la inserción intermedia de esa interfaz.

### **Principales problemas en el entorno del reconocimiento de voz.**

El hecho de manejar una aplicación de diseño con la ayuda de un sistema de reconocimiento de voz da lugar a una serie de problemas muy localizados.

1 - Determinación de puntos: esta tarea afecta al trazado de nuevas entidades y a la mayoría de las tareas de edición de las mismas. La mayoría de las veces requiere el uso del puntero para señalar posiciones, lo que complica mucho el uso del sistema de reconocimiento de voz. Es quizá el más grave problema aunque casi igualado - si no superado - por el siguiente.



2 - Selección de entidades: en todas las tareas de edición, y en otras como acotado y manejo de bloques, es necesario seleccionar objetos. El problema es el mismo del punto anterior, el ratón es insustituible y esto provoca tal cúmulo de incomodidades que el usuario se siente tentado de abandonar el nuevo entorno y volver al manejo directo del ratón.

3 - Ejecución de opciones desde botones de las barras de herramientas: esta posibilidad, tan grata para el usuario en el entorno convencional, se vuelve casi imposible en el nuevo entorno. La única forma de hacerlo es mediante el icono del ratón y las correspondientes órdenes, con todo lo que ello implica.

4 - Ejecución de opciones de los menús: el acceder a una opción de los menús puede resultar muy incómodo si ésta se encuentra escondida en algún sub-menú que, a su vez, puede colgar de otro. El no poder llamarla directamente produce algunos quebraderos de cabeza en algunos casos de opciones “escondidas”.

5 - Opciones y parámetros no correctos ortográficamente: el sistema de deletreado es muy lento, con excesivas órdenes para completar palabras de longitud media. Es una buena solución para algunos pasos problemáticos - esencialmente cuando son términos no recogidos en el diccionario del sistema o para palabras con muchas posibilidades de error - pero la efectividad del dictado choca con la poca eficiencia del proceso, que lleva demasiado tiempo.

6 - Introducción de coordenadas: este problema, que en otro tipo de aplicaciones no existiría, en el caso de las aplicaciones de diseño resulta vital. Hay que tener en cuenta que los diferentes tipos de coordenadas que se pueden usar - cartesianas 2D y 3D, cilíndricas y polares; todas ellas absolutas o relativas - hacen el tema muy variado, requiriendo varios valores numéricos (por supuesto con posibles decimales) separados y con indicadores del tipo de valor (o del tipo de coordenada). Es un problema que requiere la imaginación del usuario constantemente.

7 - Introducción de valores: en algunos casos es necesario introducir simples valores, tipo texto o numéricos, como parámetros sencillos - por ejemplo, longitud de un segmento, valor de un ángulo determinado. Es la parte menos problemática del nuevo entorno y la más sencilla de llevar a cabo.

Así mismo, con relación al manejo general de las aplicaciones – no solo de diseño asistido por ordenador – se dan una serie de “puntos delicados”. Éstos son:

? Manejo del ratón por pantalla incluyendo movimiento del puntero y situación de este mediante la división visual de la ventana o la pantalla en forma de rejilla: conviene probar el sistema operativo bajo el que se trabaja y tener confirmación, por parte del fabricante del sistema de reconocimiento de voz, que éste se desenvuelve razonablemente bien con el sistema escogido. No hay que olvidar, sólo por hablar de Windows®, la multitud de versiones que conviven en el momento actual (95, 98, NT, 2000, Millennium®, XP Home, XP Professional y las que no tardarán en aparecer).

? Demasiados órdenes para la ejecución de tareas simples: órdenes que con el ratón son muy sencillas, pero que a través del micrófono hacen necesaria una gran

cantidad de comandos hasta su completa terminación. Por ejemplo, el trazado de un rayo desde un punto medio a otro punto medio requiere con el ratón las siguientes operaciones:

- Clic en botón Rayo.
- Clic en botón Punto medio
- Traslado del ratón al primer elemento.
- Clic cerca de su punto medio
- Clic en botón Punto medio.
- Traslado del ratón al segundo elemento.
- Clic cerca de su punto medio.
- Clic con el botón derecho para terminar.

Esto expresado en órdenes dictadas supone un trabajo enorme de dictado.

? Imposibilidad de dar directamente órdenes complejas que incluyan parámetros y valores: esto hace que sean necesarios demasiados pasos hasta la ejecución de un comando (por ejemplo, dibujo de un arco). El hecho de que la aplicación de diseño exclusivamente permita comandos de una sola palabra impide introducir órdenes completas, lo que implica la necesidad de ir paso a paso escogiendo opciones. Se debería poder indicar el comando completo con sus parámetros adicionales - si se conocen y es posible incluirlos.

? Escritura de órdenes en la ventana de comandos: dado que el sistema está preparado para dictado de palabras aparecen dos problemas concretos. El primero es la inclusión de espacios en blanco detrás de cada palabra, lo que dificulta el correcto dictado de órdenes complejas, en especial al dar valores numéricos. El segundo aparece al tener que escribir palabras no reconocidas en el vocabulario del sistema de reconocimiento de voz. Dado el elevadísimo número de órdenes de este tipo, resulta imposible contar con ellas directamente mediante dictado. A menos que se haya hecho una labor previa para incluir la mayoría en el diccionario del sistema y se hayan entrenado de una por una.

? Determinadas operaciones, en las que se requiere de alguna forma ejecutar un comando intermedio: este tipo de ejecución sólo es posible mediante lo que AutoCAD® denomina “comandos transparentes”; sin embargo, esto no es más que trabajo adicional. Mediante el uso del ratón es posible activar alguno de ellos directamente, como por ejemplo el comando para forzar el cursor a la rejilla; para ello, en medio de cualquier otro comando, es posible hacer doble clic en el botón correspondiente de la barra de estado y así activar o desactivar esta característica. Si esto quiere hacerse mediante el uso del micrófono, se mezcla por un lado la ejecución del comando primario y por otro el traslado intermedio del ratón hacia la barra de estado; la consecuencia es una ejecución muy incómoda con muchas órdenes verbales intermedias hasta su terminación.

## **Pruebas comparativas.**

La realización de pruebas prácticas de funcionamiento permite extraer conclusiones sobre la calidad del funcionamiento de la aplicación de diseño a través

del sistema de reconocimiento de voz. Estas pruebas se llevan a cabo mediante la ejecución de diversas órdenes. Para ello se comparan ciertas características usando ambos entornos: el clásico con ratón y teclado, y el nuevo mediante las órdenes dictadas por el micrófono.

Las características comparadas han sido esencialmente el tiempo de ejecución de órdenes sencillas y el número de errores cometidos con éstas con el sistema de reconocimiento de voz. Los resultados pueden verse en los dos gráficos adjuntos, resumen comparativo de las medidas de tiempos y de la cuenta de errores.

Figura 1: Gráfico de tiempos medios de proceso..

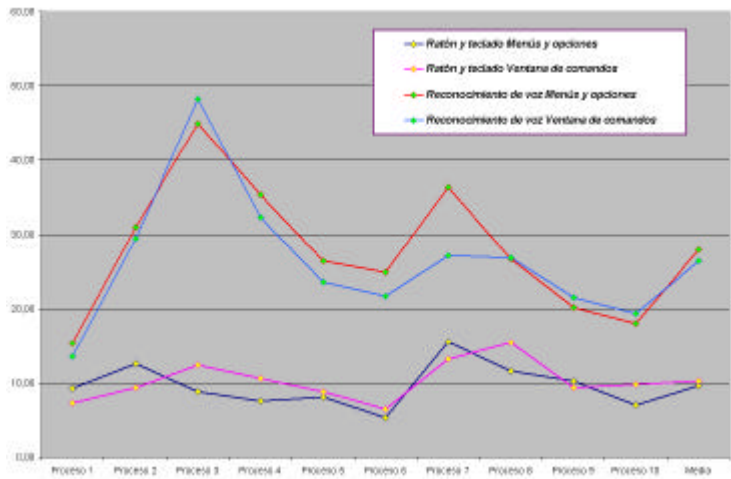
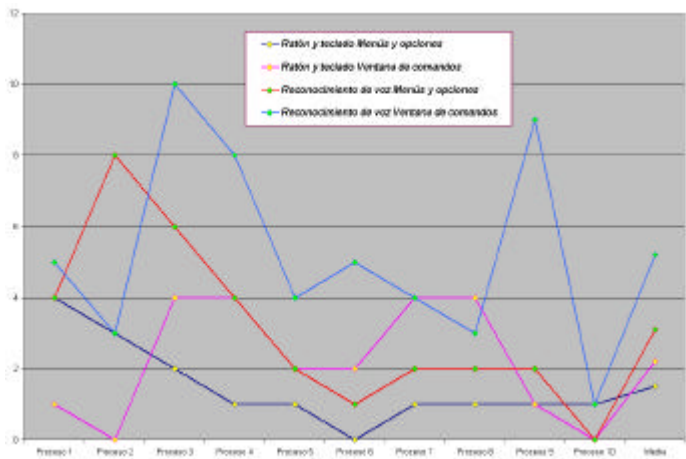


Figura 2: Gráfico de tiempos medios de proceso..



Las conclusiones sobre los datos comparativos obtenidos durante las pruebas resaltan que el incremento de tiempo entre la ejecución convencional o la llevada a cabo con ayuda del sistema de reconocimiento de voz, resulta desmesurado y difícilmente aceptable para el usuario normal. Como conclusión final se puede señalar que el nuevo entorno resulta muy interesante y atractivo, pero que necesita muchas

mejoras de, velocidad de trabajo, precisión del reconocimiento, ampliación de las órdenes verbales, así como un sistema menos rígido de órdenes para el diseño.

#### **4. Un nuevo diseño asistido por ordenador con reconocimiento de voz.**

Una primera forma de resolver la problemática planteada consiste en mejorar ciertas características de la aplicación de diseño asistido por ordenador y del sistema de reconocimiento de voz. Se pueden señalar una serie de, relativamente, pequeños cambios, que pueden hacer que ambos programas resulten más próximos entre sí y trabajen mejor conjuntamente. Estos cambios afectarían esencialmente a:

- Introducción y ejecución de los comandos.
- Manejo del ratón.
- Selección de elementos del dibujo.
- Trabajo con menús, opciones y sub-opciones.
- Trabajo con cuadros de diálogo.

Con esos pequeños cambios, se puede conseguir, si no un entorno nuevo, sí uno más agradable para usar el sistema de órdenes verbales. La ventaja de esta solución es que, al ser pequeños cambios en los programas, éstos pueden ser actualizados por los fabricantes en un plazo relativamente breve de cara a los usuarios. La desventaja es que no deja de ser un parche que puede servir como mucho a corto plazo y que ha de ser revisado a medio o largo plazo.

Una solución más definitiva pasa por hacer una redefinición del diseño asistido por ordenador de manera que su manejo, mediante órdenes verbales impartidas con la ayuda de un micrófono, corresponda a un entorno completamente integrado en la propia aplicación. Es decir, no se trata ya de dos programas separados - diseño asistido por ordenador y reconocimiento de voz - sino de una sola aplicación que incluye la opción de ser manejada mediante órdenes impartidas a través de un micrófono si el usuario así lo desea.

Esta segunda solución debe cumplir con diversas características que se definirían como idóneas para el nuevo entorno y que son:

- Lenguaje natural en el dictado de órdenes de diseños.
- Flexibilidad de respuesta de la aplicación.
- Visualización limpia del modelo objeto de diseño.
- Ayuda interactiva de la aplicación de diseño.

De estas características la más interesante es la primera: la posibilidad de usar un lenguaje natural al dictar órdenes a la aplicación resulta muy sugestiva, aunque ofrece una serie de dificultades difíciles de resolver.

#### **Desarrollo de la nueva aplicación de diseño.**

Atendiendo lo que se ha definido como características idóneas, hay dos maneras diferentes de desarrollar la nueva aplicación de diseño. Ambas implican la inserción de esa interfaz que corrige las órdenes verbales transformándolas en *correctas* desde el

punto de vista de la ortografía de la aplicación de diseño. Estas son: implantación de una interfaz de procesamiento del lenguaje natural y desarrollo de un procesador de órdenes de diseño.

La solución del interfaz de procesamiento de lenguaje natural hace que se alcance plenamente esa característica deseable que se ha definido como lenguaje coloquial. Con esta interfaz es posible dictar las órdenes más “retorcidas” a la aplicación; la herramienta las transforma en órdenes correctas de diseño o pide más información al usuario para poder decidir qué orden quiere ejecutar éste. Incluso puede tener en cuenta el entorno del trabajo añadiendo elementos en función de las órdenes previamente ejecutadas. Por ejemplo, se puede dar una primera orden como *Pintar línea entre los puntos 100,100,100 y 200,200,100* y seguidamente otra orden como *Cambia su color a rojo*. Esta segunda orden, aunque no haga referencia a ninguna entidad, se aplica a la última línea trazada, pues el entorno de trabajo y de las órdenes así se lo indica a la aplicación de diseño. Esta característica - procesamiento del lenguaje natural - es la que definiría la aplicación como auténticamente *amigable* en el sentido más amplio de la palabra. No hay que olvidar que muchas de las dificultades que aparecen en el manejo de las aplicaciones de diseño se dan por la rigidez de sus órdenes. Esta rigidez procede de la complejidad de su manejo. Si se hace desaparecer la complejidad, reduciendo los procesos a tareas de diseño, el proceso se simplifica al nivel que le corresponde; éste nivel ya no depende de la herramienta, sino de la complejidad del trabajo de diseño que se está llevando a cabo.

Desgraciadamente el procesamiento del lenguaje natural hay que situarlo en el futuro y no precisamente inmediato; casi con toda probabilidad no disponible ni siquiera a medio plazo (habrá que ver o largo plazo qué va apareciendo en el mercado). Los sistemas de procesamiento del lenguaje natural están comenzando a desarrollarse experimentalmente y pueden pasar años hasta alcanzar una auténtica implantación en el mercado de las aplicaciones de ordenadores, no solo de diseño industrial.

Una segunda solución al desarrollo consiste en desarrollar una herramienta que, mediante los actuales sistemas de reconocimiento de voz y con la ayuda de un lenguaje de programación, reciba la orden de diseño dictada por el usuario y, a través de un análisis de los términos, seleccione el comando de diseño que se ha de ejecutar. Es decir sería un procesado de órdenes de diseño.

Esta segunda solución es viable pues utilizaría las herramientas que hay en el mercado: sistemas de reconocimiento de voz, lenguajes de programación y aplicaciones de diseño. Las dificultades que puede presentar son relativamente pequeñas debido a que el procesado de las órdenes se haría dentro de un entorno muy limitado, el del conjunto de comandos válidos para determinada aplicación de diseño. Otra cosa es la flexibilidad que se quiera dar al usuario a la hora de dictar las órdenes, pero la limitación a un tipo de órdenes determinado haría que la complejidad del desarrollo fuera aceptable para un equipo de desarrolladores informáticos.

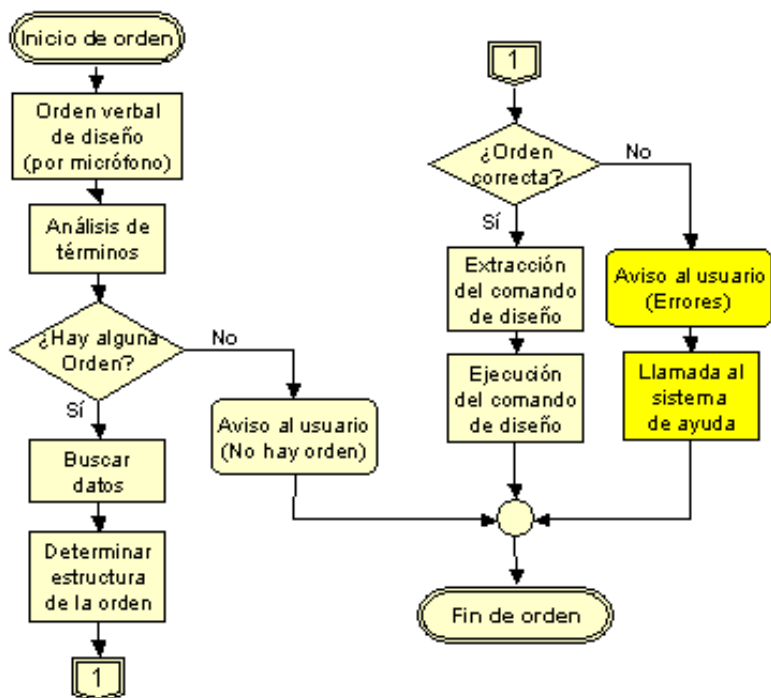
## 5. Definición de la interfaz: orden verbal de diseño - comando

El proceso de dictar una orden se puede explicar de la siguiente forma: cuando se envía una orden para ejecutar una tarea de diseño a la aplicación de diseño, ésta debe ser correcta y completa. Es decir, además de una ortografía perfecta, debe incorporar todos los datos necesarios para completarse. Esto implica un proceso en el que, una vez aceptada la orden por su ortografía correcta, hay que comprobar que incorpora los datos necesarios. Estos datos los define el comando de la aplicación de diseño. La información del comando se extrae de un archivo - o una base de datos - que incorpora la información referente a las órdenes válidas para la aplicación de diseño. Todo esto implica necesariamente que el proceso ha de seguir unos pasos. Éstos son los siguientes:

- 1 - Dictado de la orden verbal de diseño.
- 2 - Análisis de los términos encontrados.
- 3 - Eliminación de términos no reconocidos.
- 4 - Búsqueda de órdenes en base de datos.
- 5 - Determinación de los parámetros para las órdenes encontradas.
- 6 - ¿Son correctas y completas las órdenes?
- 7 - Si son correctas y completas transformarlas en comandos de diseño y ejecutar.
- 8 - Si no son correctas o no están completas enviar el correspondiente mensaje al usuario y llamar a la ayuda.

Todo esto puede verse a través del correspondiente diagrama de flujo (ver ) mediante el cual se definen, a un primer nivel, las diferentes tareas que componen el proceso completo

*Figura 2: Diagrama de la interfaz Orden de diseño - Comando de ejecución.*



debe quedar claro que el proceso no pretende ligar varias órdenes entre sí creando un contexto de trabajo, esto implicaría un control de ese contexto que, aunque posible, puede complicar mucho el desarrollo de la interfaz.

El control de contexto es interesante en el caso de dictar una orden presuntamente incompleta, por faltar información, pero que si se estudia con relación a las anteriores órdenes puede completarse y ser válida para ejecutar. Un ejemplo es el caso de dictado de una primera orden de trazado de una entidad elemental, seguida de otra en la que no se especifica el objeto a manejar, sino sólo alguna propiedad a cambiar. La segunda orden, a falta de la entidad sobre la que aplicar la propiedad, puede seleccionar la entidad de la orden anterior o incluso de varias órdenes anteriores, siempre según el dato que se eche en falta. Este tipo de procesamiento puede estudiarse posteriormente, comprobado el funcionamiento del primer Procesador de órdenes de edición.

En principio, la idea es definir el desarrollo de una interfaz de primer nivel - órdenes simples con todos sus datos. Algo que permite resolver los primeros problemas de definición de las órdenes y sus parámetros. Posteriormente se puede mejorar haciendo que trabaje buscando datos en las órdenes anteriores, es decir, manejando el entorno de trabajo hasta cierto nivel que habría que definir.

## **Las fuentes de información del comando.**

Para poder definir el comando correcto, luego de la recepción de términos, es necesario consultar un conjunto de fuentes de información. Estas fuentes de información - como bases de datos - son las siguientes:

? B. de D. de palabras reconocidas: incluye todas las palabras admitidas por el reconocimiento de voz, sean válidas o no para las órdenes. Es la base de datos que incorporan los actuales sistemas de reconocimiento de voz. Su misión es impedir la entrada de palabras extrañas no reconocidas, en general, por el lenguaje. Este diccionario incluye palabras válidas o no para el diseño, sin embargo, no incluye los nombres de los objetos creados sobre el modelo. Estos nombres pueden ser cosas así: C1, Círculo1, Cir\_01 y términos parecidos.

? B. de D. de términos de diseño: incluye todos los términos aceptados para cualquier tipo de orden verbal de diseño. Si se mira el entorno de la actual aplicación AutoCAD®, son todos los términos válidos que se escriben en la ventana de comandos para cualquier orden más términos no aceptados por la aplicación pero que van a servir para definir correctamente el comando de diseño; por ejemplo, la palabra Trazar no está recogida por una aplicación como AutoCAD®, pero al diseñador sí que le resulta familiar y debe ser aceptada. Esta base de datos debe incorporar, para cada término, información adicional como: clasificación, parámetros que requiere y de qué tipo son éstos. Entre esta información, se incluirá la referente a qué comando correcto hace referencia. Esto es muy importante, pues es el puente entre orden verbal de diseño y el comando de la aplicación de diseño.

? B. de D. de objetos: incluye todos los objetos que se están manejando en el diseño y la información referida a éstos. Servirá para identificar los diferentes objetos

que se manejan durante el proceso de diseño. Esta base de datos debe ser totalmente interactiva con la aplicación para que se vaya actualizando a lo largo del proceso de diseño.

? B. de D. de órdenes de trabajo habituales: una forma de agilizar el trabajo es crear una relación de órdenes de trabajo más habituales. Ésta puede tener como información la terminología más habitual de cada usuario con relación a las órdenes correctas de diseño. Esta relación de órdenes puede estar definida por el usuario de manera que, al trabajar, las órdenes más habituales tuvieran una rápida interpretación y se pueda actualizar a través de las diversas sesiones de trabajo. Es un símil del sistema de paginación de memoria de los ordenadores, pero con la dificultad de que lo que se almacena no son órdenes completas, pues los datos pueden variar casi hasta el infinito, han de ser formatos de órdenes reconocidos por los términos usados sin tener en cuenta ciertos datos.

## **Conclusiones sobre el procesador de órdenes**

Los procesos que forman el conjunto de la herramienta son mucho más complejos que lo que indican los diagramas desarrollados y requieren un trabajo de programación lo suficientemente grande como para ser encarado por un equipo de profesionales. El desarrollo por módulos puede facilitarlo, pero no reduce el volumen de trabajo requerido. Además, es indispensable contar con información que, hoy por hoy, sólo está disponible para el fabricante de la aplicación, como son la forma de almacenamiento en los archivos de las características y nombres de las entidades. Incluso, puede ser necesario un cambio en el formato de los ficheros para su manejo por parte de el procesador de instrucciones. Todo esto depende del fabricante de la aplicación y es una dificultad a tener en cuenta.

## **6. Conclusiones y desarrollos futuros.**

La principal conclusión que se extrae de este trabajo es que no basta una mera integración de aplicación y entorno. Es decir, no basta con poder manejar ratón y teclado de manera más o menos completa con un conjunto de órdenes verbales. Si los cambios que se adivinan en este campo sólo alcanzan este punto... bien venidos sean, pero el desarrollo se quedaría corto. Los cambios deben llevarse a cabo de manera mucho más profunda, de manera que afecten no al mero manejo sino a la metodología completa del diseño. Es decir, no se debe cambiar lo que hace el diseño asistido - que lo hace bastante bien - sino cómo lo hace; se debe hacer diseño de otra manera, y ésta nueva manera debe cumplir una serie de características que se han venido definiendo a lo largo de este documento y que son:

- Sistema coloquial de órdenes.
- Control de objetos.
- Sistema de visualización.
- Sistema de ayuda dirigida al usuario.

Las aplicaciones de diseño, hoy día, forman parte de lo que se define como entorno tecnológico de la industria. Si hace quince años, el número de empresas que



usaban estas herramientas se contaban con los dedos de una mano - valga la expresión - en el momento actual se ha convertido en una herramienta alrededor de la cual ha surgido un completo entorno profesional con proveedores de servicios, fabricantes, suministradores y proveedores de todo tipo de periféricos y programas.

## Referencias

Allen, James - *Natural language understanding* - Benjamin & Cummings Publishing Company, Inc. - EEUU 1995 - ISBN:0-8053-0334-0.

Armored, C - *Choosing and using voice recognition* - 14th International Conference on Technology and Persons with Disabilities. Los Ángeles - Marzo 1999.

Balentine, Bruce and Morgan, David P. - *How to build a speech recognition application* - Enterprise Integration Group - EEUU 1999 - ISBN: 0-9671278-1-5.

Bernal, Jesús; Bobadilla Sancho; Jesús y Gómez Vilda; Pedro - *Reconocimiento de voz y fonética acústica* - RAMA - Madrid 2000 - ISBN: 84-7897-398-2.

Domínguez, Manuel; Espinosa, M<sup>a</sup>. del Mar - *Fundamentos de dibujo técnico y diseño asistido* - Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED - Madrid 2002 - ISBN: 84-362-4348-X.

Jones, D. M., Hapeshi, K., Frankish, C. - *Design guidelines for speech recognition Interfaces*. - Applied Ergonomics, 20, pp. 40-52 - 1990.

Eduardo Lérica Solano - *Reconocimiento automático del habla* - Centro Politécnico Superior - Universidad de Zaragoza - 2001



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENSEÑANZA DE CAD EN LA UNIVERSIDAD ESPAÑOLA

GALLEGO SANTOS, Ramón; RUBIO GARCIA, Ramón; SUÁREZ QUIRÓS,  
Javier; MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago

Universidad de Oviedo, España  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Gijón  
Correo electrónico: ramongs@correo.uniovi.es

### RESUMEN

Durante la década de los 90 todas las Universidades españolas actualizaron los planes de estudio de sus carreras como consecuencia de la entrada en vigor de la nueva Ley Orgánica de Universidades, que introducía el Diseño Asistido por Computador en muchas carreras técnicas. Ahora nos encontramos en un periodo de transición ante los profundos cambios que se avecinan motivados por la implantación del llamado Titulado Europeo modelo Bolonia, que también traerá modificaciones en la misma dirección. Hasta ahora, cada profesor ha utilizado distintas metodologías y herramientas para impartir sus clases de CAD y todos los que tomaron parte en nuestro estudio consideraron muy interesante recopilar toda la información y opiniones más relevantes de todos aquellos que han impartido CAD desde que se aprobó la ley. Se propuso una encuesta que fue enviada a más de 600 profesores buscando información acerca de la asignatura (nombre y temporalización), grupos de prácticas (número de alumnos, propiedad del aula), duración (lo que duran las práctica y lo que deberían durar), programa de CAD utilizado (nombre, actualizaciones, cambiarlo por uno orientado a la enseñanza, utilización de programas paramétricos) y evaluación (cómo se evalúa a un alumno y cómo se debería evaluar).

**Palabras clave:** CAD, docencia, expresión gráfica.

### ABSTRACT

During the 90s, all Spanish universities updated the syllabuses of their courses as a result of the entry into force of the new Organic Law of Universities (*Ley Orgánica de Universidades*) and, for the first time, Computer Assisted Design (CAD) appears in the list of core subjects (compulsory teaching content set by the government) in many of the technical degree courses.

The law opens the door to a new type of "elective" subjects, which are proposed by the Schools or Faculties, and many of which are directly related to CAD.

Since then, each teacher has used different methodologies and tools for teaching CAD. It is very interesting - and this was the comment of all the teachers who participated in the study we carried out - to collect\* all\* the information and most relevant opinions from all the teachers who have been teaching CAD since the law came into force

We proposed a questionnaire, which was sent to over 600 teachers, seeking information about the subject (name and if it was entirely dedicated to CAD) the practice group (number of students, classroom "ownership"), the duration (the time dedicated to the practical classes last and the desirable duration), the CAD program used (name, updates, if they would change it for a teaching oriented program, and whether parametric programs are used) and system of evaluation (how a student is evaluated and how they think students should be evaluated) in order to discover the present state of CAD teaching.

**Key words:** country-specific developments, improving classroom teaching; multimedia/hypermedia systems.

## 1. Introducción

La implantación de los nuevos planes de estudios originados por la LOU [2] ha llegado con bastante polémica a los entornos docentes, pues por un lado recortan sustancialmente el número de horas dedicadas al dibujo y por consiguiente al CAD [5] y por otro, existe una creciente demanda de utilización del CAD. Cada profesor ha intentado poner de su parte con el fin de solucionar la paradoja creada por los nuevos planes de estudio creándose grupos de discusión con el fin de homogeneizar los contenidos [4]. Bajo estas circunstancias el panorama de la enseñanza de CAD en la Universidad española es de lo más variado y conocer las metodologías didácticas de los docentes en materias de CAD puede ser de lo más enriquecedor. A lo largo de los siguientes apartados se analizarán los resultados de una encuesta completada por un buen número de profesores de CAD que engloba distintas cuestiones relacionadas con las metodologías, programas y estructuras de las asignaturas.

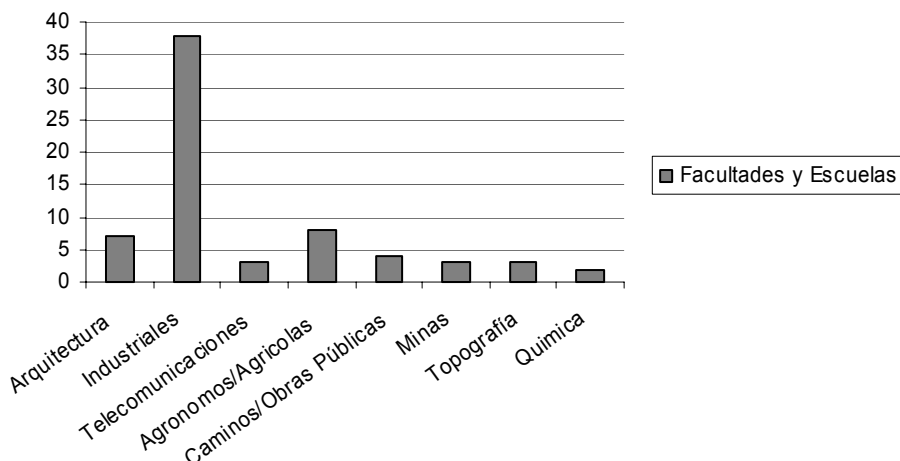
## 2. Titulaciones

Es interesante conocer qué carreras son las que aglutinan la docencia con el fin de observar las necesidades de CAD de cada sector.

Las arquitecturas y las ingenierías, en todas sus ramas, son los estudios donde se imparte el CAD en la Universidad Española; y sobre todo en estas últimas donde tiene presencia en todas como se puede observar en la figura (Figura 1).

Dentro de las ingenierías observamos cómo sobresale la presencia del CAD en la rama Industrial donde tiene un papel fundamental y está presente en la totalidad de las Escuelas de Ingeniería Industrial de España.

Hemos analizado cómo la presencia del descriptor "CAD" en los planes de estudios condiciona de manera muy relevante la presencia de esa materia.



*Figura 1. Escuelas y Facultades donde se imparte CAD*

### 3. Duración de las prácticas

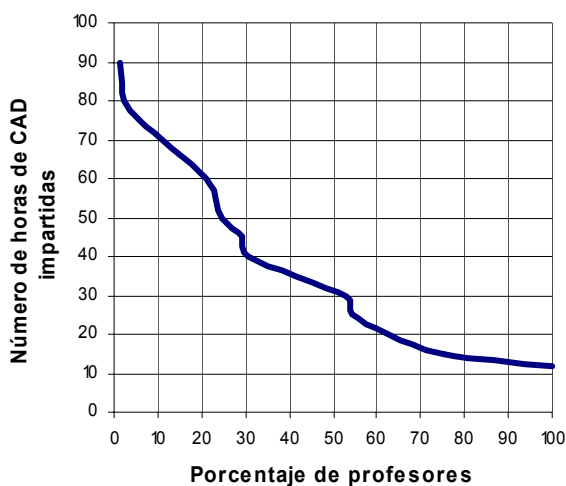
Analizamos a continuación la duración de las prácticas y si los profesores consideran suficiente el tiempo que tienen asignado para impartir clase.

#### Duración de las prácticas

Las asignaturas que aparecen en el BOE tienen adscritas un número determinado de horas de teoría y horas de práctica. Aun así, la duración de las prácticas de laboratorio de CAD es un dato que se desconoce ya que es el Centro, el Departamento o en última instancia el profesor, quien reparte las horas asignadas entre tableros, laboratorios y teoría.

En la figura (Figura 2) observamos cómo hay una variedad enorme en la duración de las clases de CAD, aunque parecen prevalecer los múltiplos de 15, ya que 11, 19 y 13 profesores utilizan 15, 30 y 60 horas respectivamente para sus clases prácticas.

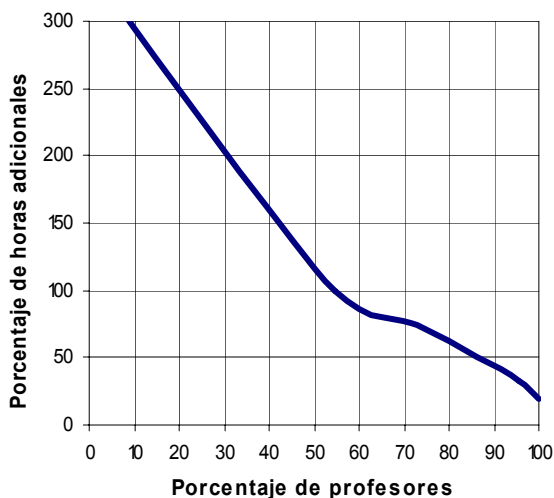
La razón de la disparidad en la duración de las prácticas es debida al peso que tienen en cada una de las asignaturas, parámetro que como analizaremos posteriormente no es impuesto por el profesor de CAD; sino que vienen en muchos casos impuesto por su Jefe de Estudios.



*Figura 2. Horas de CAD impartidas por los profesores*

### Necesidad de más horas

Aunque existen asignaturas de hasta 90 horas de prácticas de CAD, en muchos casos los profesores no terminan de explicar todo aquello que desearían en el número de horas de que disponen. ¿Son suficientes las horas impuestas por la legislación? ¿Cuántas horas más necesitaría un profesor para dar por concluida la materia?



*Figura 3. Incremento de horas que solicitan los profesores para una formación de CAD adecuada*

Dos de cada tres profesores consideran suficiente el número de horas que disponen para impartir las prácticas de CAD. Este resultado indica una gran adaptación por parte del profesorado a los horarios, lo que implica que la materia a impartir es función directa del tiempo que se dispone de docencia. Desde un punto de vista educativo no es bueno ajustar la docencia al tiempo y sí lo es el adecuar un tiempo a una docencia determinada; de todos modos la situación ideal que aquí se plantea es inviable ya que el cuadro horario de las asignaturas que deben cursar los alumnos se vería totalmente alterado. Aun así, el 33% de los profesores necesita más horas para completar su docencia (Figura 3). Casi el 50% de los profesores que demandan más horas para su docencia piden el doble de tiempo, mientras que el resto solicita un número de horas menor, excepto dos de ellos que necesitarían el triple de horas.

## **4. Grupos de alumnos**

### **Número de alumnos por grupo**

El número de alumnos que forman los grupos de prácticas es un dato que también interesa; pues es un indicador de la calidad de enseñanza que se puede impartir. No es lo mismo para un profesor trabajar en un laboratorio de CAD con cinco alumnos donde la atención personalizada es más alta que con treinta alumnos donde ésta disminuye notablemente. En este sentido, hay que tener en cuenta que no todas las Escuelas disponen de aulas con la capacidad suficiente para admitir a más de 25 alumnos y aun pudiendo hacerlo no lo hacen porque consideran que un número mayor de 20 alumnos formaría un grupo muy grande de prácticas si éstas se quieren impartir con calidad.

La mayoría de los grupos de prácticas son de entre 15 y 25 alumnos. Los grupos de menos de 15 alumnos son los menos numerosos, tan sólo son el 5% del total, mientras que los grupos con más de 25 alumnos (a pesar de la teórica escasez de este tipo de aulas) es bastante elevado. Estos alumnos realizan sus prácticas en aulas únicamente dedicadas al CAD en un 33% de los casos.

## **5. El software de CAD**

### **Programa utilizado**

Actualmente existen en el mercado gran número de programas de CAD que se pueden dividir en 4 grandes grupos: 2D, 2D/3D, 3D gama media, 3D gama alta. Dentro del primer grupo encontramos los programas desarrollados para trabajar únicamente en 2 dimensiones. Son los más sencillos pues sólo nos permiten dibujar planos 2D y sus prestaciones no son muy elevadas. Básicamente nos facilitan el trabajo manual aportando herramientas de dibujo bajo soporte informático.

En un nivel superior se encuentran los programas 2D/3D. Se trata de aplicaciones para trabajar generalmente en 2 dimensiones, pero que admiten el paso a 3D. Al no ser programas 3D nativos, el dibujo en 3 dimensiones se ve penalizado con respecto a los 3D más avanzados. El segmento de programas CAD 3D de gama media está formado

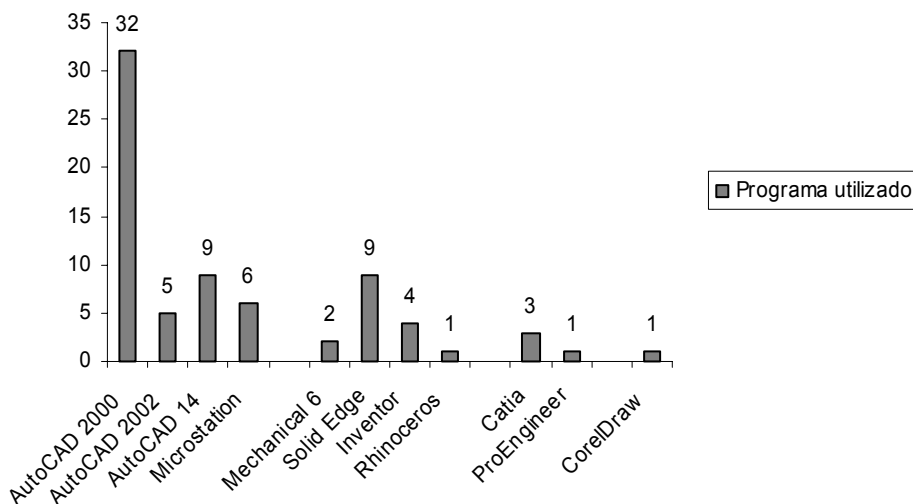
por aplicaciones diseñadas para dibujar directamente en 3D bajo la interfaz Windows. Al tratarse de programas nativos para Windows, el usuario se encuentra con un entorno de trabajo familiar. Generalmente son muy intuitivos y fáciles de manejar con lo que se puede adquirir una alta productividad en un corto espacio de tiempo. Además, la integración de módulos estándar de ensamblajes, chapa, planos 2D, "piping", etc. facilitan la tarea del diseñador. Dentro de este campo (3D) cabe destacar los programas con estructura paramétrica. Este tipo de aplicaciones permiten la introducción de cambios en piezas ya dibujadas de forma rápida y sencilla.

En la cúspide de la pirámide encontramos los programas CAD 3D avanzados. Estos programas poseen opciones más potentes y avanzadas que los anteriores. La mayoría de ellos funcionan en estaciones de trabajo, aunque en algunos casos y en las versiones más recientes pueden funcionar bajo Windows en un PC. Estas aplicaciones nos permiten trabajar superficies avanzadas y sólidos complejos con herramientas y opciones que no poseen los CAD de gama media. Cuentan además con gran cantidad de módulos CAE integrados. Si bien se trata de programas muy potentes y completos también cabe mencionar que su facilidad de manejo se encuentra por debajo de los CAD 3D medios. Por ello, la tendencia de algunas aplicaciones es la de usar la interfaz Windows con la intención de facilitar la adaptación del usuario a la nueva plataforma, muy en la línea de los programas 3D de gama media.

El software utilizado por los profesores no está impuesto por ningún organismo oficial de modo que cada profesor elige con qué herramienta quiere enseñar a sus alumnos CAD. Habría que analizar si los profesores hacen un estudio de las necesidades de sus alumnos de cara a su futuro profesional; porque la mayoría de ellos se ven influenciados por las grandes campañas publicitarias de grandes empresas de diseño que ven cómo el uso de su software, por parte de los futuros ingenieros y arquitectos, lleva a éstos a comprar sus productos cuando pertenezcan en el futuro a una empresa.

Si observamos la figura (Figura 4), los tres primeros programas son versiones del mismo software de AutoCAD de la empresa Autodesk. Sumando sus valores vemos que más del 60 % de los profesores utilizan AutoCAD para impartir CAD. Este programa es el más extendido en el mundo de la educación y es un estándar dentro de mundo del dibujo en dos dimensiones; aunque son muchos los análisis que demuestran que no es el más apto para la enseñanza. Microstation es un programa de la misma gama que AutoCAD (2D/3D) aunque de uso mucho menos extendido.

El siguiente grupo de tres programas es de 3D de gama media y destaca la ventaja que tiene SolidEdge frente a los programas de la casa Autodesk (Inventor y Mechanical). Uno de los programas más conocidos dentro de este grupo es SolidWorks que curiosamente no aparece entre los elegidos por los profesores encuestados. El número total de profesores que utilizan este tipo de programas paramétricos es sensiblemente menor que los que utilizan 2D/3D (15 frente a 52); aún así, la tecnología paramétrica se está introduciendo poco a poco en la enseñanza por exigencias industriales como comentaremos en el apartado siguiente.



*Figura 4. Programas de CAD utilizados por los profesores*

Otro grupo de programas lo forman Catia y Pro/Engineer que forman parte de una gama más alta. Su precio, las exigencias informáticas y su especificidad repercuten en un uso muy restringido por parte de los profesores (4 del total). De todos modos su utilización va en aumento sobre todo debido a la importancia del diseño en las carreras de ingeniería y al acercamiento a la realidad industrial del diseño de nuevos productos y utillajes frente a la tradicional delineación [1].

### **Cambio por la enseñanza.**

Los programas que se utilizan en la enseñanza no tienen un fin educacional; sino industrial. ¿Están entonces indicados para el aprendizaje? Hemos preguntado a los profesores si cambiarían sus programas por otros que estén orientados a la educación; pero antes de comentar los resultados deberíamos aclarar qué se entiende por programas orientados a la enseñanza.

Los programas orientados a la enseñanza son como los coches orientados al aprendizaje de la conducción, disponen de una serie de elementos que facilitan el aprendizaje aunque no se diferencian sustancialmente de otros. Estos programas no están muy extendidos por su reducido ámbito de interés, ya que en el mundo de la industria se tiende a utilizar unos programas en concreto. Las casas comerciales en los últimos años han recuperado el interés por la formación y ofrecen a sus clientes cursos de formación cuando éstos adquieren un número importante de licencias o firman acuerdos de colaboración.



Según los resultados de la encuesta, cerca del 38% de los profesores cambiaría su programa/software de trabajo por uno orientado a la enseñanza. Son unos resultados sorprendentes ya que nos indican que 4 de cada 10 profesores no está del todo contento con su software, que de un modo más o menos acentuado afecta a la metodología de enseñanza-aprendizaje. También existe una tendencia a creer que lo que se está utilizando es lo mejor [3] sin haber hecho un estudio previo de todo el mercado de aplicaciones; estudio que por otra parte no es tan complicado de realizar como en años anteriores debido sobre todo a las versiones de evaluación que las casas comerciales extienden a modo de propaganda.

## 6. Evaluación del alumno

### Importancia en la nota final del alumno

Muchas de las prácticas que realizan los alumnos durante sus estudios forman parte de su nota final en la asignatura. El peso que se les asigna ha ido aumentando en los últimos años según ha ido cambiando la legislación, ya que en la actualidad se tiende a dar mucha más importancia al trabajo diario de los alumnos que al tradicional examen de fin de curso.

La disparidad de criterios es la nota más destacada a la hora de valorar los ejercicios prácticos realizados por los alumnos (Figura 5), aunque podemos observar algunos picos en la gráfica en los valores cercanos al 25%, 50% y 100% de la nota final.

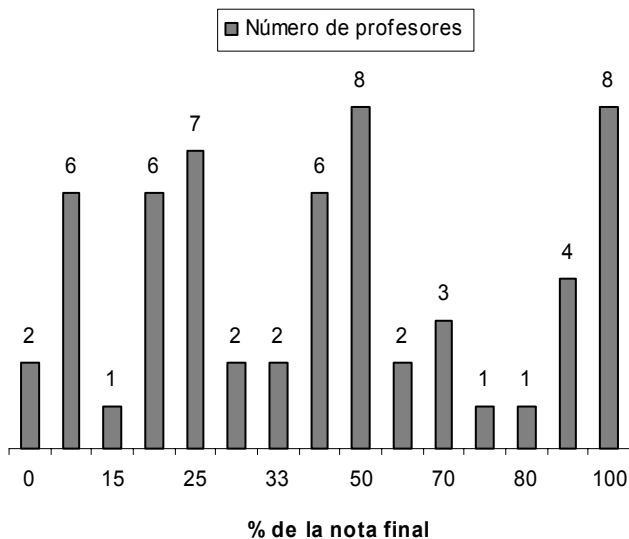


Figura 5. Valor de las prácticas de CAD en la nota final de la asignatura

## Metodología de evaluación

No existe una metodología única en la evaluación de unas prácticas de CAD y muchas veces no se hace un análisis previo de qué se debe evaluar. Queremos recoger en este apartado cómo se evalúa a un alumno de sus conocimientos de CAD. Es un ítem abierto a cualquier respuesta y por tanto complicada de resumir en un gráfico; por tanto comentaremos algunas de las respuestas dadas por los profesores.

Básicamente se distinguen entre todas las respuestas tres grupos con algunas matizaciones. Los profesores evalúan a sus alumnos mediante **prácticas** que corrigen de manera continua (semanalmente) o bien mediante un **examen** final (el alumno frente al computador debe dibujar en un tiempo determinado una figura) o mediante un **trabajo** final de curso.

Pese a esta homogeneización de grupos, cada profesor matiza de alguna forma esta evaluación; por ejemplo, algunos opinan que el trabajo final de la asignatura debería hacerse en grupo y no de forma individual, fomentando así un aspecto cotidiano de la vida laboral como son las relaciones personales en el trabajo. Otros opinan que los trabajos deben tener una secuenciación semanal acompañada de un ejercicio final. En cuanto a la realización de las prácticas, muchos ponen énfasis en el seguimiento continuo que se debe hacer de las mismas tanto en la evaluación como en la dificultad incremental que deben tener los ejercicios.

Los profesores plantearon alguna cuestión acerca de problemas a los que se tienen que enfrentar a la hora de la realización de las prácticas:

- **¿Cómo se pueden evitar las copias?:** Uno de los problemas más comunes en las salas de informática donde se evalúa es el problema de la copia. Los alumnos pueden intercambiarse los ficheros solución por medios electrónicos anulando por tanto la validez de la corrección. Una posible solución reside en la utilización de cuentas personales en las salas de informática; aunque a costa de un trabajo arduo de preparación de las mismas.
- **¿Qué ocurre cuando no hay suficientes computadores?** Muchos profesores no disponen de salas con un número suficiente de computadores y los alumnos tienen que compartir los equipos. Creemos que una educación de calidad parte de unas infraestructuras adecuadas; una carencia de ellas supondría un déficit en la educación de nuestros alumnos; a ningún alumno se le ocurre compartir bolígrafo con un compañero mientras toman apuntes en una clase teórica y así es como debemos ver los computadores, como instrumentos de creación individuales, como nuestros bolígrafos del siglo XXI.
- **¿Estamos evaluando el manejo de un determinado software, de los conocimientos de CAD o de Dibujo?** Algunos profesores consideran el CAD como una herramienta más, y del mismo modo que no se evalúa a un alumno de su manera de escribir con un lápiz y sí de sus conocimientos de Dibujo Técnico no se debe valorar los conocimientos de CAD y sí de lo que realiza el alumno con ellos. Al final la decisión la toma cada profesor según criterios personales valorando más el conocimiento del Dibujo Técnico o del software de CAD.

## 7. Conclusiones

La colaboración de más de sesenta profesores de toda la geografía nacional nos ha permitido conocer cómo se imparte CAD hoy en día en la Universidad. Se ha podido observar cómo los profesores demandan un mayor número de horas para poder desarrollar completamente el temario, así como una cierta inquietud en parte por parte de algunos sectores del profesorado por utilizar programas orientados a la docencia universitaria. Aun así, el mercado sigue copado por grandes marcas industriales entre las que sobresale Autodesk con su software estrella AutoCAD a la cabeza. Los programas paramétricos poco a poco van ocupando las posiciones de los tradicionales 2D, mientras que se observa una valoración muy importante de las prácticas realizadas de CAD dentro de cada asignatura. De todos modos sigue siendo una cuestión a debatir cuál es el mejor método de evaluación.

## Agradecimientos

Sería interminable la lista de todos los profesores y compañeros que nos han brindado su ayuda en la elaboración de este estudio durante los últimos ocho meses dándonos sus puntos de vista y respondiendo desinteresadamente a todas las cuestiones. Por esa razón esperamos que los resultados del estudio hayan servido para darnos cuenta de toda la metodología diferente que se utiliza en la docencia de CAD.

## Referencias

[1] BENITO M. et al. *Diseño asistido por computador en PCs y estaciones de trabajo. Experiencias docentes*. Actas X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. INGEGRAF. Málaga, 1998.

[2] BOE, Boletín Oficial del Estado, *Ley Orgánica de Universidades. Disposiciones generales*. (<http://www.boe.es/boe/dias/2001-12-24/pdfs/A49400-49425.pdf>), 2002.

[3] CADSpaghetti (2003). *Current Issues*. (<http://www.business-advantage.co.uk>)

[4] CONESA, J. et al. *La estructura del aprendizaje en el contexto de los sistemas CAD*. Actas X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. INGEGRAF. Málaga, 1998.

[5] GÓMEZ-ELVIRA, M.A et al. *El sistema tutorial en la docencia de la Expresión Gráfica en los nuevos planes de estudio*. Actas X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. INGEGRAF. Málaga, 1998.

[6] PROTORAPID, *Análisis de software CAD*. (<http://www.protorapid.com>), 2003.

[7] RUBIO, R. et al. *Análisis y desarrollo de una aplicación informática orientada a la comparación de archivos de dibujo*. Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. INGEGRAF. Santander, 2002.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO DE MOBILIARIO URBANO SIGUIENDO LA METODOLOGÍA DE ECODISEÑO

CAMPO RÁMILA, Francisco Jesús (1); FERNÁNDEZ ALCALA, José María (2) ; ARIAS  
COTERILLO, Agustín (3)

<sup>(1)</sup>Universidad del País Vasco, España  
Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
Correo electrónico: epp.ekodiseinu\_gela@lg.ehu.es

<sup>(2)</sup>IHOBE, S.A., España  
Departamento de Producción Limpia  
Correo electrónico: jose\_maria.fernandez@ihobe.net

<sup>(3)</sup>Universidad del País Vasco, España  
Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
Correo electrónico: epparcoa@bi.ehu.es

### RESUMEN

En este proyecto, desarrollado en el Aula de Ecodiseño de la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao, se ha seguido la denominada "metodología de Ecodiseño en 7 pasos", con el objetivo de tener en cuenta la variable medioambiental en la realización del diseño de una gama de productos de mobiliario urbano, constituida por farola, banco, papelera y marquesina, que puedan sustituir a los existentes en la ciudad de Bilbao, reduciendo el impacto ambiental ocasionado. Para ello, en primer lugar se han analizado los factores que han influido en la elección de estos productos para la aplicación de la metodología, se han visto cuáles son los principales aspectos ambientales de los productos existentes y se han generado una serie de ideas que permitan reducir el impacto ambiental asociado a estos productos. De la aplicación de estas ideas, juntos con otros requisitos de carácter técnico ya existentes, ha surgido un pliego de condiciones técnico-ambientales, a partir del cual se han generado 2 alternativas de diseño, para, posteriormente, desarrollar en detalle la que mejor cumplía las especificaciones establecidas. Por último, se ha desarrollado un plan de acción, y se ha analizado la mejora obtenida gracias al menor impacto ambiental de estos nuevos productos.

**Palabras clave:** Ecodiseño, diseño industrial, Análisis de Ciclo de Vida, ACV, Medio Ambiente, aspectos ambientales, impactos ambientales, diseño de producto, lúmenes, milipuntos.

## ABSTRACT

This project, developed in the Ecodesign Workshop of the Faculty of Engineering Bilbao, follows the "Ecodesign Procedure in 7 steps". It must be borne in mind the environmental variable when designing different street furniture products, as a streetlight, a bench, a waste bin and a bus shelter, that can replace the existing products in Bilbao but decreasing the environmental impact. First of all, the factors that have influenced the choosing of these products for the use of this methodology have been analyzed. After deciding which are the main environmental aspects of the actual products, several ideas have been generated in order to reduce the environmental impact associated to these products. Because of the implementation of these ideas and other existing technical requirements, it has been developed a technical-environmental specification and generated two conceptual alternatives of the products on the basis of the said specification. With the alternative that better fulfills the specifications, a detailed definition of the selected concept has been generated to obtain a final design. In the end, it has been established an action plan at the level of the products and evaluated the environmental improvements of these new products compared with the basis products.

**Key words:** Ecodesign, industrial design, Life Cycle Assignment, LCA, environment, environmental aspects, environmental impacts, product design, lumens, milipoins.

## 1. Introducción

Este proyecto titulado "Diseño de mobiliario urbano siguiendo la metodología de Ecodiseño", es el resultado de la realización de prácticas de cooperación educativa en el Aula de Ecodiseño de la Escuela de Ingenieros de Bilbao. Este aula de investigación, constituida el 26 de diciembre de 2002, surge de la colaboración de 3 entidades: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, adscrita al Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, DZ-Centro de Diseño Industrial, Sociedad Pública del Departamento de Promoción Económica de la Diputación Foral de Bizkaia, y la Universidad del País Vasco a través de la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao.

Los objetivos que pretende la creación de este Aula de Ecodiseño son, entre otros, dar formación en Ecodiseño, constituir un banco de datos de Ecoindicadores dentro del País Vasco, crear herramientas informáticas con datos técnicos y medioambientales adaptados al País Vasco, desarrollar proyectos teóricos en Ecodiseño (ámbito en el que se ha desarrollado este proyecto), trabajar en coordinación con otras universidades europeas, y llegar a constituirse en referente estatal en las tareas de investigación en Ecodiseño.

Mediante la realización de este proyecto se han querido conseguir varios objetivos. En primer lugar, ha servido como proyecto de fin de carrera para Francisco J. Campo, con lo cual ha finalizado sus estudios de Ingeniería Industrial en la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao. Por otra parte, ya desde la primera etapa de preparación del proyecto, se ha pretendido que sirva de ejemplo de utilización de la "metodología de Ecodiseño en 7 pasos" promovida por IHOBE a través de su publicación "Manual práctico de Ecodiseño" [1], tanto para futuros proyectos teóricos

realizados dentro del Aula de Ecodiseño, como para proyectos realizados en el ámbito empresarial. El fin último de la metodología, y por tanto de este proyecto, es el introducir la variable medioambiental dentro del proceso de diseño industrial tradicional, a fin de conseguir productos que tengan un impacto ambiental menor, y por lo tanto, sean más respetuosos con el Medio Ambiente.

La elección de productos de mobiliario urbano como objeto de diseño, se realizó debido a que estos productos podían resultar "accesibles" a la mayoría de la Sociedad, pues se trata de productos con los que todos convivimos, y que pueden servir como ejemplo sencillo de aplicación de la metodología, sin necesidad de tener unos conocimientos técnicos específicos, que quizá hubieran sido necesarios para entender el proyecto, en el caso de que el diseño se hubiera realizado para productos industriales mas complejos. Otro de los motivos de elegir este tipo de productos, es el creciente interés de la sociedad en temas medioambientales, y se ha valorado el diseño de mobiliario urbano, en tanto que son las Instituciones Públicas (Ayuntamientos, Diputaciones,...), titulares y responsables de la utilización de estos productos en nuestras ciudades, las primeras que deben tener en cuenta la demanda social existente, y estar concienciados con el cuidado del medio ambiente. Asimismo, nos hemos fijado en las actuaciones que se llevan a cabo en otras ciudades, como por ejemplo Barcelona, donde a día de hoy, ya se exige que este tipo de productos hayan sido sometidos a un Análisis de Ciclo de Vida, para comprobar el impacto ambiental que va a conllevar su utilización

## **2. Diseño de mobiliario urbano siguiendo la Metodología de Ecodiseño**

### **2.1 Descripción de la metodología**

Ecodiseño significa que el Medio Ambiente es tenido en cuenta durante el proceso de desarrollo de productos, añadiendo este factor adicional, a los que tradicionalmente se analizan (costes, calidad, seguridad,...). El objetivo del Ecodiseño, es reducir el impacto ambiental del producto a lo largo de todo su ciclo de vida, entendiendo éste, como todas las etapas de la vida de un producto, desde la extracción de materias primas para su posterior fabricación, hasta la eliminación del producto una vez que es desechado. La metodología aplicada a la hora de realizar este proyecto, es la denominada "metodología de Ecodiseño en 7 pasos" promovida por IHOBE a través de su publicación "Manual práctico de Ecodiseño" [1].

En una primera etapa, se seleccionan el equipo de trabajo y el producto a ecodiseñar, y se investigan cuáles son los *factores motivantes* para hacer Ecodiseño. El siguiente paso, realiza un análisis de los principales aspectos ambientales del producto en todo su ciclo de vida, ayudados por herramientas como la Matriz MET, de carácter cualitativo, y los Ecoindicadores, que tienen carácter cuantitativo.

El tercer paso de la metodología consiste en generar una serie de ideas que den respuesta a los factores motivantes y mejoren los aspectos ambientales del producto, para que en la cuarta etapa, se desarrolle un pliego de condiciones técnico-ambiental que permita la generación de alternativas conceptuales del producto, que se valorarán,

eligiendo aquella que mejor cumpla con los condicionantes impuestos. Durante la quinta etapa, se desarrolla la alternativa seleccionada a detalle, de forma que quede lista para ser llevada a producción.

En la sexta etapa de la metodología se desarrolla un plan de acción a medio y largo plazo para el producto, en base al cual se puedan aplicar algunas de las ideas generadas en la tercera etapa, pero que se desestimaron por no ser viables en ese momento. Además, se genera un plan para integrar definitivamente el Ecodiseño en las herramientas de diseño de la empresa, así como en las herramientas de gestión que pudieran existir (ISO 9002, ISO 14001,...). Por última, en la séptima etapa se realiza una evaluación de los resultados obtenidos de la aplicación del Ecodiseño.

## **2.2 Interiorización de la metodología en la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao (ESI)**

El Programa Marco Ambiental de la CAPV – Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible 2002-2020 aprobada en el Consejo de Gobierno Vasco de fecha 4 de junio de 2002, recoge los principios, objetivos y compromisos básicos de la política ambiental del País Vasco. Entre estos objetivos figura el de incitar al mercado a actuar a favor del medio ambiente. Para ello se fija el objetivo de establecer en la Comunidad Autónoma del País Vasco una estrategia integrada sobre el Producto que impulse incentivos a favor de productos respetuosos con el medio ambiente.

Este compromiso implica la necesidad de desarrollar herramientas e infraestructuras que permitan introducir y facilitar la aplicación del Ecodiseño en la industria vasca. Es por este motivo por el que se crea el Aula de Investigación en Ecodiseño en la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao, con la colaboración entre la Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, el Centro de Diseño Industrial DZ y la propia Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao.

El fin último del Aula de Investigación en Ecodiseño, es la promoción y dinamización del Ecodiseño y de la integración de criterios ambientales en el diseño de productos. Para ello, se han fijado como objetivos:

- **Dar formación en Ecodiseño:** Mediante una formación teórica y unas labores de investigación y colaboración con empresas industriales, se pretende formar a alumnos del último curso de la ESI, quienes serán en un futuro, responsables de fabricación de productos, respondiendo así a la demanda realizada por el tejido empresarial sobre profesionales cualificados en esta materia.
- **Constituir un banco de datos de Ecoindicadores dentro de la CAPV:** Estas herramientas de evaluación de los aspectos ambientales, de carácter cuantitativo, son de gran aceptación entre las empresas por su fácil comprensión y manejo. Por ello se pretende desarrollar nuevos Ecoindicadores adaptados a las características del tejido empresarial vasco.
- **Crear herramientas informáticas con datos técnicos y medioambientales:** o bien alimentar las ya existentes, de forma que sea posible buscar alternativas a

materiales poco respetuosos con el Medio Ambiente en base a características técnicas.

- **Desarrollar proyectos teóricos en Ecodiseño:** Se pretende que la realización de proyectos teóricos sirva como base formativa y de divulgación de la metodología, así como para integrar y afianzar esta última en el proceso de diseño tradicional. Además, se pretende que estos proyectos, una vez aceptados por la ESI, sirvan a los alumnos como proyectos de fin de carrera.
- **Trabajar en coordinación con otras universidades europeas:** quizá más avanzadas en lo referente a investigación en ecodiseño, de forma que se pueda crear un Centro de Documentación en Ecodiseño, que sirva al Aula para ser un referente a nivel estatal en este campo.

## **2.3 Proceso de diseño y aplicación de la metodología**

Tal y como se ha citado en la introducción del presente documento, la metodología aplicada para el desarrollo del diseño consta de 7 etapas:

### **Etapas 1: Preparación del proyecto y determinación de los factores motivantes**

El primer paso ha consistido en la elección del equipo de trabajo, así como la de los productos a ecodiseñar, que en definitiva son: farola, banco, papelería y marquesina de autobús.

Los factores motivantes que nos han llevado a la aplicación del ecodiseño para esta gama de mobiliario urbano son de diversa índole, pero entre los más significativos cabe resaltar los siguientes. Desde el punto de vista administrativo, citar la posible aparición de legislación referente a contaminación lumínica. En el tema social, la necesidad de diseñar productos más ergonómicos, así como el mejorar la accesibilidad de éstos para personas discapacitadas. Si nos referimos al tema económico, surge la intención de crear productos que impliquen un menor costo en su utilización. Desde el punto de vista funcional, se detectan múltiples fallos de diseño que nos animan a realizar un rediseño de estos productos.

### **Etapas 2: Determinación de los aspectos ambientales**

En esta etapa se ha realizado un análisis de los aspectos ambientales de nuestros productos a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, para poder determinar cuáles son los más significativos, y por lo tanto, incidir en ellos para reducir el impacto ambiental que llevan asociado.

Este análisis se ha realizado utilizando dos herramientas. Por un lado, la matriz MET, que es una herramienta de tipo cualitativo, y cuya utilización depende en gran parte del conocimiento que se posea del tema ambiental. Por otro lado los Ecoindicadores, que constituyen una herramienta cuantitativa de fácil utilización, pero que tienen el problema de que no existen Ecoindicadores para todos los productos y procesos. Sin embargo, la utilización conjunta de ambas herramientas permitió



compensar las deficiencias, llegando a encontrar los aspectos ambientales más significativos de cada producto, como queda reflejado en la tabla 1.

Tabla 1: Aspectos ambientales significativos

Producto	Aspectos ambientales de producto
Farola	Consumo eléctrico, bombillas, acero, cimientos
Banco	Madera, barnices, fin de vida (vertedero)
Papelera	Acero, galvanizado en caliente, limpieza periódica
Marquesina	Consumo eléctrico, fluorescentes con metales pesados, aluminio

Etapa 3: Generación de ideas de mejora

Una vez definidos cuales eran los puntos sobre los que teníamos que actuar, se realizó una generación de ideas a través de un *brainstorming*, trabajando apoyados por la herramienta denominada “Las 8 estrategias del ecodiseño”.

El resultado de la sesión fue un listado de ideas a aplicar para cada producto. Sin embargo, todas las ideas no podían ser aplicadas, por lo que se realizó una valoración, a fin de descartar aquellas que fueran inviables, y definir el plazo de aplicación del resto, tal y como se muestra en la tabla 2:

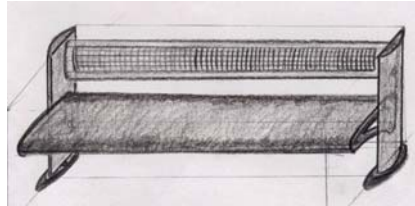
Tabla 2: Priorización de las ideas generadas. Banco

Medidas Seleccionadas	V.Técnica	V.Financiera	Beneficios M.Ambiente	Respuesta F.Motivantes	Priorización
<i>Obtención y consumo de materiales</i>					
Eliminar madera	2	0	2	1	<b>CP</b>
Usar piedra tallada	2	0	0	1	<b>LP</b>
Uso de hormigón polimérico	2	-1	2	1	<b>CP</b>
Uso de barras de hormigón polimérico (posee cierta flexibilidad)	2	-1	2	1	<b>MP</b>
Rango de prioridad de menor a mayor: -2, -1, 0, 1, 2			LP: Largo plazo; MP: Medio Plazo; CP: Corto Plazo		

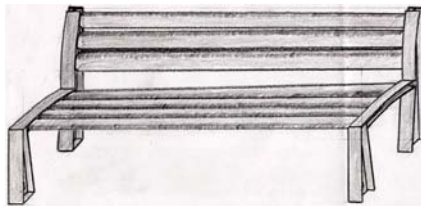
#### **Etapla 4: Desarrollo de alternativas**

Se ha realizado un pliego de condiciones en el que se reflejan tanto las especificaciones técnicas de los productos, como las consideraciones ambientales que deben cumplir, y que son el resultado de la generación de ideas de la etapa anterior.

En base a este pliego, se desarrollaron 2 alternativas de diseño. Como muestra de las alternativas generadas podemos apreciar las realizadas para el banco en las figuras 1 y 2.



*Figura 1: Banco alternativa A*



*Figura 2: Banco Alternativa B*

Estos diseños se valoraron tanto en base al cumplimiento del pliego de condiciones, como a otros criterios, llegando a la elección de la alternativa con la que en las etapas posteriores se continuó trabajando.

#### **Etapla 5: Desarrollo del producto en detalle**

Esta etapa consistió en la definición de los cuatro productos a detalle. Se diseñaron cada una de las piezas que los constituían, así como la forma de ensamblarlas, para llegar al producto final. Se cuidó especialmente la ergonomía, teniendo en cuenta las dimensiones antropométricas, de acuerdo con las tablas pertenecientes a “New Horizons for Human Factors in Design” de R. Dale, [2]. También se hizo un cuidadoso estudio de las dimensiones necesarias para la correcta utilización de los productos por parte de personas discapacitadas, siguiendo las recomendaciones de las Naciones Unidas en su página web, [www.un.org/esa/socdev/enable/designm/AD1/03.htm](http://www.un.org/esa/socdev/enable/designm/AD1/03.htm), [3] .

Los productos completamente definidos se modelizaron en 3D con un programa de CAD, y se realizaron planos constructivos con vistas ortográficas y perspectivas, de forma que éstos pudieran ser llevados a la etapa de fabricación.

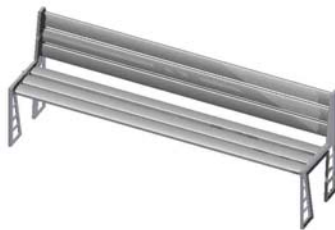
El diseño final de los elementos se puede observar en las figuras 3, 4, 5 y 6.



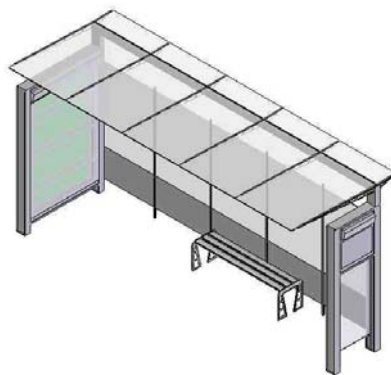
*Figura 3: Farola*



*Figura 4: Papelera*



*Figura 5: Banco*



*Figura 6: Marquesina*

## **Etapla 6: Desarrollar un plan de acción**

En la tercera etapa, varias de las ideas generadas se desecharon debido a que eran inviables a corto plazo. Sin embargo, se planteó su viabilidad a medio o largo plazo. Para conseguir aplicar estas ideas, en esta etapa se ha desarrollado un plan de acción a medio y largo plazo, en el que se definen las medidas a tomar para la futura aplicación de estas ideas, quién es la persona encargada de llevarlas a cabo, y cada cuanto tiempo debe realizarlas.

Esto se puede apreciar de una manera más clara en la tabla 3, para el caso del banco.

Tabla 3: Detalle del plan de acción

Banco				
Medidas de mejora	Plazo	Acciones	Responsable	Plazo y periodicidad
Usar piedra tallada	MP	Chequear aparición nuevos materiales	Dpto. Compras	Chequeos semestrales
Utilizar barnices en base acuosa	MP	Investigar disponibilidad nuevos barnices	Dpto. Compras	Chequeos trimestrales
Banco de una pieza	MP	Rediseño interno	Dpto. Técnico	Seis meses de plazo
Combinar uso con jardineras,...	MP	Rediseño interno	Dpto. Técnico	Seis meses plazo
Banco corrido (mismo anclaje para varios bancos)	MP	Investigar nuevos anclajes	Dpto. Técnico	Un año de plazo

Etapa 7: Evaluación del Proyecto

Ésta es la última etapa de la metodología, consistente en evaluar las mejoras medioambientales obtenidas de la aplicación del Ecodiseño, así como el cumplimiento de los factores motivantes por parte de los productos diseñados.

Para la realización de la evaluación se ha utilizado la herramienta software denominada “Ecoscan 3.0”, que nos permite la realización de análisis de ciclo de vida simplificados. El resultado de estos análisis es el impacto ambiental, medido en milipuntos\*, que los productos van a originar a lo largo de todo su ciclo de vida. Estos resultados han de ser utilizados como herramienta interna, no debiendo utilizarse como herramienta de “marketing verde”.

Tomando como ejemplo el banco, en la figura 7 se puede apreciar la mejora obtenida desde el punto de vista del impacto ambiental ocasionado.

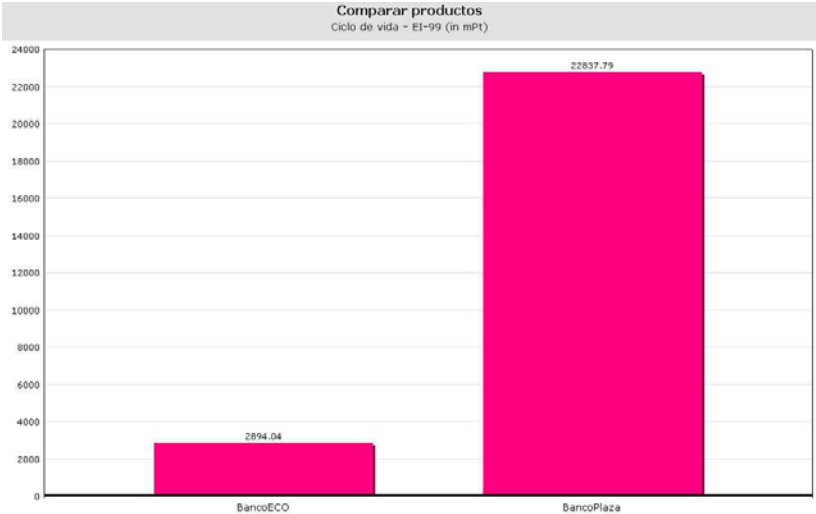


Figura 7: Banco. Comparativa impacto ambiental

Para dar a conocer al público general las bondades medioambientales de los productos diseñados es mejor optar por un análisis enfocado en criterios de más fácil comprensión. A modo de ejemplo, para el caso de la farola, podemos afirmar que el nuevo modelo origina una mejor iluminación (mas lúmenes en el plano de visión), para lo cual necesita un consumo energético inferior en un 25%, lo que a su vez implica un beneficio económico. Además, la utilización de materiales como el acero inoxidable, que no necesita recubrimientos, nos ha permitido obtener una reciclabilidad superior al 90 %.

\* **NOTA:** *Milipunto = milésima parte de la unidad “punto Eco-indicador”. Un “punto Eco-indicador” representa la centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo.*

### **3. Conclusiones o Consideraciones Finales**

Como conclusión de este proyecto se puede afirmar que la aplicación de esta metodología permite tener en cuenta la variable ambiental , sin tener que modificar en exceso el proceso tradicional de diseño de producto, tal y como se entiende éste en el “Manual de Gestión de Diseño” de DZ, [4].

Los productos obtenidos mediante los diseños realizados con esta metodología, ocasionarán un impacto ambiental menor a lo largo de todo su ciclo de vida, pues hemos considerado los aspectos ambientales significativos de todas las etapas, desde la obtención de materia prima, hasta el fin de vida del producto.

La generación de un plan de acción a medio y largo plazo nos permitirá, además, incidir sobre aspectos ambientales que en el momento de la realización del proyecto eran inviables, por lo que nuestro diseño mantendrá un carácter dinámico, reduciendo su impacto ambiental a medida que vayamos desarrollando el plan de acción.

### **Referencias**

- [1] *“Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos”*. IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Medioambiental. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Noviembre de 2000.
- [2] *“New Horizons for Human Factors in Design”*. R. Dale Huchingson. McGraw-Hill. 1981.
- [3] <http://www.un.org/esa/socdev/enable/designm/AD1/03.htm>.
- [4] *“Manual de Gestión de Diseño”*. DZ, Centro de Diseño Industrial. Diputación Foral de Bizkaia. Año 1999.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CORRECCIÓN DE LA PERSPECTIVA EN LA FOTOGRAFÍA

HERNÁNDEZ ABAD, Francisco; HERNÁNDEZ ABAD, Vicente; OCHOA VIVES, Manuel;  
FONT ANDREU, Jordi; SELLARÉS CAMPRUBÍ, Marc

Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Terrassa  
Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería  
Correo electrónico: fhernandez@ege.upc.es

### RESUMEN

La presente comunicación parte de la base del funcionamiento de la cámara de banco óptico en lo que concierne a la corrección de la perspectiva dentro del campo de la fotografía.

Se consideran y analizan las posibilidades que ofrecen algunos sistemas actuales de tratamiento digital de imágenes para intentar reproducir las características de las perspectivas conseguidas a través de este tipo de cámaras.

La cámara de banco óptico es un sistema totalmente flexible, que nos permite obtener el máximo control sobre la geometría y nitidez de la imagen, y la utilizamos para facilitar la comprensión de los conceptos y sus fundamentos geométricos.

Por último, se hacen comparativas con las correcciones de perspectiva que ofrece la cámara de banco óptico y se exponen las conclusiones pertinentes.

**Palabras clave:** Cámaras, Geometría, Perspectiva, Tratamiento digital, Simulación, Realidad virtual.

### ABSTRACT

The present communication leaves of the base of the operation of the camera of optic bank concerning the correction of the perspective inside the field of the photography.

They are considered and they analyse the possibilities that they offer some current systems of digital treatment of images to try to reproduce the characteristics of the perspective.

The camera of optic bank is a completely flexible system that allows us to obtain the maximum control about the geometry and clarity of the image, and we use it to facilitate the compression of the concepts and its geometric foundations.

Lastly, they become comparative with the perspective corrections that offers the camera of optic bank and the pertinent conclusions are exposed.

**Key words:** Cameras, Geometry, Perspective, Digital Treatment, Simulation, Virtual Reality.

# 1. Introducción

Como es sabido, la cámara fotográfica, tanto analógica como digital, se basa en los principios de la cámara oscura, que a su vez se fundamenta en los conceptos geométricos de la perspectiva cónica para obtener las imágenes. Es posible establecer una equivalencia entre elementos básicos de la cámara y sus homólogos en la perspectiva cónica, a saber:

La película en la cámara fotográfica, equivalente al plano del cuadro y el objetivo de la cámara (simplificado a una sola lente), equivalente al punto de vista.

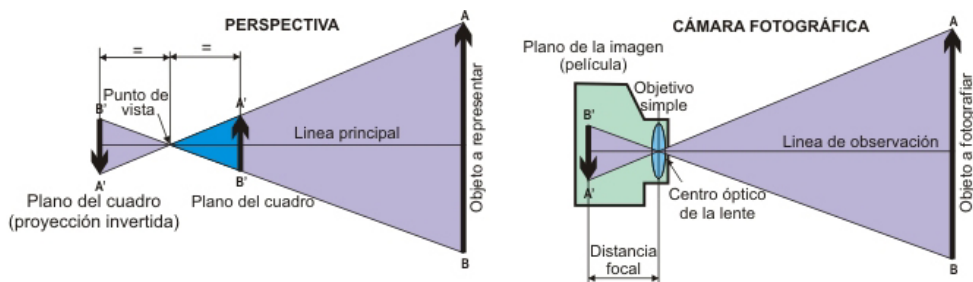


Figura 1

En las perspectivas cónicas adquieren especial importancia, por diferentes razones, los puntos de fuga correspondientes a las tres direcciones principales del espacio, que frecuentemente están definidas por las direcciones X y Y perpendiculares entre si y contenidas en un plano horizontal, y la dirección Z, perpendicular éste, y por lo tanto vertical. La posición natural del cuerpo al contemplar los objetos en la lejanía, hace que las imágenes donde los elementos verticales son convergentes aparezcan como si estuvieran deformados.

En la cámara, si el plano donde se produce la fotografía no permanece perpendicular al plano del suelo, producirá en la imagen la fuga de la dirección Z que define la verticalidad, como consecuencia se observarán en la imagen las líneas verticales convergentes en mayor o menor medida en función de la proximidad de la localización del punto de fuga. Salvando las diferencias, esto es algo que también pasa en el proceso de la visión, aunque frecuentemente no tomemos conciencia de su percepción, dado que nuestro cerebro se encarga de corregir dicho efecto.

Por ello, los fotógrafos se esfuerzan en realizar sus fotografías de manera que no aparezca el mencionado efecto que suelen denominar paralaje, al objeto de que sus resultados se perciban como más naturales. Reservando la recreación del efecto para un uso creativo, cuando el objetivo es maximizar o minimizar la sensación de profundidad o distorsionar la apariencia de los objetos para dotarles de valores expresivos que aporten significados connotativos, como la apariencia amenazadora o minimizar la profundidad.

## 2. Corrección del paralaje al hacer la fotografía

Para conseguir que las líneas que representan la dirección vertical del espacio sigan siendo verticales y paralelas en la fotografía, basta con mantener la cámara de manera que la película permanezca perpendicular al suelo, o paralela a la dirección vertical del motivo fotografiado, algo relativamente fácil de controlar en cualquier momento, pero aún más si se utiliza un tripode.

El problema aparece cuando el poder de cobertura de la lente no es capaz de abarcar todo el motivo que se pretende fotografiar y tampoco se dispone de la distancia de separación necesaria para que pueda entrar en su campo visual después de haber agotado otros objetivos de mayor cobertura y sin recurrir a un gran angular que también conduce a deformaciones no deseables.

En tales circunstancias, aún queda el recurso de utilizar cámaras especiales, como la que se muestra en la figura 2, junto a sus efectos.

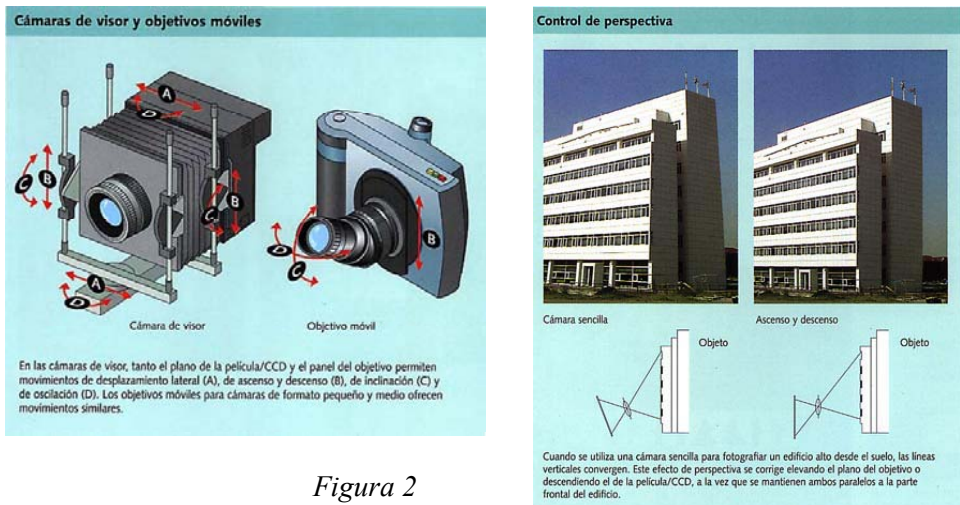


Figura 2

Se trata de cámaras que disponen de un objetivo articulado que permite orientarlo, modificando así el campo visual para que pueda abarcar íntegramente el motivo seleccionado, manteniendo la cámara perpendicular al suelo y por lo tanto corrigiendo el problema del paralaje. El problema se complica cuando se trata de corregir el paralaje en una fotografía ya realizada, existiendo varias posibilidades como son la utilización de la cámara de banco óptico o mediante la utilización de la tecnología digital.

## 3. Cámara de banco óptico

La cámara de banco óptico, representada en la figura 3, consiste en una cámara cuyos elementos básicos están articulados permitiendo realizar movimientos de



desplazamiento y rotación, con lo que se posibilita modificar la orientación y distancia entre los elementos que la componen.



*Figura 3*

Las particularidades de la cámara permiten multitud de variaciones y sus correspondientes aplicaciones, y entre ellas, refotografiar de nuevo la fotografía manteniendo el mismo punto de vista de la fotografía original, con lo cual se restablece la pirámide visual. Esto permite modificar la posición del plano focal donde se halla la película, de manera que la nueva posición sea una sección de la mencionada pirámide visual. Como consecuencia, se puede corregir el paralaje sin que se produzcan deformaciones.



**Original**



**Corregida con cámara  
de banco óptico "in situ"**



**Corregida refotografiando con  
la cámara de banco óptico**

*Figura 4*

En estas circunstancias, la posición de la película se puede orientar para corregir la perspectiva, aunque. Si es mucha la convergencia a corregir, el ángulo que deberá formar el plano de la película respecto del eje visual, equivalente a la línea principal en la perspectiva, será elevado, por lo que se pueden generar problemas adicionales de foco (se podrían observar partes desenfocadas en la nueva imagen, que corregiría la perspectiva pero empeorando susceptiblemente la calidad).

También cabe destacar que refotografiar una imagen no será válido si se utiliza una cámara fija convencional, modificando la inclinación de la fotografía, que actúa como símil de la realidad, dado que generará su propia pirámide visual.

#### **4. Corrección digital**

Otra posibilidad para corregir el paralaje, a partir de la imagen fotográfica ya realizada, consiste en recurrir a aplicaciones informáticas de tratamiento digital de imágenes creadas para este fin. En este caso, partimos de la imagen digital adquirida directamente de la cámara o a través de un escáner. En el segundo caso esto supone un deterioro de la imagen, ya sea en características del color (virajes de color, balance de blancos etc.), deformaciones geométricas o en la calidad de detalle.

Todo programa informático de tratamiento digital de imagen que se precie, incorpora herramientas específicamente programadas para corregir el paralaje.

Tanto las herramientas que incorporan por defecto los programas informáticos, como las implementadas como plugins desarrollados por terceros (verdaderos programas elaborados específicamente con el objetivo de corregir la perspectiva), se basan en la deformación de la imagen, pudiéndose distinguir básicamente tres métodos: los que sólo deforman, los que deforman y además aplican complicadas relaciones geométricas de proporcionalidad y los que además incorporan parámetros fotográficos. Seguidamente analizaremos los tipos más significativos, dejando de lado las que simplemente deforman dado que por su simplicidad resulta evidente comprender su funcionamiento y, si bien pueden corregir la perspectiva, lo hacen de manera tan burda que destrozan todo parecido con la imagen real, por lo que acaban perdiendo su utilidad para el propósito perseguido.

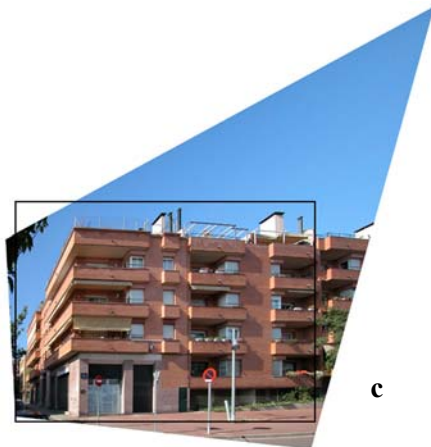
En las deformaciones de imágenes digitales que implican añadir o eliminar píxeles, intervienen procesos que se realizan a través de algoritmos de interpolación que se debaten entre la obtención del mejor resultado posible y el menor tiempo de procesado. En cualquier caso, son siempre procesos que conllevan una pérdida de calidad de la imagen, que se evidencia en un efecto de desenfoco más o menos pronunciado o en una pérdida de detalle que puede llegar a la pixelación.

Un buen ejemplo de este caso lo constituye la herramienta “perspectiva” del programa Photoshop de Adobe, un estándar en el campo del tratamiento digital de imágenes, y por ello, similar a otros como Photopaint de la suite de Corel. Se trata de

una herramienta que a su vez está implementada de forma directa como opción en la herramienta “recortar”, o indirecta, con algunas modificaciones como en el comando “distorsionar”.



**a**



**c**

**b**

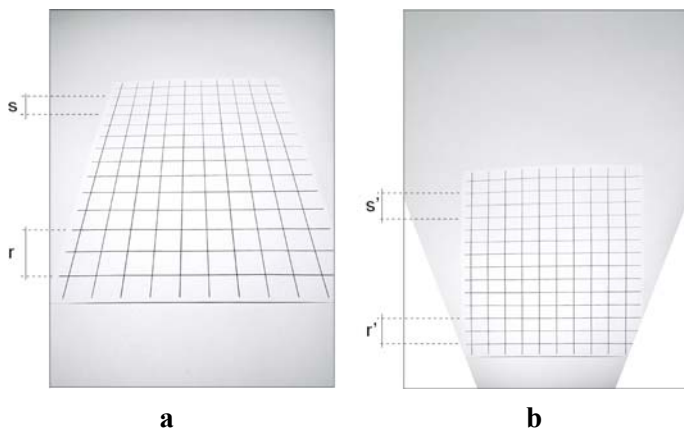


*Figura 5*

Al aplicar la herramienta “transformar perspectiva” a la imagen aparece a su alrededor un cuadrilátero con 8 nodos, 4 en los vértices y 4 más en los puntos medios de los lados. Si seleccionamos cualquier nodo de los vértices solo podremos desplazarlo en la misma dirección del lado y de forma proporcional el vértice opuesto también se desplazará en sentido contrario, mientras que si seleccionamos un nodo central podremos desplazar todo el lado. Con estos sencillos movimientos es posible corregir cualquier perspectiva. En la figura 5 se puede apreciar la aplicación de esta herramienta a una imagen, en la que puede pasar desapercibido, que a la vez, que se realiza la transformación, y según como ésta se realice, la imagen se deforma, alargándose, acortándose o ensanchándose proporcionalmente.

Para explicar gráficamente el proceso, se ha realizado la fotografía de una cuadrícula, con igual espaciado vertical que horizontal e inclinada respecto a la película, de manera que se produce la fuga de las líneas verticales (figura 6a).

Seguidamente se ha aplicado la herramienta “perspectiva” con el fin de corregir el paralelismo de las líneas verticales (figura 6b).



*Figura 6*

Hay que resaltar que con una deformación simple podríamos corregir el paralelismo pero no se alteraría la separación entre las líneas horizontales, cada vez más próximas por el efecto de la profundidad en la perspectiva. Sin embargo, como se puede observar en la figura 6b, con la corrección mediante “perspectiva” también se ha conseguido corregir el efecto de la profundidad, llegando las líneas horizontales a mantener el mismo espaciado que las líneas verticales, como en el objeto original.



*Figura 7*

El inconveniente es que, en el resultado final, la cuadrícula ha perdido la proporción original, algo que, en este caso no resultaría difícil de restablecer dado que conocemos las dimensiones originales, pero que sería muy difícil o imposible en una imagen de la que no tuviéramos referencias dimensionales. Corroborar este hecho comprobando que es posible aplicar la herramienta de diferentes formas para obtener resultados con corrección de la perspectiva pero con diferentes proporciones (figura 7). Desde el punto de vista geométrico el resultado es equivalente a girar el plano de la imagen hasta dejarlo perpendicular a la dirección de observación, mientras nos alejamos o acercamos a él.

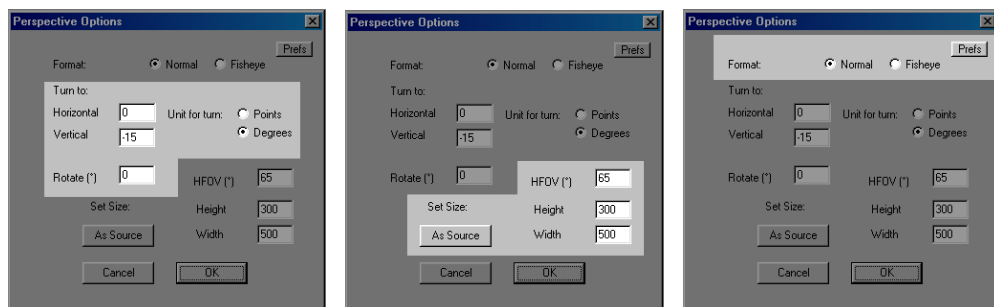
## 5. Programas específicos que corrigen el paralaje

Existen muchos programas diseñados específicamente a tal fin, que si bien hay que adquirir independientemente, generalmente, están pensados para funcionar como plugins instalables en los programas de tratamiento digital de imágenes, con la intención de aprovechar tanto sus potentes motores como todo el entorno de herramientas de que disponen. Este es el caso de algunos de los plugins aquí brevemente analizados, como son: “Perspective” de Panorama Tools (PanoTools), “Perspective Filter” de Andrómeda Software o “Perspective” de The Imaging Factory.

Para la simular la restitución de la pirámide visual todos ellos precisan una serie de datos similares, como son: La posibilidad de interactuar en la inclinación del plano de la imagen (tanto en el eje vertical como horizontal), la posibilidad de girarlo por si la imagen queda inclinada, y sobretodo, la amplitud de campo del objetivo, también conocido como FOV (Fiel of view). Este parámetro, propio del objetivo de la cámara fotográfica, es el que, que por su relación con las dimensiones de la imagen, nos permite conocer la distancia al punto de vista.

### Panorama Tools

Se trata de un software programado en lenguaje Java, diseñado a través de subrutinas que realizan funciones específicas, donde “perspectiva” no es mas que una opción, siendo la principal la creación de panorámicas virtuales, en las que incluso permite corregir las imágenes antes de su unión.



*Figura 8*

La interfaz de la “Perspective Options” del programa, consiste en una sola ventana, con los campos correspondientes para introducir los datos numéricos. Estos campos se organizan en tres grupos, (figura 8). En la parte superior, el apartado “formato”, nos permite seleccionar entre un objetivo normal o un “ojo de pez”, un objetivo muy particular que deforma la imagen curvando las líneas rectas.

La opción “Turn to”, nos permite girar el cuadro de la imagen, introduciendo el ángulo horizontal, vertical o ambos, así como en el sentido de rotación deseado.

También contempla un campo para rotar la imagen sobre si misma. El último apartado está destinado a introducir el FOV horizontal en grados, mientras que “Set Size” permite variar las dimensiones de la imagen en pixeles. El botón “Prefs” abre una ventana que nos permite, en otras, seleccionar las opciones de interpolación o el destino del archivo gráfico ya corregido, si deseamos que lo guarde automáticamente.

### Andrómeda Perspective Plugin

Este programa se diferencia del anterior en dos cuestiones. La primera es su interfaz, que en este caso totalmente gráfica, sin entradas para datos numéricos y con ventana de previsualización del resultado. Esto le confiere un carácter subjetivo con riesgo de provocar importantes desproporciones en la imagen. La segunda, es que no utiliza el FOV, sino una distancia hipotética de la imagen al punto de vista, que se puede ir alterando mediante los botones centrales del grupo de flechas de control, de manera que a menor distancia más acusada será la perspectiva.



*Figura 9*

El resto de controles son equivalentes a los del caso anterior. Con las flechas se domina el giro, horizontal y vertical de la imagen, así como la rotación sobre el eje visual con dos pequeños botones circulares. También dispone de una barra para hacer zoom, así como encuadrar simplemente pulsando con el ratón en la ventana de previsualización. Dispone de una cuadrícula para controlar mejor la corrección o variar el color del fondo y permite también gestionar correcciones almacenándolas o cargando algunas ya preseleccionadas.

### The Imaging Factory.

Este otro nuevo plugin, mostrado en la figura 10, en cuanto a interfaz, es una mezcla de los dos anteriormente mencionados, tiene una ventana de previsualización y además permite introducir datos numéricos para controlar de forma más precisa la correcciones de la perspectiva. Esto lo dota de precisión y funcionalidad, sin embargo, recurre a los mismos conceptos y controles, (por ejemplo las barras de desplazamiento



situadas en el centro de la interfaz, controlan, tanto numérica como gráficamente las inclinaciones horizontal y vertical, así como la rotación del plano de la imagen).

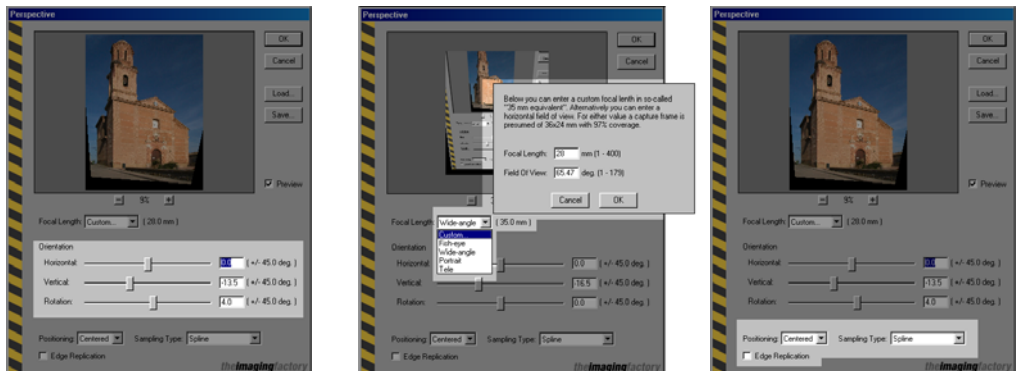


Figura 10

Por contra, dispone de una mayor flexibilidad para controlar el FOV, dado que al abrir la lista disponible en el campo “focal length” aparecen disponibles cinco opciones: “custom”, que abre una ventana que permite introducir directamente el FOV horizontal o en su defecto la distancia focal, siempre que el formato sea 24x36mm. “fish-eye”, “wide\_angle”, “portrait” y “tele”, opciones que corresponden a ángulos visuales ya predefinidos en referencia al FOV horizontal obtenido con un objetivo de 35 mm de paso universal y formato apaisado.

El tipo de interpolación se controla en el campo “sampling type”. Los píxeles exteriores de la imagen corregida son controlados por la opción “edge replication”.

Finalmente, la opción “positioning” controla la posición de la imagen en la ventana, que se mantiene siempre en el campo de visión si se activa “centered”.

## 6. Conclusiones

Tras el análisis efectuado podemos concluir que si deseamos que, el molesto a la vista, paralaje no aparezca en las fotografías, es preferible controlarlo en el momento de realizar la fotografía, si las condiciones no lo permiten, utilizando cámaras especiales como la de banco óptico. Si ello no es posible podemos corregirlo perfectamente el paralaje refotografiando la imagen con la cámara de banco óptico en base a los principios geométricos de la perspectiva y algunos fenómenos físicos relativos a la óptica que pueden ocasionar, que si la corrección es exagerada se produzca pérdida de nitidez. Y también se puede utilizar con resultados perfectamente válidos el software disponible para ello basado en la simulación de los principios de la cámara de banco óptico. Con éste procedimiento se puede corregir cualquier perspectiva por exagerada que sea, aunque si esta muy distorsionada tendremos problemas para identificar la forma original que pretendemos restituir.

Por lo demás con todos los programas tratados podemos llegar a los mismo resultados, aunque destaca por su flexibilidad la herramienta “perspective” de The Imaging Factory.



Original

Cámara de banco óptico

Panorama Tools

The Imaging Factory

*Figura 11*

## Referencias

VILLANUEBA, Lluís. *Perspectiva lineal. Su relación con la fotografía*. Edicions UPC, 1996

STROEBEL, Lesilie. *View camera technique*. 6ª ed. Focal Press

LAGUILLO, Manolo. *El gran formato: La cámara descentrable y la gestión del espacio*. Ed. GrisArt

SHAMAN, Harvey. *The View Camera*. Amphoto, 1991, New York

HARRIS, Michael. *Architectural Photograh*y Focal Press, 1996



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO INDUSTRIAL Y SU UTILIZACIÓN EN EL ANÁLISIS DE TOLERANCIAS EN ENSAMBLAJES EN EL CAT (COMPUTER AIDED TOLERANCING)

MELGOSA PEDROSA, Carlos; RAMOS BARBERO, Basilio; PELÁEZ VARA, Jesús;  
GARCÍA MATÉ, Esteban; BAÑOS GARCÍA, Esther

Universidad de BURGOS, ESPAÑA

Escuela Politécnica Superior; Departamento de Expresión Gráfica

Correo electrónico: cmelgosa@ubu.es; bramos@ubu.es; jpelaez@ubu.es; egarciam@ubu.es; ebanyos@ubu.es

### RESUMEN

Los valores de los parámetros introducidos en el CAT son supuestos en función de las tolerancias de diseño, pero realmente dependen de las distribuciones de los procesos de fabricación y del montaje. En la presente comunicación presentamos los resultados obtenidos al medir las dimensiones de 60 accionamientos de un elevador de un turismo con la colaboración de la empresa Grupo Antolín, que influyen en las cotas funcionales y las dimensiones de cada cadena de cotas correspondiente, pudiendo así determinar los parámetros reales de proceso industrial y determinando el grado de ajuste de los procesos a distribuciones estadísticas del tipo beta y normal. Conocida la posición, tolerancia y distribución en el proceso, podemos introducir sus parámetros en el estudio de análisis de tolerancias en ensamblajes en 3D, eliminando la variable perturbadora proceso de fabricación.

**Palabras clave:** CAT, Computer Aided Tolerancing, Análisis de Tolerancias.

### ABSTRACT

The inputted parameter values are assumed in CAT according to the design tolerance, but are a function of the manufacturing processes and assembly in reality. In the present paper we present the results obtained from measurements, in collaboration with the multinational firm Grupo Antolín, of the magnitude of 60 operations of a car window, which influence the functional dimensions and the magnitudes of each corresponding chain of dimension, thereby allowing us to determine the actual parameters of the industrial process and to determine the degree to which adjustment of the processes for statistical distributions of the Beta and Normal types may be necessary. Given the position, tolerance and distribution of the process, we can input their parameters into the study of tolerance analysis in 3D assemblies, eliminating the disturbance variable “manufacturing process”.

**Key words:** CAT, Computer Aided Tolerancing, Tolerance Analysis.

## 1. Introducción

En el XIV Congreso de Ingeniería Gráfica celebrado en Santander iniciamos el estudio del CAT (Computer Aided Tolerancing) en ensamblajes presentando un ponencia en la que se realizaba una valoración de los distintos métodos de estudio utilizados en el análisis de las tolerancias en los ensamblajes. Al año siguiente en el congreso celebrado en Nápoles presentamos la evaluación de las herramientas de CAT en 3D más utilizadas del mercado, poniendo de manifiesto las discrepancias obtenidas entre los distintos softwares, entre éstos y las medidas tomadas en los ensamblajes reales. Todo ello como consecuencia de los valores de los parámetros que se introducen. Estos parámetros son por ejemplo: tipos de distribuciones estadísticas de las medidas en el proceso de fabricación, posición de las piezas en las uniones con juego, etc. Los valores de estos parámetros son supuestos en el CAT, pero realmente son función de los procesos de fabricación y montaje. Por lo tanto, se debe investigar y conocer el estado de estos parámetros.

Para seleccionar los parámetros teóricos que mejor ajustan los modelos del CAD/CAT a los modelos reales fabricados es necesario experimentar midiendo las distintas dimensiones que influyen en las cotas funcionales de los ensamblajes y así poder obtener los valores de los parámetros que ajustan los modelos teóricos a los reales.

En esta comunicación presentamos los resultados obtenidos al realizar mediciones en una muestra determinada de accionamientos de un elevador de un turismo con la colaboración de la empresa Grupo Antolín. Se estudian las dimensiones que influyen en las cotas funcionales y las dimensiones de cada cadena de cotas correspondiente, pudiendo así determinar los parámetros reales de proceso industrial y determinando el grado de ajuste de los procesos a distribuciones estadísticas del tipo beta y normal. Conocida la posición, tolerancia y distribución en el proceso, podemos introducir sus parámetros en el estudio de análisis de tolerancias en ensamblajes en 3D, eliminando, una vez conocida la variable perturbadora proceso de fabricación.

La integración de las herramientas de análisis de tolerancias CAT en el CAD, puede reducir costos y tiempos importantes en los procesos, el conocimiento del mayor número de parámetros y sus propiedades características nos lleva a ajustar mejor los modelos de CAD en el CAT.

## 2. Objetivos

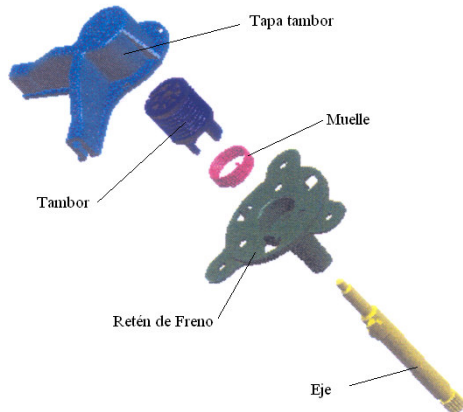
Se pretende realizar un estudio para determinar:

- Las cotas críticas en los diferentes elevadores a estudiar.
- Comparar la información de las distintas distribuciones estadísticas (normal y beta), obtenidas a partir de los modelos reales.
- Grado de ajuste del proceso a distribuciones estadísticas, para identificar la posición y tolerancia del proceso.

### 3. Material y Metodología

#### Elementos de Aplicación

El elemento objeto de estudio va a ser el accionamiento manual trasero de un elevallunas de un automóvil. En la figura 1, se muestra el accionamiento montado en conjunto.



*Figura 1: Conjunto elevallunas trasero.      Figura2: Despiece del elevallunas trasero*

Este conjunto está formado por los siguientes componentes: eje de manivela, retén de freno, tambor de cable, tapa tambor y muelle retén (figura 2).

El eje de manivela está fabricado de aleación de cinc y aluminio llamada Zamak y el proceso de fabricación es por fundición. El retén de freno es una pieza de acero fosfatado de forma cilíndrica que va montada sobre el eje manivela y fabricada por estampación. La tapa tambor es una pieza de termoplástico, en cuyo interior se encuentra el tambor, también tiene dos huecos para el alojamiento de las guías espirales. El tambor es una pieza cilíndrica de Poliamida (PA) con un 25% de Fibra de Vidrio (FV), sobre el que se enrolla el cable. La tapa tambor y el tambor están fabricados por inyección.

#### Tamaño de la muestra

El número de unidades a incluir en la muestra constituye una de las decisiones preliminares en cualquier diseño muestral. En esta decisión participan diferentes factores. Teniendo en cuenta que tanto los ejes como los agujeros se miden de forma aleatoria, la fórmula genérica para una muestra aleatoria (simple o sistemática) es la siguiente, cuando el universo o población estuviese compuesto por más de 100.000 unidades:

$$n = \frac{Z^2 \cdot P^2 \cdot (1 - P)}{E^2}$$

donde: “Z”: representa las unidades de desviación típica correspondientes al nivel de confianza elegido ( $3\sigma$ ).

“P”: probabilidad de aparición de un suceso.

“E”: denota el error máximo permitido que el investigador establece a priori.

En nuestro caso esta fórmula es válida, porque el volumen de fabricación de eevalunas en el Grupo Antolín es superior a 100.000 unidades.

Escogemos como error máximo permitido el 2%, con lo cual tenemos para  $Z = 3$ :

$$n = \frac{3^2 \cdot 99,73^2 \cdot (0,0027)}{2^2} \approx 60 \text{ muestras.}$$

### Cadenas de cotas

Las condiciones de funcionamiento principales que se van a comprobar son el juego radial total que debe ser menor de 0,2 mm y el juego axial que debe ser menor de 0,5 mm.

A) Cotas incluidas para el control del **juego axial**, las cotas se observan en la Figura 3.

$$J_{axial} = \text{Cota 9 (tapa)} + \text{Cota 13 (retén)} - \text{Cota 4 (eje)} - \text{Cota 7 (tambor)}$$

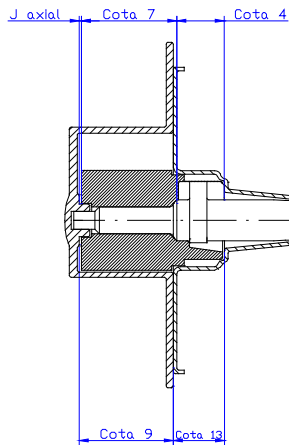


Figura 3: Juego axial.

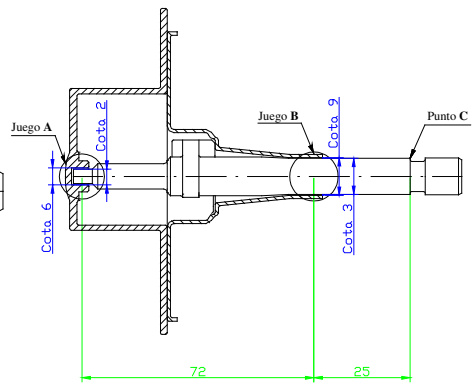


Figura 4: Juego radial.

B) Cotas incluidas para el control del **juego radial**, las cotas se observan en la Figura 4 y la medición se realiza en el punto C.

$$J_{radial} = 25/72 * J_A [\text{Cota 6 (tapa)}; \text{Cota 2 (eje)}] + 97/72 * J_B [\text{Cota 9 (retén)}; \text{Cota 3 (eje)}]$$

## Medios de medición

Los instrumentos de medición manual utilizados son el calibre, el micrómetro, el gramil y el proyector de perfiles; como instrumento automático de medición se ha utilizado la máquina de medir coordenadas.

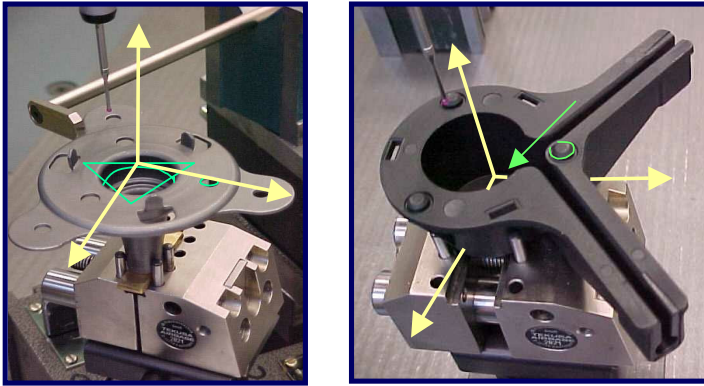


Figura5: Retén de freno y Tapa tambor en la tridimensional.

## Planteamiento estadístico y método empleado

Hemos trabajado con dos tipos de distribuciones: la Normal y la Beta.

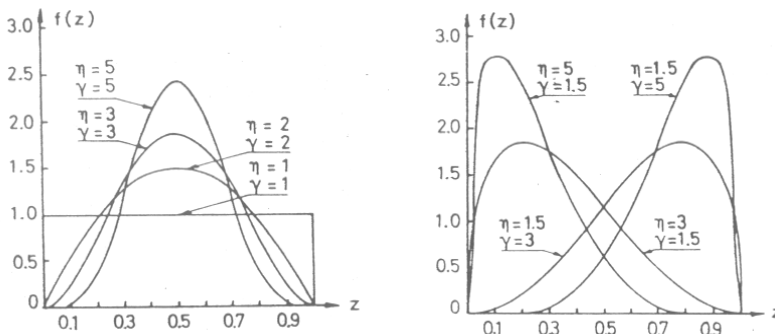


Figura 6: Distribuciones Beta unitarias. [ASM.1992]

La distribución beta (figura 6) ha sido seleccionada entre todas las existentes por cubrir el rango de distribuciones de normal a rectangular, por tener un rango finito y por cubrir rangos asimétricos.

El planteamiento teórico general viene definido en la obra de P. V. Børke titulada “Computer-Aided Tolerancing”. En concreto para la distribución beta el modelo inicialmente seguido para la suma de dimensiones individuales es el representado en la figura 7.

El punto central de la zona de tolerancia y la tolerancia son:

$$MX_{\Sigma} = MX_{\Sigma R} + M\Delta X_{\Sigma}$$

$$TX_{\Sigma} = TW_{\Sigma} \sqrt{Var\Delta X_{\Sigma}}.$$

$$MX_{\Sigma R} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot MX_i =$$

punto medio respecto del rango, donde  $A_i$  y  $MX_i$  son la sensibilidad y la distancia al centro de tolerancia de la dimensión  $X_i$ .

$$MW_{\Sigma} = FW_{\Sigma} \cdot RW_{\Sigma}, \text{ donde}$$

$$FW_{\Sigma} = \frac{E\Delta X_{\Sigma}}{R\Delta X_{\Sigma}} \text{ (asimetría de la}$$

normalizada) y

$$RW_{\Sigma} = \frac{R\Delta X_{\Sigma}}{\sqrt{Var\Delta X_{\Sigma}}} \text{ (rango de la normalizada).}$$

$$R\Delta X_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n |A_i| \cdot TX_i = \text{Rango de la suma de dimensiones.}$$

$$E\Delta X_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot TX_i (EZ_i - 0,5) = \text{Esperanza de la suma de dimensiones.}$$

$$Var\Delta X_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot TX_i^2 \cdot VarZ_i = \text{Varianza de la suma de dimensiones.}$$

$TX_i$  es la tolerancia de la dimensión  $X_i$  que en procesos se sustituye por el rango de  $X_i$  ( $RX_i$ ).  $EZ_i$  y  $VarZ_i$  son respectivamente la esperanza y la varianza de la dimensión  $i$ .

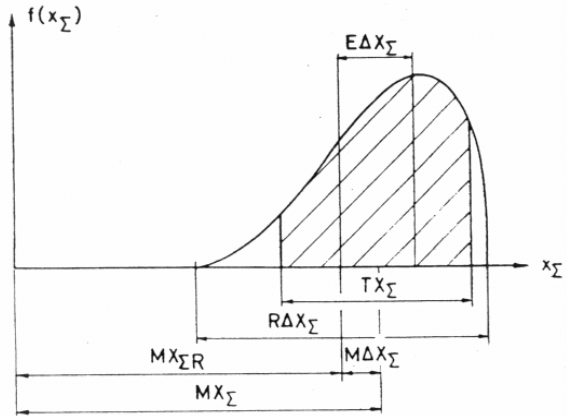


Figura 7: El modelo de la Distribución Beta de la Suma de Dimensiones. [ASM.1992]

## 4. Resultados

Ha sido necesario introducir algunas cotas no incluidas en los planos de diseño. A todas las mediciones se les aplica criterios de rechazo y todas están dentro de los límites.

### A) Juego Axial

Los cálculos del juego axial realizados se expresan en la tabla de la página siguiente:

Tabla 1: Juego axial

	Cota 4 (Eje)	Cota 7 (Tambor)	Cota 9 (Tapa)	Cota 13 (Retén)		
$X_i$ (mm)	$13,35_{-0,1}$	$27,4_{-0,2}$	$26,4^{+0,1}_{-0,2}$	$14,4^{+0,2}$		
$A_i$ (mm)	-1	-1	1	1		
$MX_i$ (mm)	13,269	27,025	26,49	14,395		
$MX_{\Sigma Ri}$ (mm)	-13,269	-27,025	26,49	14,395	$MX_{\Sigma R}$	0,591
$RX_i$ (mm)	0,08	0,35	0,16	0,07		
$EX$ (mm)	13,272	27,025	26,492	14,396		
$E\Delta X$ (mm)	0,003	0	0,002	0,001		
$EZ_i$ (mm)	0,53750	0,50000	0,51250	0,51429		
$Var\Delta X$ (mm)	0,00036	0,00608	0,00137	0,00017		
$VarZ_i$ (mm)	0,05641	0,04967	0,05348	0,03449		
$R\Delta X_{\Sigma i}$ (mm)	0,08	0,35	0,16	0,07	$R\Delta X_{\Sigma}$	0,66
$E\Delta X_{\Sigma i}$ (mm)	-0,00300	0,00000	0,00200	0,00100	$E\Delta X_{\Sigma}$	0,00000
$Var\Delta X_{\Sigma i}$ (mm)	0,00036	0,00608	0,00137	0,00017	$Var\Delta X_{\Sigma}$	0,00798

### Distribución Normal

El valor central de la tolerancia axial será:  $MX_{\Sigma R} = 0,591mm$ , de la tabla 1.

Con esta distribución se obtiene la tolerancia de la suma de dimensiones para un nivel de confianza del 99,73%:

$$TW_{\Sigma} = 6mm \quad ; \quad TX_{\Sigma} = TW_{\Sigma} \sqrt{Var\Delta X_{\Sigma}} = 6 \cdot \sqrt{0,00798} = 0,536mm$$

### Distribución Beta

Buscamos los parámetros normalizados de la suma de dimensiones:

$$RW_{\Sigma} = \frac{R\Delta X_{\Sigma}}{\sqrt{Var\Delta X_{\Sigma}}} = \frac{0,66}{\sqrt{0,00798}} = 7,388mm \quad ; \quad FW_{\Sigma} = \frac{E\Delta X_{\Sigma}}{R\Delta X_{\Sigma}} = \frac{0,000}{0,66} = 0$$

Y para un 99,73% de confianza:  $TW_{\Sigma} = 5,329mm$  y  $MW_{\Sigma} = -0.460mm$

$$MX_{\Sigma} = MX_{\Sigma R} + MW_{\Sigma} \sqrt{Var\Delta X_{\Sigma}} = 0,591 - 0,46 \cdot \sqrt{0,00798} = 0,549mm$$

$$TX_{\Sigma} = TW_{\Sigma} \sqrt{Var\Delta X_{\Sigma}} = 5,32989 \cdot \sqrt{0.007983} = 0,476mm$$

Comprobando que existe un movimiento entre el centro de la esperanza y el de rangos de -0,042 mm y una disminución de la tolerancia de 0,06 mm entre la distribución beta y la normal.

Posteriormente se han montado 10 accionamientos de forma manual y sin grasa, obteniendo una media en el juego axial de 0,469 mm, comprobando que se ajusta más al valor obtenido de 0,549 mm de la distribución beta que al valor de 0,591 mm de la distribución normal.

## B) Juego radial

Con los datos obtenidos y calculadas las sensibilidades se obtiene para el juego radial (tabla 2).

### Distribución Normal

El valor central de la tolerancia radial será:  $MJ_{\Sigma R} = 0,165mm$ , de la tabla 2.

La tolerancia del juego radial total con un nivel de confianza del 99,73% está definida por la expresión:

$$TJ_{\Sigma} = TW_{\Sigma} \cdot \sqrt{Var\Delta J_{\Sigma}} = 6 \cdot \sqrt{0,00030} = 0,104mm$$

### Distribución Beta

Determinamos la tolerancia normalizada y el movimiento del punto medio normalizado con los parámetros:

$$RW_{\Sigma} = \frac{R\Delta J_{\Sigma}}{\sqrt{Var\Delta J_{\Sigma}}} = \frac{0,125}{\sqrt{0,0003}} = 7,204mm ; FW_{\Sigma} = \frac{E\Delta J_{\Sigma}}{R\Delta J_{\Sigma}} = \frac{0,0026}{0,125} = 0,0207mm$$

Y para un 99,73% de confianza:  $TW_{\Sigma} = 5.281mm$  ;  $MW_{\Sigma} = 0.0902mm$

$$TJ_{\Sigma} = TW_{\Sigma} \cdot \sqrt{Var\Delta J_{\Sigma}} = 5,281 \cdot \sqrt{0,0003} = 0,0915mm$$

$$MJ_{\Sigma} = MJ_{\Sigma R} + MW_{\Sigma} \sqrt{Var\Delta J_{\Sigma}} = 0,164 + 0,0902 \cdot \sqrt{0,0003} = 0,166mm$$

Comprobando que existe un movimiento entre el centro de la esperanza y el de rangos de 0,001 mm y una disminución de la tolerancia de 0,013 mm entre la distribución beta y la normal.



Tabla 2: Juego radial

	JA	JB		JA	JB
<b>Eje (a)</b>	$5,0^{+0.2}_{-0.5}$	$11,2^{+0.01}_{-0.08}$	<b>Agujero (b)</b>	$5,0^{+0.05}$	$11,2^{+0.09}_{+0.02}$
<b>J<sub>max</sub></b>	0,1	0,17			
<b>J<sub>min</sub></b>	0,02	0,03			
<b>J<sub>med</sub></b>	0,06	0,1			
<b>EXa<sub>i</sub></b>	4,979	11,132	<b>EXb<sub>i</sub></b>	5,026	11,368
<b>MXa<sub>i</sub></b>	4,9765	11,136	<b>MXb<sub>i</sub></b>	5,03	11,3665
<b>VarXa<sub>i</sub></b>	0,00010	0,00036	<b>VarXb<sub>i</sub></b>	0,00005	0,00029
<b>A<sub>i</sub></b>	0,34722	1,34722			
<b>TXa</b>	0,043	0,08			
<b>EZa<sub>i</sub></b>	0,55814	0,45000			
<b>VarZa<sub>i</sub></b>	0,05408	0,05641	<b>TXb</b>	0,02	0,089
<b>MXa</b>	4,965	11,155	<b>EZb<sub>i</sub></b>	0,30000	0,51685
<b>MJ<sub>i</sub></b>	0,00929	0,15527	<b>VarZb<sub>i</sub></b>	0,12250	0,03649
<b>RΔJ<sub>i</sub></b>	0,01094	0,11384	<b>MXb</b>	5,025	11,255
<b>EΔJ<sub>i</sub></b>	-0,00113	0,00370	<b>MJ<sub>ΣR</sub></b>	<b>0,16456</b>	
<b>VarΔJ<sub>i</sub></b>	0,00000	0,00029	<b>RΔJ<sub>Σ</sub></b>	<b>0,12478</b>	
			<b>EΔJ<sub>Σ</sub></b>	<b>0,00258</b>	
			<b>VarΔJ<sub>Σ</sub></b>	<b>0,00030</b>	

Volvemos a medir 10 accionamientos montados manualmente y sin grasa, obteniendo una media del juego radial de 0,23 mm comprobando de nuevo que se aproxima más el valor obtenido con la distribución beta que con la normal.

## 5. Conclusiones

En general, podemos decir que existe un descentramiento del valor esperado de la media en los procesos de fabricación respecto al centro de la tolerancia en la mayoría de las tolerancias individuales.

Los rangos de variación de las cotas individuales en los procesos difieren en muchos casos de las tolerancias indicadas en los planos.

Suponer que una distribución es normal lleva consigo el hecho de que es de rango infinito pero la variación de una dimensión es de rango finito, por lo que debemos emplear distribuciones de rango finito.

De todas las muestras de las medidas realizadas una gran mayoría se ajustaban a la normal, mayor número se ajustaban a la distribución beta (debido al descentramiento de la media) y unas pocas a ninguna de las dos distribuciones, con un nivel de confianza del 95%.

El presuponer en un estudio estadístico de la suma de dimensiones, distribuciones normales a un nivel de confianza del 99,73%, lleva consigo arrastrar el error de no tener en cuenta la asimetría de los datos y de truncar cada distribución individual perteneciente a la distribución suma. La distribución beta se ajusta en principio mejor a los procesos de fabricación por ser finita y permitir el descentramiento de la media, y además se ha podido constatar en la experimentación del juego axial y radial del accionamiento del elevallunas trasero.

## **Bibliografía**

BJØRKE, Øyvind. *Computer-Aided Tolerancing*. ASME PRESS. New York, 1989.

CEA D'ANCONA, M<sup>a</sup> Ángeles. *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social*. Ed. Síntesis. Madrid, 1998.

DRAKE JR, Paul. *Dimension and Tolerancing handbook*. Ed. McGraw-hill. New York, 1999.

GURRUCHAGA, J.M. *Acotación funcional. Análisis estadístico de tolerancias*. En el III Seminario Italo-Español de Diseño Industrial. Escuela Superior de Ingenieros. Bilbao, 2000.

MELGOSA PEDROSA, C.; RAMOS BARBERO, B.; GARCÍA MATÉ, E.; BAÑOS GARCÍA, E. *Estudio y Evaluación de aplicaciones CAT (Computer Aided Tolerancing) para ensamblajes en 3D*. En las actas del XIII ADM - XV INGEGRAF Congreso Internacional sobre HERRAMIENTAS Y METODOS EN DISEÑO DE INGENIERÍA. Nápoles (Italia), 2003.

PELÁEZ VARA, Jesús. *Tolerancias, Ajustes y Metrología Dimensional*.

RAMOS BARBERO, B.; GARCÍA MATÉ, E.; PELÁEZ VARA, J. *Análisis de las tolerancias de ensamblaje asistidas por ordenador en el diseño (CAT)*. En las actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, 2002.

## CAD MODELLING AND VIRTUAL SIMULATION OF AN AIRCRAFT DOOR MECHANISM

E. Pezzuti, G. Piscopo, A. Ubertini, P.P. Valentini, L. Vita

University of Tor Vergata  
Department of Mechanical Engineering  
Via del Politecnico, 1  
00133 – Roma, Italy  
e.mail: valentini@ing.uniroma2.it

### RESUMEN

En este trabajo los autores explican una metodología para reconstruir un mecanismo de una puerta de un avión y para simular su funcionamiento. Computer Aided Simulation (Digital Mock-up) es el solo modo para evaluar completamente todas las prestaciones, el montaje, las posibles interferencias y la sensibilidad a los errores mecánicos de un aparato mecánico muy complicado. En este caso el aparato está formado de varios cientos de partes funcionales y de diferentes mecanismos que interaccionan simultáneamente durante la abertura de la puerta. El movimiento de la puerta es espacial y muy complicado de evaluar sin una simulación 3D. La simulación dinámica del movimiento ha sido realizada por medio de las técnicas multibody; de esta manera ha sido posible evaluar todas las fuerzas y las reacciones en cada junta y estudiar la dinámica del sistema entero. La metodología desarrollada emplea un programa totalmente paramétrico y permite introducir las variables específicas para simular los errores mecánicos y de montaje para evaluar su efecto en el movimiento de la puerta.

**Palabras clave:** Simulación 3D, digital mock-up, puerta de un avión.

### ABSTRACT

In this paper the authors explain a methodology to reconstruct a mechanism of an aircraft door and simulate its functioning. Due to its complexity the computer aided simulation (Digital Mock-up) is the only way to evaluate the performances, to check the assembly procedure, to find out possible interferences, and to study the sensitivity of each component to mechanical errors. The complete assembly is made of hundreds of functional parts. Moreover, the whole system is composed of several different mechanisms which interact together during the door opening procedure. All these mechanisms have to work precisely and in cooperation, and the motion of the door is spatial and quite difficult to understand without a three dimensional simulation. The dynamic simulation of the motion has been performed by means of multibody

techniques, so it has been possible to evaluate the reaction forces on each joint and characterize the dynamic behaviour of the whole system. The proposed methodology is based on a fully parametric CAD program and it allows to introduce specific variables to simulate mechanical errors in manufacturing or assembling in order to assess their effect on the motion of the door.

**Key words:** CAD modelling, virtual simulation, aircraft door

## **1. Introduction**

All mechanical devices are the product of a creative mind. In many cases just watching the functioning of one of them gives the sensation of something magical. It happens in a particular way when the mechanics is very complex and the movement is made of many sub-movements and all the mechanisms are driven by a single operation automatically.

One of this fascinating device is the opening system of an aircraft door. In the US patent n° 3791073 there is the description of one of them proposed by the Boeing Company in 1974 (BAKER, 1974). As it clearly appears the simple drawings and descriptions do not offer a complete explanation of the device. To fill this gap and to have a complete understanding of the functioning of each part and the way they interact together, a more accurate analysis is needed. Moreover the simple description and even accurate drawings are not sufficient to figure out the actual movement and the way to improve reliability, performances or just verifying the current ones. In this case only a virtual simulation in three dimension can improve the comprehension and can also be a valid support for the designer.

The investigated device is mounted on the aircraft fuselage (LIMITI, 2003) with tilting angle w.r.t. the vertical plane. For this reason the mechanism designed to open the door has to perform a rotation of the hinge line first and then a rotation around it. The advantages of this solution are that the door does not require to be opened inward (this avoid possible interferences) and when it opens it allows a full admittance. The opening mechanism is a good solution also for the assembly of gaskins (a continuous boundary loop can be mounted around the door frame) and for the aircraft pressurization.

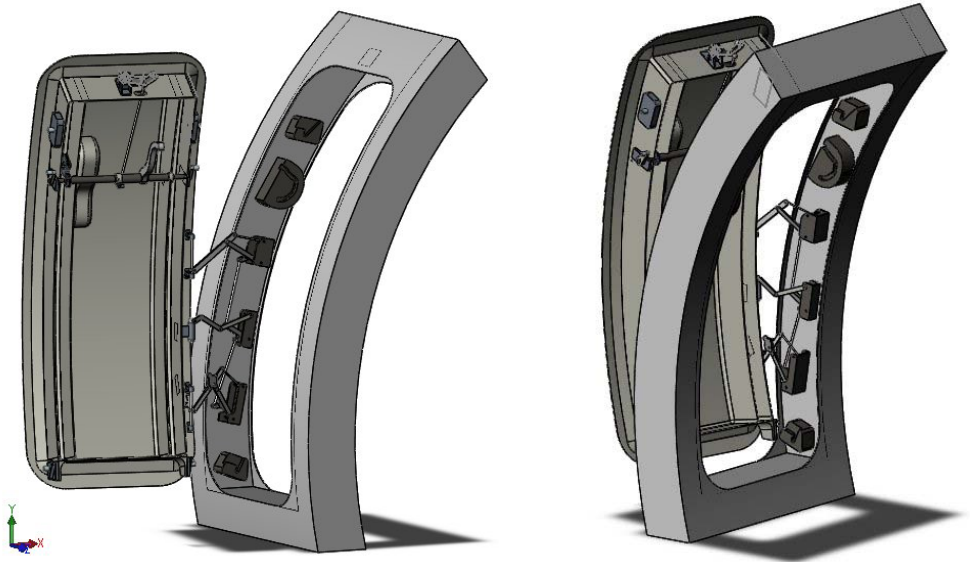
## **2. Description of the mechanism**

The entire assembly (depicted in Figure 1) is made of hundreds functional parts (excluding pins and bolts). Moreover the mechanism is composed of several sub mechanisms (ZADRO, 2004): there is the unlocking mechanism which operates at the beginning of the opening; the cam mechanism which drives the door upward to disengage the blocking pins; the ten bar mechanism (made of two different four bars linkages connected together) which drives the door outward and align the hinges line vertically in order to allow the final rotation till the fully opened configuration is reached.

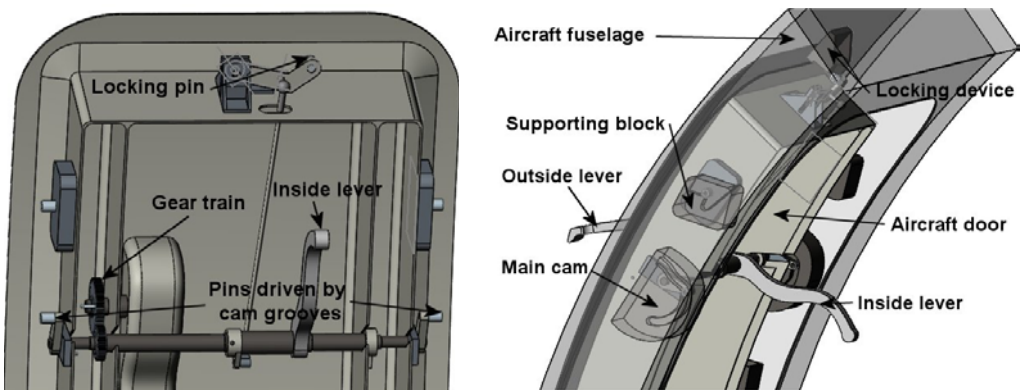
The unlocking mechanism (see Figure 2) which allows the door to start moving, can be driven by two levers (one inside the aircraft, one outside the aircraft) connected together by means of a simple gear train. So when one lever is pushed up, the other one opens too. The shaft of the inside lever is connected to two pins (one of each side of the door) which engage the groove of planar cams. During the opening the rotation

of the lever makes the pin move inside the groove and so the door is pushed upward and outward. At the same time a spherical four bars linkage moved by the same lever shaft disengages the locking pin at the top of the door frame.

Then while the door is opening following the profile of the cam (called “main cam” in Figure 2), the upward movement of the door guides two pins each side out of two other planar cams (supporting blocks, as shown in Figure 2). These cams support the entire weight of the door and make the opening quite simple.



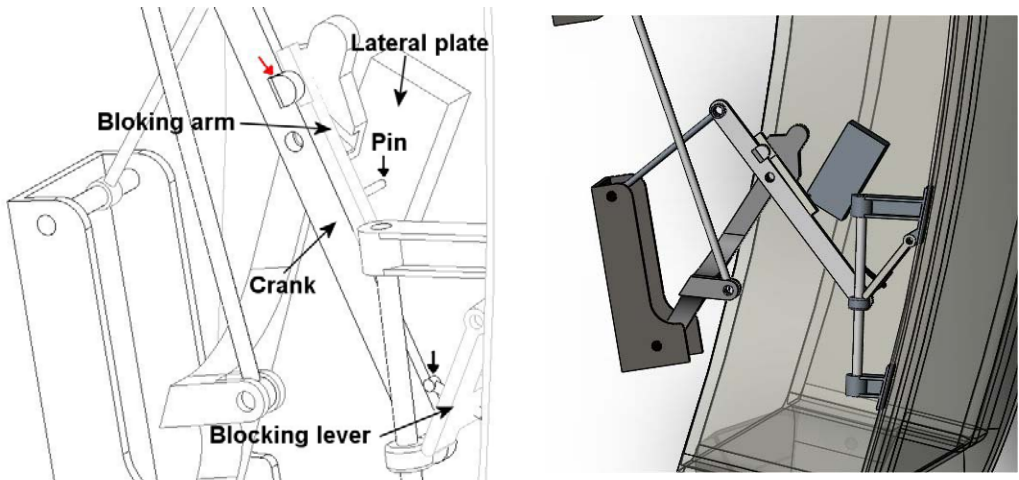
*Figure 1: The complete assembly of door opening mechanisms in two different views*



*Figure 2: Unlocking mechanism*

When the two pins arrive at the end of the cam grooves the motion of the door is governed by two four bars linkages connected together to form a ten bar mechanism. This one pushes the door outward till the vertical alignment of the hinges line is reached.

This movement causes the door also to rotate to assume a vertical position. Till the end of this phase the door can not be fully opened because the rotation around the main joints is allowed only when the axes of all the hinges is vertical. In this configuration the blocking system (see Figure 3) constraints one of the link and suppress the unique degree-of-freedom of the ten bar mechanism. When the door is completely pushed outward the pin is no more in contact with the lateral plate and the blocking arm engages the groove in the other link. At the same time the blocking lever comes in contact with the lower ring to support the weight of the entire door. When the ten bar linkage stops, the central hinge allows the door to rotate till the end of opening process.



*Figure 3: Detailed drawing of the ten bar blocking system*

The opening phases can be summarized in the following steps (which are also depicted in Figure 4):

1. The operator acts on one of the opening lever, pushing it up;
2. At the same time, the blocking system is disengaged, and the door can be pushed upward and outward following precise cam profiles;
3. When the ends of the cam profiles are reached, the door movement is prescribed by the ten bar linkage which aligns the axes of the hinges vertically;
4. When the axes of the hinges have been aligned along a vertical axis, the blocking mechanisms stops the door (and it prevents also unwanted closure for passengers' and assistants' safety). Now the door is allowed to rotate around the hinges till the fully opened position is reached.

### **3. CAD reconstruction and multibody simulation**

Each component of the full assembly has been modelled as a part using a fully parametric CAD program.

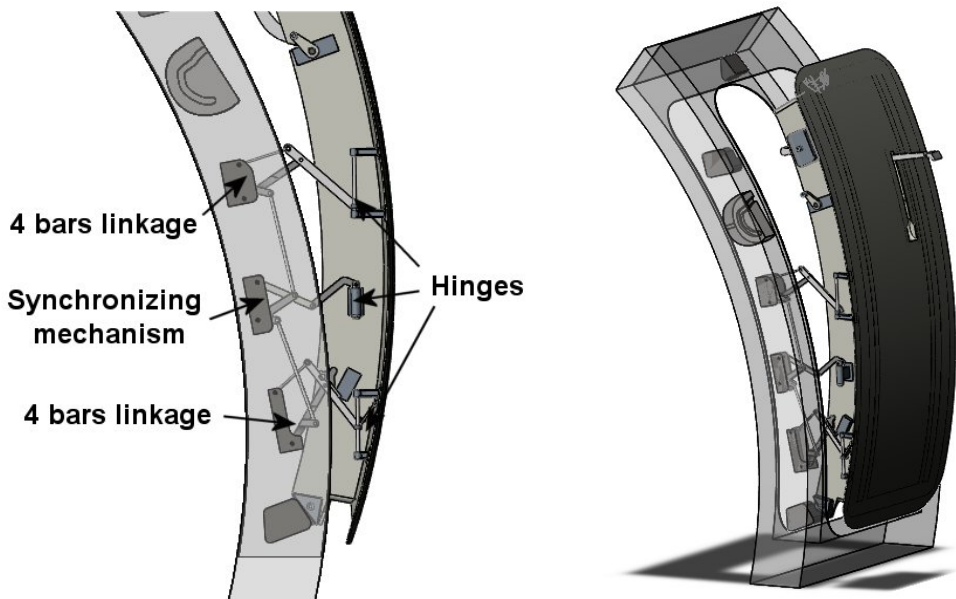
A particular attention has been dedicated to the synthesis and generation of cam profile (DI BENEDETTO et al., 1993). In fact the inaccurate design of the path of the

groove may lead to critical configuration and make the opening of the door impossible or possible only exerting a very high force. Moreover the wrong synthesis may lead to some interferences between the door and the main frame during the upward and outward motion. In fact the first movements are very critical to disengage the door from the fuselage frame.

The CAD parametrization of the control points of the path using statistical variables is useful to perform a manufacturing errors sensitivity. For this purpose the results have been compared to those obtained by means of rules of synthesis typical of kinematics and it can be said that the cam in the middle of the frame plays a very important role and it has to be manufactured with precision to avoid critical configuration or position with improper pressure angles.

Also the two four bar mechanisms (which are connected to form a ten bar linkage) have to be design carefully. They both have the property to reproduce a straight line trajectory of a point on the connecting rod, so they can be designed according to Chebishev theory (KRAUS, 1955).

The parts have been assembled in the same CAD program using simple relation of insertion, mating surfaces, and inclination. Contact forces between pins and cam have been added and dynamic analysis (according to multibody dynamics technique in HAUG, 1989) has been performed simulating the action of a flight assistant on the lever with a simple force.



*Figure 4: The ten bars mechanism drives the door till the hinges axis is vertical*

The simulation has given useful information about the minimal value of opening forces and the time needed to complete the whole operation. It was also possible to esteem loads acting on every part (see an example of contact forces in Figure 6). Possible interferences have been also checked and avoided.

#### 4. Conclusions

The virtual three dimensional simulation of complex mechanisms is the only way to study their complete movement. It also makes possible to improve the feature of the mechanical devices checking and the way they interact with the rest of the structure and the surrounding environment. The studied system is a very fascinating mechanism designed to perform the opening of an aircraft door. This device is a fully mechanical assembly without electrical or electro-mechanic components.

The CAD modelling has shown its importance in order to study the influence of manufacturing tolerance or mounting errors on global performances. Moreover, the multibody simulation is a powerful tool to understand the complex movement of the door, check possible interferences, verify the interaction among all the sub mechanisms and sub structures and have an assessment of the forces which the joints have to support. This virtual simulation can avoid the manufacturing of physical prototypes and test rigs saving money and time to setup expensive tests for different solutions.

Moreover, the graphical output (i.e. movies, pictures) can be used for didactical purpose, for enriching assembly instruction, for training expert personnel, and also for reverse engineering purposes.

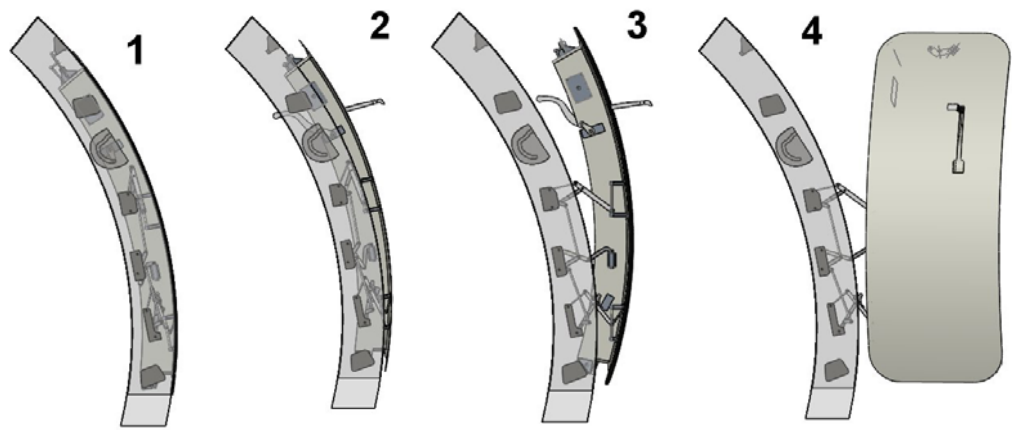


Figure 5: Opening phases of the aircraft door

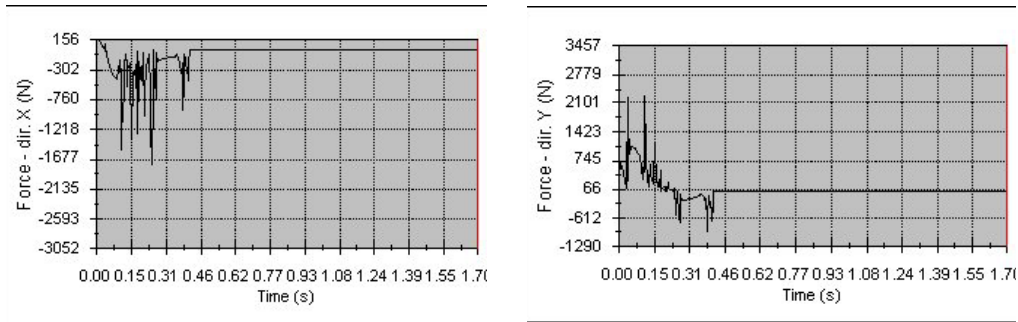


Figure 6: Examples of computed contact forces between pin and cam groove



## Acknowledgments

The authors wish to acknowledge Ing. Michele Zadro for his help in collecting information about the mechanism.

## References

BAKER, I.G. (1974), *Aircraft door with moving hinge line*, US Patent n°3791073

DI BENEDETTO, A., PENNESTRÌ, E. (1993), *Introduzione alla cinematica dei meccanismi*, Casa editrice ambrosiana, Milano, Italia, Vol. 1 (in italian).

HAUG, E. J.(1989) *Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems*, Allyn and Bacon, vol. I, pp.48-104.

KRAUS, R. (1955) *Geradführungen durch das Gelenkviereck*, Düsseldorf, Verein Deutsche Ingenieur (in german).

LIMITI, M. (2003) *Progetto di meccanismi per porte di aeromobili*, First Level Thesis in Mechanical Engineering, University of Rome Tor Vergata, a.y. 2002-2003 (in italian)

PENNESTRÌ, E. (2002) *Dinamica Tecnica e Computazionale*, Casa Editrice Ambrosiana, Vol. 2.

ZADRO, M. (2004) *Progetto di meccanismi che regolano il movimento di porte di aeromobili*, Degree Thesis in Mechanical Engineering, University of Rome Tor Vergata, a.y. 2002-2003 (in italian)



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### SIMULACIÓN EN EL MARCO DE UN SISTEMA PDM DE UN PROCESO INTEGRADO DE DISEÑO EN 3D Y FABRICACIÓN SIGUIENDO LA LÓGICA DE UN SISTEMA MRPII

DEL RÍO CIDONCHA, M<sup>a</sup> Gloria (1); MARTÍNEZ PALACIOS, Juan (2); MARTÍNEZ  
VIVAS, Rafael (3)

<sup>(1) (2) (3)</sup>Universidad de Sevilla, España

Escuela Superior de Ingenieros, Departamento de Ingeniería Gráfica

Correo electrónico: cidoncha@esi.us.es, juanmp@esi.us.es, rafa-martinez@wanadoo.es

### RESUMEN

Para optimizar los procesos productivos, reducir costes y adaptar la empresa a las variaciones cada vez más rápidas de los mercados, nacen a finales del siglo pasado los primeros sistemas de planificación conocidos como MRP (Manufacturing Resource Planning). Más recientemente, en la década de los 90, surgen los sistemas PDM (Product Data Management), que representan un esfuerzo por integrar los distintos sistemas informáticos que manejan todos los datos de la empresa. El objetivo de este artículo es mostrar, como se ha realizado, una simulación de un sistema PDM, que abarca dos aspectos: el proceso de diseño, utilizando y adaptando un sistema comercial de CAD-CAM (PRO-ENGINEER) y el proceso de planificación y fabricación usando MRP II. Primeramente se mostraran las ventajas que los sistemas MRP han aportado a los procesos productivos. Después se describirá el proceso de diseño del producto tratado, analizando características y ventajas del programa PRO-ENGINEER utilizado. Y por último se expondrá el desarrollo de una aplicación, realizada en Visual Basic, que integra el funcionamiento de un sistema MRP II, obteniendo del programa CAD, la información necesaria para lanzar las ordenes de fabricación de piezas y suministro de materias primas, simulando de este modo un entorno de trabajo PDM.

**Palabras clave:** PDM, CAD, CAM, PRO-ENGINEER, MRP II

### ABSTRACT

At the end of the last century arise the first systems of planning known as MRP in order to optimise the productive process, to reduce the costs and to adapt the company to the quicker changes of the markets. Recently, at the end of the nineties arise the PDM systems that represent the effort to make up the different informatic systems that handle all the information

of the company. The goal of this article is to show how a PDM system simulation has been performed covering two aspects: the design process, using and adapting a CAD-CAM (PRO-ENGINEER) commercial system and the planning and manufacturing process that uses MRP II. Firstly the advantages of MRP systems have provided to productive process will be shown. After that the design of the product process will be described, analysing the characteristics and advantages of PRO-ENGINEER program used. At last the development of an application performed in Visual Basic that make up the performance of a MRP II system will be shown, getting from the CAD program the necessary information to order the pieces manufacturing and the raw materials simulating a PDM work environment.

**Key words:** PDM, CAD, CAM, PRO-ENGINEER, MRP II

## 1. Introducción

El objetivo de este artículo es realizar una simulación de un entorno de trabajo PDM, abarcando sólo dos aspectos fundamentales del mismo: el proceso de diseño del producto, y los de planificación y fabricación de componentes y sus repuestos. Este sistema PDM, se ha materializado en una aplicación en Visual Basic que, integra una aplicación para CAD-CAM, utilizando el programa comercial Pro-Engineer, y una herramienta para la gestión de la producción, usando la lógica MRP II.

En los primeros apartados, se expondrán los orígenes y circunstancias que han llevado a las grandes empresas a utilizar en su gestión las filosofías de trabajo del MRP y PDM; se analizan las ventajas que estas técnicas proporcionan al proceso productivo y las consecuencias derivadas de su implantación. Posteriormente, se detalla el funcionamiento, de forma individual de los sistemas de CAD y MRP, y por último se describe la aplicación PDM, resultado de la integración de ambos. Todo esto se presenta con un ejemplo, el diseño y fabricación de un producto concreto, un cilindro hidráulico de doble efecto.

## 2. El Sistema de Control de la Producción MRP II

Ya a mediados del siglo XX, las empresas productoras eran conscientes de que errores en la estimación de la demanda suponen exceso de stock, deterioro de los productos almacenados, y considerables pérdidas económicas debido a los gastos de almacenamiento. Aparecen pues enfoques que tienen en cuenta la dependencia entre los componentes de fabricación y sus niveles de inventario, como el Programa Maestro de Producción (PMP), donde se establecen las necesidades en cantidad y fecha de entrega de los productos finales e intermedios. Sin embargo, la gran cantidad de datos que tenían que ser procesados y la complejidad de estos, debida a las relaciones entre los distintos componentes, requería una capacidad de cálculo no disponible en aquellos momentos.

El avance de las herramientas informáticas y de cálculo, a partir de los años sesenta comenzó a hacer factible la *Planificación de los Recursos de Materiales*, conocido por *MRP*. En este sistema la producción, los inventarios y las ordenes de compra comparten una misma base de datos, la cual está ligada a la gestión de las

capacidades de los recursos y admite posibles cambios o alteraciones del PMP. Los sistemas MRP en bucle cerrado o MRP II, permiten abarcar la mayoría de las tareas relacionadas con el proceso productivo; así la planificación de la producción es el resultado de la interacción entre los costes, los recursos y la demanda estimada. Representan una verdadera filosofía de gestión integrada, que posibilita la creación de una base de datos centralizada, y permite la coordinación de las distintas áreas de la empresa.

La formulación automatizada del proceso permite: evaluar la viabilidad de alternativas en la producción, ayudando en la toma de decisiones, optimizando la productividad; proporciona beneficios en la gestión de inventarios, y necesidades de material y se convierte en fuente de información para la política de compras; el control que proporciona sobre los costes, lo convierte en una herramienta fundamental para la planificación financiera. En resumen, los sistemas MRP II son una potente herramienta para la dirección y gestión de la empresa, garantizan la exactitud de la información, mejoran considerablemente el cumplimiento de los requisitos solicitados por el cliente.

### **3. Los Sistemas de Gestión de Información de la Producción PDM (Product Data Management).**

A principios de los ochenta empresa líderes en la aplicación de computadoras al proceso de diseño (y sus suministradores de software) comprobaron como su progreso se veía frenado por dos causas fundamentales: su dependencia aún de los sistemas basados en la información sobre papel y los problemas de gestión de grandes bases de datos, en especial, las que se utilizan para el control de los cambios o modificaciones (Change Management) del diseño y las relativas a configuración o versiones (Release Management) del producto.

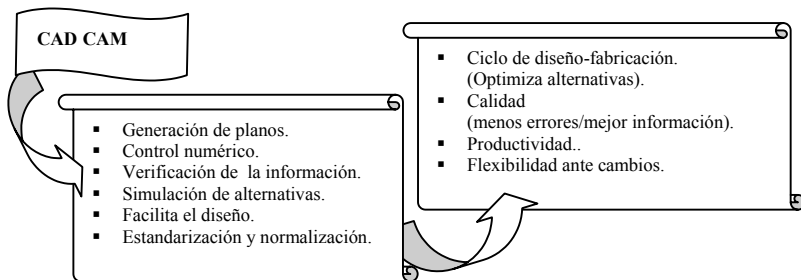
Nacen pues los sistemas PDM con los siguientes objetivos a cubrir: gestionar toda la información relacionada con los productos: archivos electrónicos, planos y bases de datos, a través del ciclo completo de vida del producto; así como incorporar un conjunto de aplicaciones que aumentan la eficiencia de los operarios y de los procesos involucrados en el diseño, producción, marketing, venta y servicios post-venta de un producto.

El diseño funcional de un PDM se centra en tres aspectos: optimizar al máximo el ciclo de desarrollo, diseño y modificaciones de un producto; gestionar el flujo de información, manteniendo el control de los datos y su distribución automática entre todos los participantes en el proyecto; y por último establecer una correcta gestión del flujo de trabajo entre áreas.

La implantación de un sistema PDM, por lo anterior, reducirá el tiempo de comercialización de un producto, producirá mejoras en el diseño y aumentará la productividad de los ingenieros, fomentando el trabajo en equipo, mejorará la gestión de las modificaciones y garantizará la integridad de los datos; entre otras ventajas.

## 4. Diseño en Pro/Engineer del Conjunto de Cilindro Hidráulico

La utilización de los sistemas de CAD/CAM proporcionan una valiosa aportación a la industria, ya sea directamente sobre el proceso productivo, o indirectamente sobre los objetivos de la empresa como resultado de lo anterior. En concreto, se automatiza la generación de planos a partir de la construcción 3D, permite el uso de técnicas de control numérico, proporciona un control continuo para la detección de errores, aporta una herramienta de simulación de prototipos reduciendo las tareas de diseño. Como consecuencia se reduce el ciclo diseño-fabricación, contribuye a la calidad del producto, permite optimizar el proceso productivo, y aporta flexibilidad al proceso ante cambios en las condiciones del entorno (por ejemplo del mercado).



*Figura 1. Ventajas derivadas del uso de técnicas CAD/CAM.*

En esta sección se abordan las características de una aplicación CAD/CAM como es Pro/Engineer, y se describe el proceso de diseño del conjunto.

### 4.1 Características de la aplicación Pro/Engineer

La aplicación Pro/Engineer presenta las características propias de las aplicaciones CAD/CAM, tales como: modularidad del programa, tratamiento integrado de sólidos, modelado paramétrico, asociatividad entre elementos en su definición, modelado de superficies y definición de mecanizados, permite la definición de librerías de uso general, y posibilita la intercambiabilidad con otros sistemas de CAD.

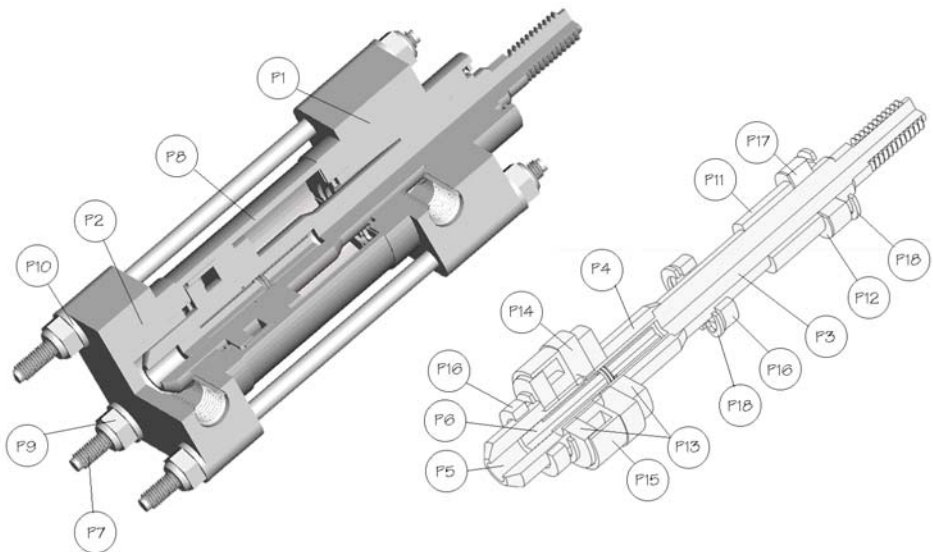
El núcleo central del programa está destinado a:

- El **diseño de piezas**, permitiendo el uso de protrusiones, cortes y ranuras, extrusiones, revolución y barrido de secciones a lo largo de una trayectoria. Permite la creación y modificación de funciones del tipo “seleccionar” y “posicionar”, el uso de elementos y sistemas de referencia, la definición de tolerancias y acabados superficiales, y la asignación de propiedades físicas a la materia del objeto.
- El **ensamblaje de piezas**, mediante la definición de relaciones entre planos, superficies, ejes, puntos y sistemas de referencia. Las relaciones utilizadas serán las de enfrentamiento (MATE), alineación (ALIGN), ambas con y sin desplazamiento (OFFSET), y de orientación (ORIENT) e inserción (INSERT).

- La **generación de planos**, vistas, y proyecciones de forma automática, utilizando el boceto con definición paramétrica de cotas, que posibilita una rápida redefinición de la geometría del conjunto.
- La realización de **operaciones de ámbito general**, como gestión de bases de datos, control de capas, inspección de información geométrica y medidas, y presentación y visualización de resultados.

## 4.2 Diseño Detallado del Conjunto.

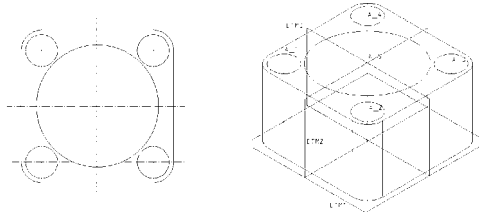
Para mostrar el uso de las herramientas de la aplicación Pro/Engineer, se ha elegido el diseño de un Cilindro Hidráulico de Doble Efecto, cuyo despiece se muestra en la figura 2, ya que se ha considerado que posee la suficiente complejidad mecánica como para poder destacar las ventajas del programa en su modelado.



*Figura 2. Despiece del Cilindro Hidráulico de Doble Efecto.*

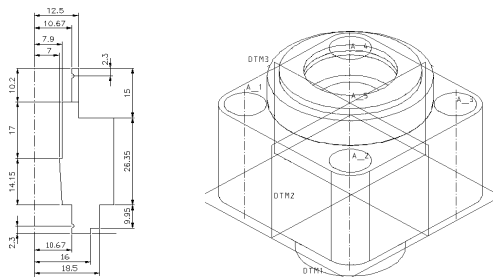
En primer lugar se diseñaron los componentes y piezas del conjunto, partiendo de bocetos parametrizados y que generaron los sólidos tridimensionales. En esta primera fase se crearon Planos de referencia (DATUM) a modo de sistema de coordenadas para crear y aplicar Funciones (FEAT) a partir de los bocetos. En el modelado tridimensional se emplearon herramientas como Taladros (HOLE), Chaflanes (CHANFER y ROUND), Ranuras (SLOT), Extrusiones (EXTRUDE), y Patrones de función (PATTERN).

Como ejemplo y con el fin de simplificar la descripción, se ha detallado la creación de la pieza 1, la cual presenta un completo uso del programa. La figura 3 muestra su proceso de extrusión.



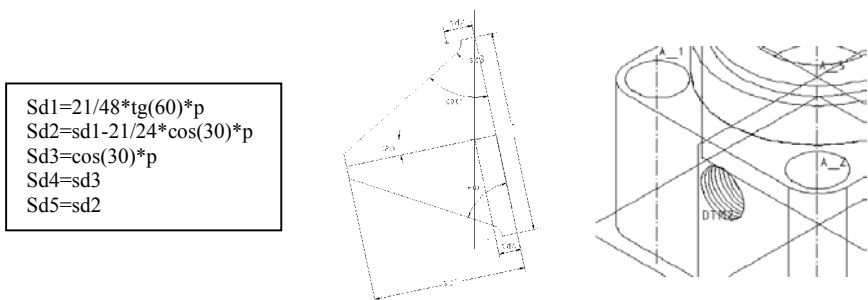
*Figura 3. Boceto parametrizado de la pieza 1, y resultado de la extrusión.*

Para crear el interior de la pieza se usa un taladro con la forma transversal de la sección interior del mismo. En la ventana “boceto” se realiza el trazado del mismo, y se establece una línea central (Center line) que servirá como eje de revolución. Se acota el conjunto y se regenera. Se pulsa “Done” y se posiciona el taladro en el centro de la pieza que se tiene construida (figura 4).



*Figura 4. Boceto y resultado de la extrusión por revolución.*

El siguiente paso consiste en la creación de un taladro lateral roscado. Para la realización de la rosca de métrica 8, se utilizaron líneas de trayectoria a partir de SPLINES, que permitieron generar un sólido a partir del boceto de la sección del filete. Para ello se dibuja el perfil del filete, parametrizando sus medidas en función del paso p como muestran las ecuaciones de la figura 5.



*Figura 5. Perfil de la rosca, parametrización de la misma, y resultado final.*

Otra posibilidad que ofrece el programa es la de añadir cortes a las piezas que permiten ver la sección interior de las mismas. Finalmente se procede al ensamblaje de las piezas mediante la definición de relaciones entre unas y otras. De esta estructura jerárquica se obtendrá con posterioridad la “*Lista de Materiales*”.

## 5. Simulación del Proceso Integrado de Diseño y Fabricación

### 5.1 Descripción del Procedimiento.

El programa que se ha generado debe ser capaz de:

- Importar la Lista de Materiales directamente desde la aplicación CAD
- Interpretar la Lista de Materiales para buscar, en una base de datos global, la información referente a los elementos implicados en ella.
- Establecer las previsiones referentes a la Planificación de Necesidades de Material para unos valores de demanda establecidos en un Programa Maestro de Producción.

El programa CAD empleado, en este caso Pro-Engineer, debe ser capaz de generar un fichero de texto con la información correspondiente a la Lista de Materiales (LM) del conjunto. El tratamiento de este fichero supone la identificación de cada elemento, del nivel al que corresponde cada uno, y las relaciones de descendencia. El siguiente paso consiste en la búsqueda en una base de datos general, de la información y características propias de cada uno de los elementos existentes en la LM. A partir de aquí, la aplicación genera de forma automática las tablas de información que serán utilizadas en el proceso de aplicación del método MRP. En la Tabla 1 se describen cada una de ellas.

Tabla 1: Descripción de las tablas generadas por la aplicación.

	Nombre de la tabla	Descripción de la tabla
Tablas de ámbito general.	Periodos	Descripción de los periodos en el horizonte de programación.
	Dato	Descripción de las variables y parámetros que serán evaluados por el método MRP.
	Pedidos	Información del Programa Maestro de Producción (PMP)
	SMD	Información del Segmento Maestro de Datos (SMD)
Tablas propias de cada caso.	Ident	Porción de elementos que sí están incluidos el la LM motivo de estudio.
	Provisional	Identificación, nivel, y descendientes de los elementos procesados a partir de la LM.
	Total	Contiene todas la variable evaluables para todos los elementos de la LM.



5.2 Funcionamiento del Programa.

En primer lugar se indica la localización del archivo que contiene la Lista de Materiales que es motivo de estudio. Para ello se ha diseñado una pantalla encargada de la “Gestión Documental” (Figura 6), en la que es posible localizar la unidad, carpeta, y nombre del archivo tanto de la Lista de Materiales, como de la base de datos con la que trabajar. Una vez seleccionados estos archivos, se generan las tablas “Ident” y “Provisional”. Al mismo tiempo, y partiendo de la información contenida en las tablas que hacen referencia al PMP y al SMD, se genera la “Total” que contendrá los resultados de la aplicación del método.

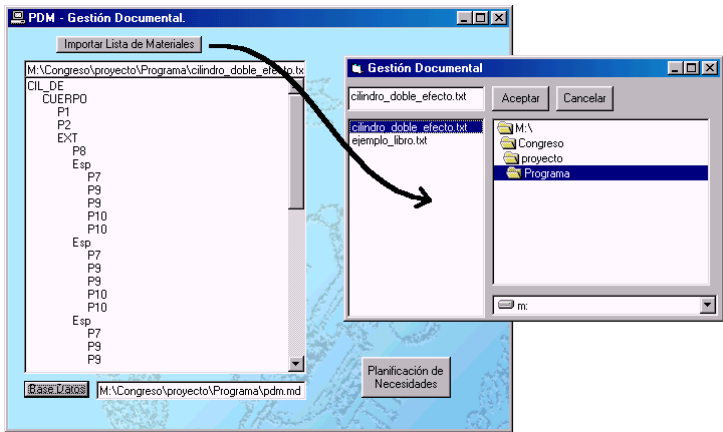


Figura 6. Ventanas encargadas de la Gestión Documental.

Posteriormente, pulsando “Planificación de Necesidades” se entra en la ventana encargada de la revisión de parámetros y valores, y de la aplicación del método MRP (Figura 7). En ella se tiene la posibilidad de visualizar todos los identificadores, y de conocer y modificar los valores del SMD y PMP para cada elemento de la LM.

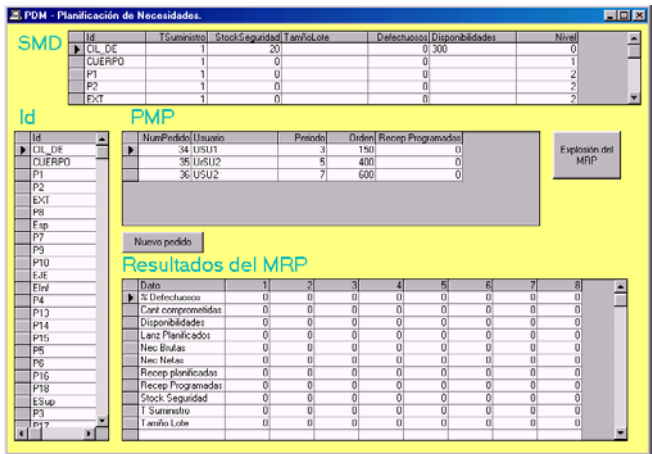


Figura 7. Ventanas encargadas de la Planificación de Necesidades.

Pulsando “Explosión del MRP” se aplica el método de cálculo correspondiente a la Planificación de Necesidades, cuyos resultados pueden ser inspeccionados para cada elemento en la tabla inferior. Para mayor comodidad en la inspección de los resultados, los valores nulos son eliminados y se presentan en blanco.

5.3 Aplicación a un Caso Práctico.

Se ha aplicado el programa a un caso práctico consistente en la explosión de necesidades del conjunto formado por el cilindro hidráulico, descrito anteriormente. (Figura 2). En primer lugar se ha generado el archivo que contiene la Lista de Materiales mediante Por-Engineer, el cual es tratado por la aplicación para la generación de las tablas que permiten el cálculo. Como caso práctico, se ha considerado un PMP con una cierta demanda tanto del conjunto completo como de parte de él, localizada en los periodos 2, 3, 5, 7 y 8, se han supuesto valores para el SMD, y se han establecido valores iniciales para las disponibilidades y recepciones previstas de algunos elementos. Toda esta información se detalla en las tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2: Programa Maestro de Producción.

PMP	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CONJUNTO			150		400		600	
EJE		40			200			100

Tabla 3: Segmento Maestro de Datos.

SMD	Identificador	Stock de Seguridad	Método de lote	Tiempo de suministro	Nivel más bajo
CILINDRO	CIL_DE	200	lote a lote	1	0
EJE	EJE	100	lote a lote	1	1

Tabla 4: Segmento de Estado de Inventario.

SEI	Identificador. (Id)		
	CIL_DE	CUERPO	EJE
Necesidades brutas (Nb)			
Disponibilidad (Disp)	300		250
Recepciones Programadas. (Rp)		30 en P=5	50 en P=3
Necesidades Netas (Nn)			
Recepción (RPPL)			
Lanzamiento (PPL)			

Una vez introducidos todos los valores iniciales de cada elemento, deberá comenzar el proceso de cálculo de las necesidades para poder satisfacer la demanda impuesta en el PMP. Este proceso, también llamado “*explosión de necesidades*”, deberá comenzar por los niveles superiores (nivel 0), desde el primer periodo hasta el final, y avanzando hacia niveles inferiores. En cada paso se deben calcular las

Necesidades Netas del elemento, y a partir de ellas los pedidos a realizar de los elementos descendientes. En la figura 8 se puede apreciar la presentación de resultados tras haber aplicado el proceso de cálculo.

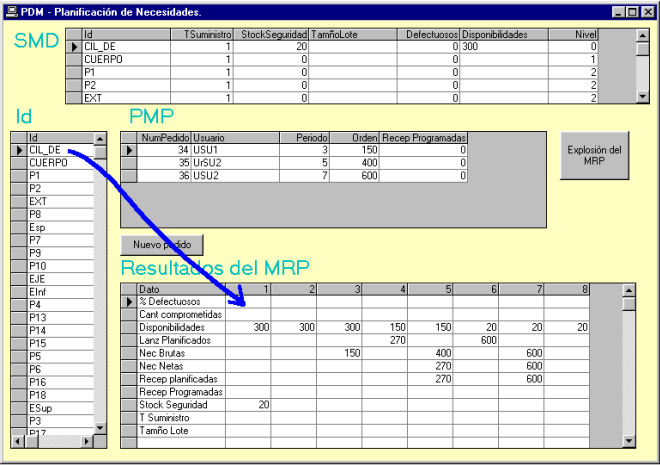


Figura 8. Resultados obtenidos por el programa.

## 6. Conclusiones

Los sistemas PDM, última generación de los sistemas de gestión de la producción, se basan en la integración de todos los datos que intervienen en el ciclo de vida de un producto desde su diseño, fabricación, venta y vida en manos del cliente. Estos sistemas permiten una acceso a esta información a todos los usuarios desde diferentes puestos y de forma jerarquizada y controlada, en tiempo real. El disponer de toda la información de un producto: unificada, estructurada y on-line, da lugar a ventajas indudables, que justifican el éxito y desarrollo que estos sistemas están adquiriendo.

El diseño de un producto, y las técnicas CAD-CAM que se utilizan para ello, adquieren, aún más relevancia, si cabe, en entornos PDM; al convertirse los datos extraídos de los mismos en base, y motores, para el resto de las actividades de la empresa; como además se ha comprobado en la simulación, que de un sistema PDM se plasma en este artículo.

## Referencias

PDM Information Company. <http://www.pdmic.com>. E-mail: [pdmic@aol.com](mailto:pdmic@aol.com).

Graphics & Webdesing. Tracy Lee Designs. E-mail: [tracylee@aol.com](mailto:tracylee@aol.com)

DRM Associates. Computer Aided Process Planning. Kenneth A. Crow. <http://members.aol.com>



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS UTILIZANDO VISUAL BASIC EN EL MODELADO DE SÓLIDOS CON CATIA V5R9

DEL RÍO CIDONCHA, M<sup>a</sup> Gloria (1); MARTÍNEZ PALACIOS, Juan (2); ORTUÑO ORTIZ,  
Francisco (3)

<sup>(1)(2)(3)</sup>Universidad de Sevilla, España

Escuela Superior de Ingenieros, Departamento de Ingeniería Gráfica

Correo electrónico: cidoncha@esi.us.es, juanmp@esi.us.es, pacortu@terra.es

### RESUMEN

Este artículo aborda la automatización de tareas en el modelado de sólidos con Catia V5R9, mediante el uso de macros. Una macro se utiliza para automatizar tareas a realizar de forma repetitiva, y también para desarrollar nuevas operaciones (Features), que faciliten el proceso de modelado y que no estén incluidas por defecto dentro del menú de órdenes. En el presente trabajo se muestran los conceptos necesarios para empezar a trabajar con las macros y se introducen los lenguajes de programación (basados en objetos) compatibles con Catia V5R9. Posteriormente, se describen los distintos objetos a partir de los cuales se construyen las macros. Finalmente, se incluyen varias aplicaciones que clarifican el uso de las herramientas estudiadas, y que ponen de manifiesto su gran utilidad.

**Palabras clave:** AUTOMATIZACIÓN, MACRO, MODELADO, CATIA, VISUAL BASIC.

### ABSTRACT

This paper show how to tackle the automatization of tasks in the solid modeling with CATIA V5R9 through the use of macros. A macro is used in order to automate repetitive tasks as well as to develop new operations (features) that facilitate the modeling process and that may not be included to menu order defects. This report is divided into three parts. The first part shows the concepts necessary to begin and work with macros, and the programming languages (object based), which are compatible with Catia V5R9, are introduced. Next, it describes the distinct objects with which the macros are constructed. The third part shows various applications which clarify the use of the study tools and which demonstrates clearly the usefulness of macros.

**Key words:** AUTOMATION, MACRO, MODELLING, CATIA, VISUAL BASIC.

# **1. Introducción**

El objetivo fundamental de este artículo es mostrar como se aborda la automatización de tareas en el modelado de sólidos con Catia V5R9, mediante el uso de macros, trabajando bajo el sistema operativo Windows y con el lenguaje de programación Visual Basic. Una macro es un código (escrito en un determinado lenguaje de programación) bajo el cual se agrupan un conjunto de operaciones que definen una tarea concreta. Se utilizan, para automatizar tareas a realizar de forma repetitiva, y también para desarrollar nuevas operaciones (Features), que faciliten el proceso de modelado y que no estén incluidas por defecto dentro del menú de órdenes. El trabajo presentado muestra los conceptos necesarios para empezar a trabajar con las macros y se introduce en los lenguajes de programación (basados en objetos) compatibles con Catia V5R9. Posteriormente, describe los distintos objetos a partir de los cuales se construyen las macros para el modelado de sólidos. Y por último, se incluyen varias aplicaciones que clarifican el uso de las herramientas estudiadas, y que ponen de manifiesto su gran utilidad.

## **2. Instrumentos para la Automatización de Tareas en el Modelado de Sólidos con Catia V5R9**

Catia V5R9 ofrece la posibilidad de automatizar tareas en el proceso de modelado de sólidos mediante el uso de tres herramientas: el “PowerCopy”, el “UserFeature” y las macros. El objetivo, de cualquiera de ellas, será la generación automática de resultados a partir de unos elementos de entrada o “inputs” que deberán ser en cualquier caso totalmente genéricos.

### **2.1. PowerCopy**

Esta herramienta permitirá automatizar tareas que hayan sido previamente ejecutadas de forma manual sobre un modelo sólido (documento CATPart). Para crear el “PowerCopy” se debe: definir los elementos del modelo (geometría, parámetros, fórmulas,...) que serán tomados como “inputs” genéricos del proceso de automatización, publicar aquellos parámetros cuyos valores pueden ser modificados por el usuario y seleccionar los elementos resultantes.

Una vez guardado, el modelo que contiene el “PowerCopy”, se podrá ejecutar en cualquier otro documento CATPart. Habrá que seleccionar los nuevos “inputs” y definir los valores de los parámetros publicados, a partir de aquí se generarán de forma automática y con todas sus especificaciones de diseño, tanto los resultados finales del proceso como los elementos intermedios necesarios para obtenerlos.

### **2.2. UserFeature**

El “UserFeature” facilita ejecutar tareas de forma automática dentro de un documento CATPart de manera muy similar al “PowerCopy”. La diferencia estriba en que sólo se crearan aquellos elementos intermedios que hayan sido seleccionados por el usuario y por tanto los resultados finales, como los elementos intermedios, serán

generados sin sus especificaciones de diseño, de forma que no podrán ser modificados a posteriori.

### **2.3. Macros**

Una macro es un código escrito en un determinado lenguaje de programación y bajo el cual se agrupa el conjunto de operaciones que definen la tarea a automatizar. Las ventajas esenciales que ofrece esta herramienta frente a “PowerCopy” y “UserFeature” son las siguientes:

- Automatización todo tipo de tareas en el modelado sólido.
- Ejecución rápida y sencilla mediante un icono en pantalla.
- Reducir al máximo el número de “inputs”, minimizando así la intervención del usuario en el proceso.
- Repetir la tarea que se automatiza un número de veces indefinido.
- Posibilidad de trabajar conjuntamente con documentos CATPart y CATDrawing, y así generar todo tipo de vistas del modelo sólido.

## **3. Los Lenguajes de Programación en Catia V5R9**

Catia V5R9 permite la creación y ejecución de macros mediante el uso de distintos lenguajes de programación basados en objetos. Cualquier entidad de la aplicación (documentos, ventanas gráficas, geometría, parámetros, fórmulas...) será representada y manejada desde estos lenguajes como un “objeto”. Trabajando en PC bajo el sistema operativo Windows se pueden utilizar entornos como: Visual Basic 5, Development Studio, Visual Basic para Aplicaciones 6.0 , Visual Basic Scripting Edition, Java/JavaScript o Visual C++.

### **3.1. Creación de Macros Utilizando Visual Basic**

La creación de macros desde la aplicación Catia V5R9 está directamente vinculada al lenguaje de programación Visual Basic de dos formas distintas, dos entornos propios de programación: el CATScript (edición simplificada de Visual Basic) y el VBScript (derivado del Visual Basic Scripting Edition ); y un acceso directo a través del menú de herramientas al entorno de programación externo Visual Basic para Aplicaciones 6.0

## **4. Estructura de Objetos de Automatización en Catia V5R9**

Los objetos de automatización de la aplicación se organizan según una estructura jerárquica de tipo padre-hijo. El objeto raíz del que descienden todos los demás es del

tipo “Application” que representa directamente al programa Catia V5R9. Con este objeto se pueden crear y manejar documentos y ventanas gráficas.

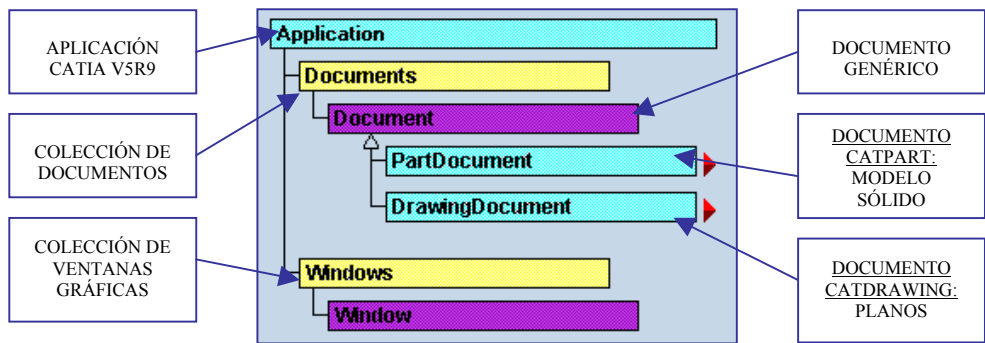


Figura 1. Esquema inicial de automatización de objetos.

4.1. Estructura de Objetos en un Documento CATPart

En estos documentos, el objeto padre de todos es del tipo “Part”. A partir de él, se crean y manejan sistemas de referencia, cuerpos sólidos (Bodies), OpenBodies (conjuntos de elementos de referencia: líneas, planos, superficies...), restricciones geométricas y dimensionales, parámetros y todas las relaciones que los gobiernan (fórmulas, reglas, chequeos...).

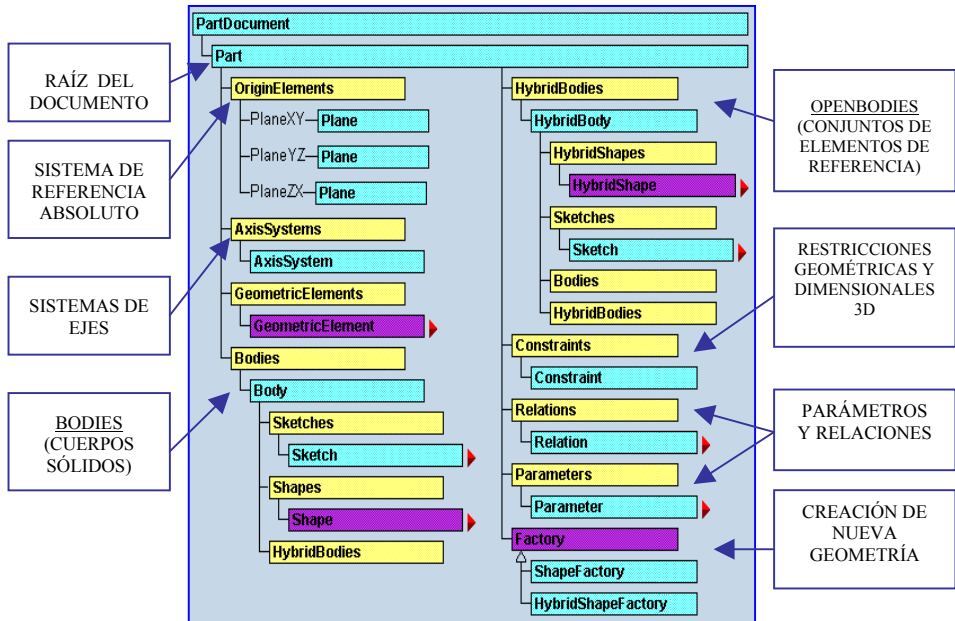


Figura 2. Estructura de objetos en un documento CATPart.

## 4.2. Estructura de Objetos en un Documento CATDrawing.

Los planos de cualquier modelo sólido serán elaborados partiendo del objeto tipo “DrawingSheets” (colección de hojas o planos de dibujo del documento). Con él se puede definir el formato y la escala de trabajo, generar vistas y realizar cortes o secciones, también crear textos y geometría 2D. Mediante los objetos tipo “Parameters” y “Relations” confeccionar parámetros, fórmulas, reglas....

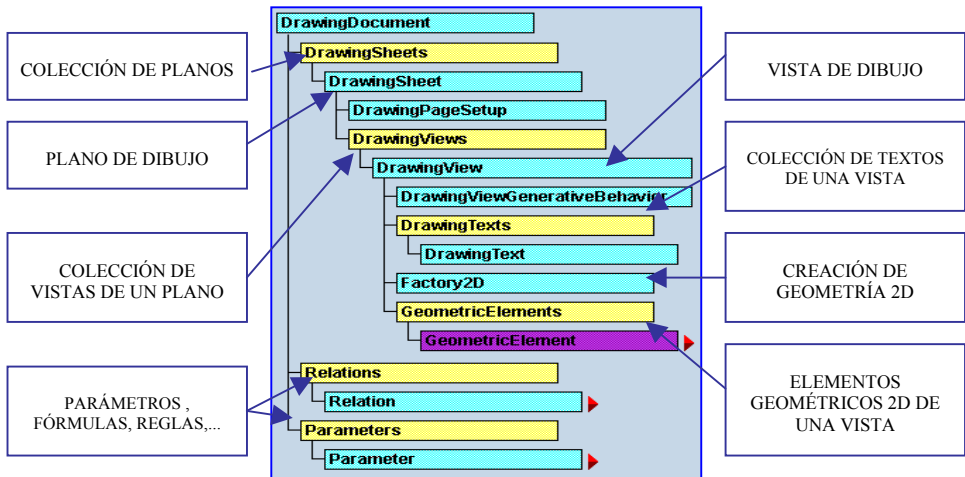


Figura 3. Estructura de objetos en un documento CATDrawing.

## 5. Descripción de los Procesos Automatizados Implementados

Las siguientes macros han sido desarrolladas utilizando el lenguaje de programación Visual Basic para Aplicaciones 6.0. El usuario será capaz de ejecutar las aplicaciones trabajando sobre cualquier modelo sólido con tan solo pulsar un icono situado en pantalla.

### 5.1. Automatización de Tareas Repetitivas.

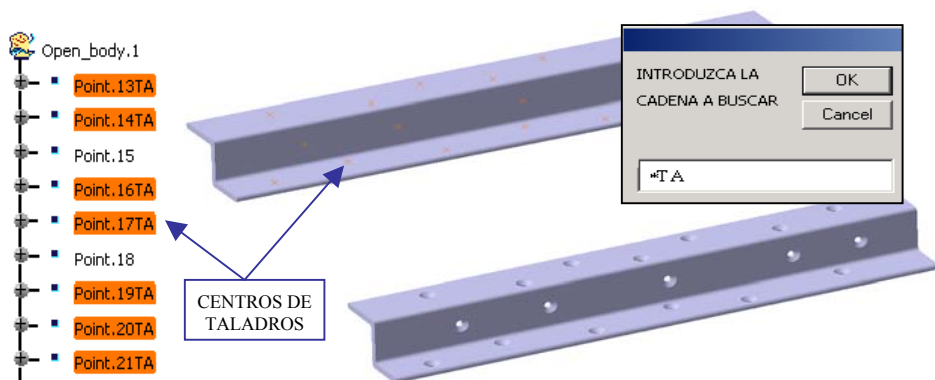
#### Generación de Taladros Avellanados

Esta aplicación realiza de forma automática y de una sola vez, un número indefinido de taladros avellanados en puntos situados sobre distintas caras del sólido (esto no es posible de forma manual mediante multiselección o uso de matrices).

Utilizando un sencillo formulario, se podrán introducir los parámetros que definen la geometría de los taladros (diámetro, profundidad, ángulo de cabeza y su profundidad) y determinar el método de selección de los centros: preselección en el árbol de estructura antes de ejecutar la macro, selección directa de los puntos sobre la geometría o el árbol, o bien localización a partir de una cadena de caracteres de búsqueda.



En el siguiente ejemplo se generan taladros en todos aquellos puntos de la geometría cuyo nombre termina en “TA”.



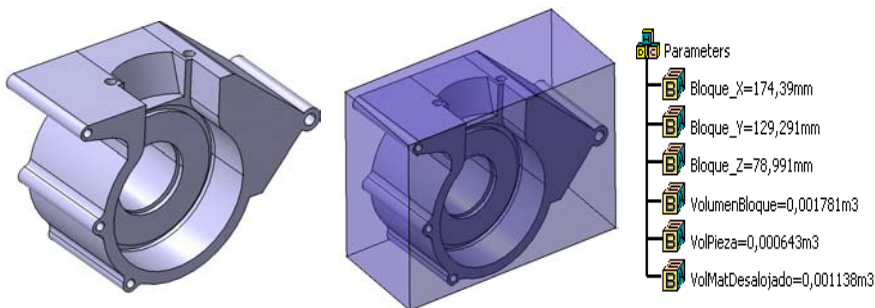
*Figura 4. Centros de taladros a partir de una cadena de caracteres.*

El proceso manual requeriría: localización de los centros que cumplen el criterio de búsqueda, uso repetitivo de la herramienta para la creación de taladros y de la herramienta para la creación de matrices (si procede) del módulo de diseño “Part Design”.

## 5.2. Desarrollo de nuevas herramientas.

### Generación del “Stock” de Partida de Piezas Mecanizadas.

Esta aplicación elabora automáticamente el stock o bloque sólido con el que, mediante distintas operaciones de mecanizado, se obtiene la pieza final. El análisis de inercia del modelo sólido establece las dimensiones y el volumen del “stock”, su geometría y el valor de viruta desalojado.



*Figura 5. Generación del “stock” de partida de la pieza.*

El bloque obtenido puede ser utilizado, por ejemplo, para simular el proceso de mecanizado con el módulo “NC\_Manufacturing” de Catia V5R9. En un formulario

inicial se introducen los excesos de material del bloque en las tres direcciones (el eje X se corresponde con la dimensión mayor del stock y el eje Z con la menor).

El proceso manual requeriría: interpretación de los datos obtenidos del análisis de inercia del modelo, creación de la geometría completa del “stock” mediante los módulos de diseño mecánico teniendo en cuenta los excesos de material y generación de datos tales como dimensiones y volumen del “stock” o volumen de viruta desalojado.

### Generación de los Planos que Pasando por una Recta Formen $\alpha$ Grados con un Plano Dado.

Esta aplicación facilita la obtención de los planos que pasando por una recta de referencia forman  $\alpha$  grados con un plano dado (no existe ninguna herramienta de Catia V5R9 que permita obtenerlos directamente). La recta y el plano de referencia serán seleccionados en pantalla.

El ángulo  $\alpha$ , introducido por el usuario, se controla mediante fórmulas y chequeos. Si su valor estuviera fuera del rango de validez permitido (ángulo recta-plano dados y  $90^0$ ), se mostraría un mensaje en pantalla informando del límite infringido.

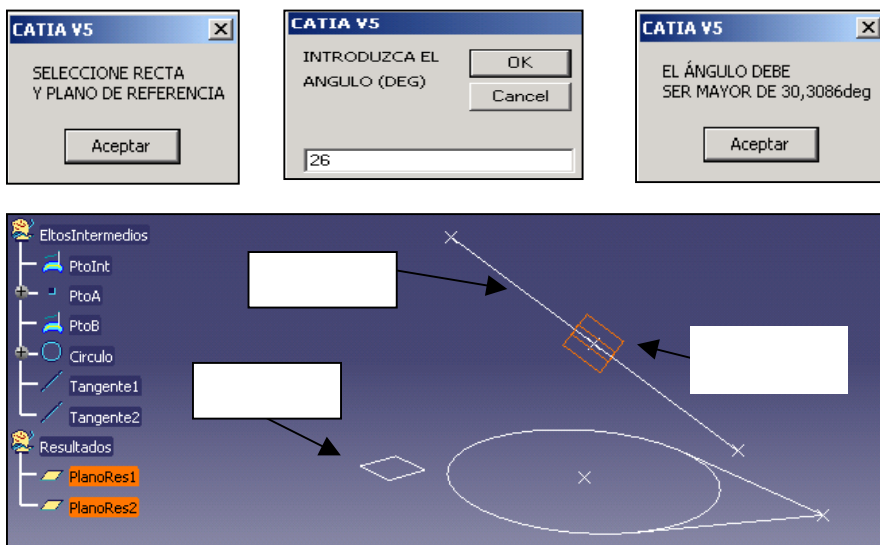


Figura 6. Ventanas interactivas y generación de planos.

El proceso manual requeriría: control del rango de valores admisible del ángulo  $\alpha$  y generación a partir de los elementos de referencia de toda la geometría necesaria para obtener los planos resultado.

### 5.3. Control de Ejecución de Tareas.

#### Generación Automática de Aligeramientos Normalizados en Chapas Planas.

Los taladros de aligeramiento son elementos muy utilizados en la industria para disminuir el peso y aumentar la rigidez de las chapas. La generación automática de este tipo de taladros supone un ahorro de tiempo importante en el modelado de piezas de chapa y sobre todo permite *asegurar el cumplimiento de la normativa* específica que afecta a este tipo de elementos. La macro diseñada permite realizar taladros de aligeramiento normalizados simplemente seleccionando su centro en pantalla.

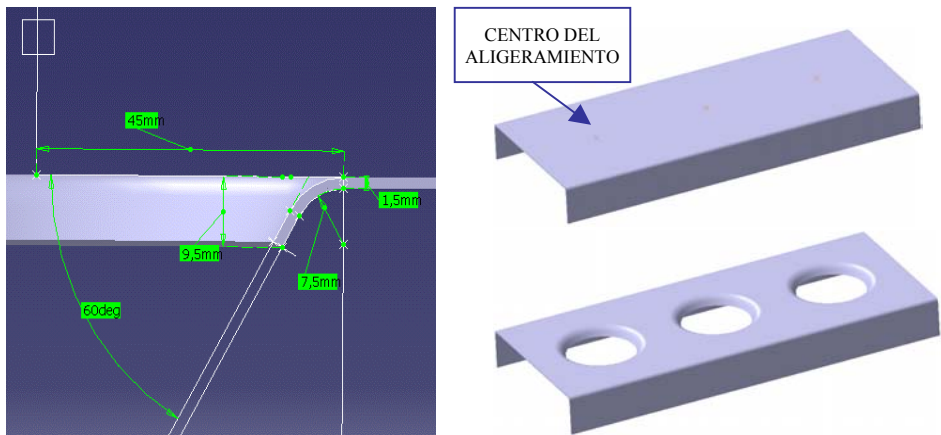


Figura 7. Geometría normalizada y generación de aligeramientos.

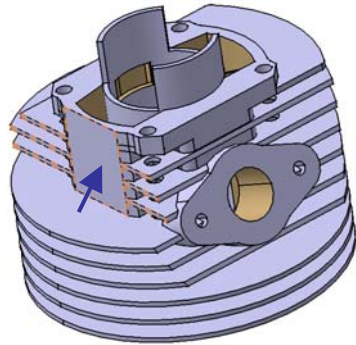
El proceso manual requeriría: creación según normativa de la geometría que define el perfil del aligeramiento, generación de la geometría completa del aligeramiento mediante revolución del perfil creado alrededor del eje del taladro, eliminación del material interior sobrante mediante una operación booleana de sustracción, utilización de matrices si procede o bien repetición de los pasos anteriores para generar el resto de los aligeramientos de la pieza.

### 5.4. Accesibilidad de Usuarios a Tareas Complejas.

#### Generación Automática de Planos en Formato DXF.

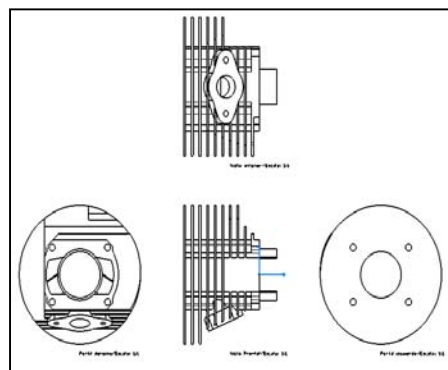
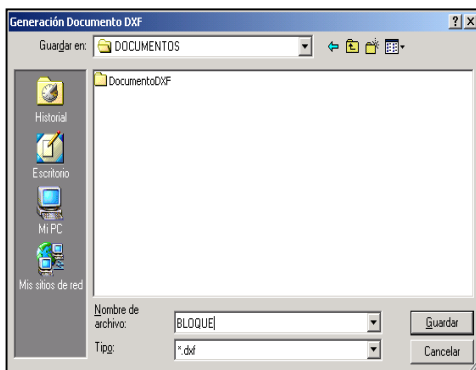
Esta aplicación posibilita a cualquier usuario, independientemente de su nivel de conocimientos de Catia V5R9, la generación automática de un documento en formato “dxf” (legible desde otros programas de CAD) que contenga las vistas normalizadas de cualquier modelo sólido.

A través de un formulario el usuario definirá el tipo de formato que desea utilizar, la escala y las vistas normalizadas que se incluirán en el documento.



*Figura 8. Formulario inicial de la aplicación y selección de la faceta de referencia para vista frontal.*

Una vez completado el formulario, se selecciona la faceta o cara de referencia para la vista frontal y definir tanto el nombre como la ubicación destino para el documento dxf. Las vistas de dibujo se distribuirán de manera uniforme dentro del formato.



*Figura 9. Definición del nombre, ubicación del documento dxf y generación de vistas*

El proceso manual requeriría: creación de un nuevo documento de dibujo “CATDrawing”, utilización de las herramientas del módulo de dibujo “Drafting” para la creación de la vista frontal del modelo sólido, generación del resto de vistas normalizadas a partir de la vista frontal, distribución uniforme de las vistas dentro del formato de trabajo y creación del documento con formato “dxf”.

## **Análisis de Parámetros.**

La última de las aplicaciones desarrolladas permitirá localizar rápidamente aquellos elementos del modelo que estén afectados por el valor de un determinado parámetro de diseño. Una vez seleccionado el parámetro de interés, quedarán remarcados todos los elementos vinculados a él (geometría, fórmulas, ...).



*Figura 10. Información de parámetros.*

El proceso manual requeriría el análisis detallado mediante vínculos padre-hijo de todas las relaciones (fórmulas, reglas...) en las que el parámetro en cuestión interviene. Aún así, no sería posible visualizar todos los elementos afectados de una sola vez.

## 6. Conclusiones

Esencialmente se puede afirmar que:

- Las macros son la herramienta más potente y versátil que ofrece Catia V5R9 para la automatización de tareas en el modelado de sólidos.
- Visual Basic para Aplicaciones 6.0 posibilita el desarrollo de manera rápida y eficaz de cualquier tipo de macro.
- Los vínculos entre los objetos de automatización son básicos en el proceso de creación de las macros.
- El control de errores de ejecución de las macros permitirá definir en todo momento el tipo de objeto manejado y asegurar el desarrollo correcto del proceso.
- El sistema de selección múltiple en pantalla y el funcionamiento de algunas propiedades y métodos para ciertos objetos deberían ser mejorados en versiones superiores de la aplicación.

## Referencias

*CATIA - Data Exchange Interfaces User's Guide.* Dassault Systèmes 1994-2001 (Ayuda del CATIA v5r9).



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INTERCAMBIO DE MODELOS SÓLIDOS ENTRE DISTINTOS SISTEMAS DE CAD MEDIANTE EL FORMATO NEUTRO STEP.

DEL RÍO CIDONCHA, M<sup>a</sup> Gloria (1); MARTÍNEZ PALACIOS, Juan (2); RONQUILLO  
JAPÓN, Mariano (3)

<sup>(1)(2)(3)</sup>Universidad de Sevilla, España

Escuela Superior de Ingenieros, Departamento de Ingeniería Gráfica

Correo electrónico: cidoncha@esi.us.es, juanmp@esi.us.es, mronquillo@mediaconsult.es

### RESUMEN

La información generada de un producto, a lo largo de su diseño, fabricación, mantenimiento y venta, puede ser tratada con distintos sistemas CAD/CAE/CAM. Este trabajo aborda un tema, tan fundamental y de actualidad, para los usuarios, como es la comunicación entre sistemas. El formato STEP es un estándar desarrollado por la ISO, que hace posible este intercambio de información, y que se está usando exitosamente en diversos sectores industriales. En este artículo se revisa la estructura y funcionamiento de este Protocolo de Aplicación, realizando diversos intercambios de modelos sólidos entre dos sistemas de CAD/CAM: CATIA v5 y SOLID EDGE v9. Son analizadas las limitaciones y ventajas de sus traductores de STEP, para conseguir unas pautas de diseño encaminadas a obtener una transferencia de datos correcta.

**Palabras clave:** CAD, CAM, CAE, STEP, MODELADO, INTERCAMBIO .

### ABSTRACT

Product data generated over its entire life cycle (design, manufacturing, maintenance and sale) can be managed using different CAD/CAE/CAM systems. This paper documents an introduction for data exchange, a chance to transfer data between software application program from differing vendors. STEP format is an international standard for the representation of product data, which provides a neutral format for product data exchange; different companies have succeeded using STEP. How the data models are used to define a formal standard exchange mechanism for product model data is investigated, in addition to test the exchange between two CAD systems: CATIA v5 and SOLID EDGE v9. Both STEP half translators are analysed, so that you can get some design tips in order to succeed in the exchange.

**Key words:** CAD, CAM, CAE, STEP, MODELLING, EXCHANGE .

# **1. Introducción**

Hoy en día, el trabajo del ingeniero está fuertemente unido al ordenador en general, y a los sistemas CAD/CAE en particular. Cada empresa de ingeniería opta por un sistema en concreto eligiendo entre todos los que ofrece el mercado: CATIA, I-DEAS, PRO/Engineer, ..., y siendo común las subcontratas de proyectos entre empresas de ingeniería, es muy posible que no coincidan en el software de trabajo. Y es aquí, donde entra en juego la existencia de un formato neutro de intercambio entre distintos sistemas CAD.

La información generada sobre un producto a lo largo de su diseño, fabricación, mantenimiento y venta puede ser tratada con distintos sistemas CAD/CAE/CAM apareciendo el problema de compatibilidad entre los mismos. Para evitarlo, se necesita facilitar la información del producto de forma interpretable por cualquier sistema, es decir, es necesario un formato neutro. El formato STEP es un estándar desarrollado por la ISO que pretende hacer posible el intercambio de información en cualquier punto del ciclo de vida de un producto.

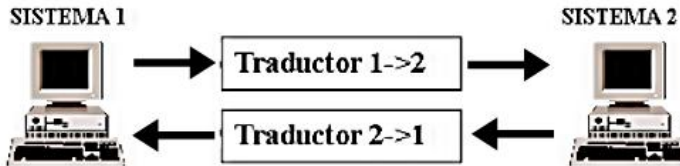
Este trabajo muestra en qué consiste la transferencia de datos, así como su evolución histórica, para luego entrar a valorar los formatos neutros más usados actualmente, así como la problemática general asociada al intercambio de información entre distintas organizaciones y sistemas. Se trata el formato STEP, su estructura y organización. Se estudia en especial el Protocolo de Aplicación 203, es decir, la parte de la Norma ISO 10303 que interesa para poder efectuar intercambio de modelos sólidos. Se enumeran y razonan una serie de pautas y recomendaciones para diseñar modelos 3D en busca de la mayor efectividad posible en los posteriores intercambios de estos. Se habla sobre los traductores intermedios en general, para luego hacer un análisis de los de CATIA v5 y SOLID EDGE v9 en particular, destacando tanto los defectos como las virtudes de uno y otro, puntos críticos del intercambio y posibles soluciones a problemas tipo. Se plantea la experiencia de intercambio de modelos sólidos entre dos sistemas distintos, marcando unas pautas tanto de diseño, como de actuación y análisis. Este test sirve de procedimiento de evaluación de transferencia de modelos 3D entre cualesquiera que sean los sistemas emisor y receptor. Por último, se dan los resultados obtenidos al aplicar el test propuesto entre los sistemas CATIA y SOLID EDGE y se obtienen una serie de conclusiones de las transferencias.

## **2. Revisión Histórica del Intercambio de Información entre Sistemas CAD**

El gran empuje y desarrollo con el que han entrado los ordenadores tanto a nivel familiar como industrial hacen hoy en día de esta máquina un elemento imprescindible en muchos aspectos, entre ellos, en el diseño industrial. Con los sistemas CAD/CAM/CAE, el proceso que va desde que se concibe una idea hasta que se finaliza su producción es más sencillo, económico y flexible, gracias a las herramientas y potencia computacional de los ordenadores. Un punto conflictivo es el del intercambio de información entre dos sistemas diferentes. Se presenta a continuación la evolución a lo largo del tiempo seguida por el intercambio de información.

## 2.1. Primera Generación de Intercambio de Datos: Traductores Directos.

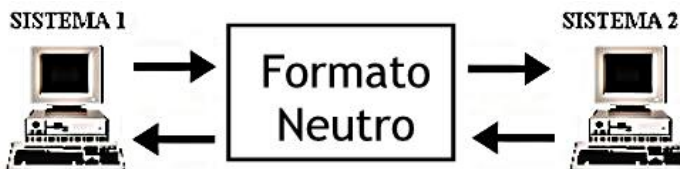
Este método consiste en tomar datos del sistema origen y traducirlo al formato propio del sistema destino. Es similar al proceso de traducir de un idioma a otro. Su principal inconveniente, es que el traductor debe ser específico y especializado con cada versión del sistema, así en cada actualización de un sistema también habrá que retocar el traductor de éste.



*Figura 1: Intercambio de datos mediante traductor directo*

## 2.2. Segunda Generación de Intercambio de Datos: Traductores Intermedios.

Es teóricamente la opción más efectiva y la que internacionalmente se está consiguiendo imponer. Cada sistema de CAD necesita un pre-procesador, que traduce su formato o código interno a formato neutro, y un post-procesador, que traduce del formato neutro al propio del sistema.



*Figura 2: Intercambio de datos mediante traductor intermedio*

## 2.3. Formatos Propietarios.

Están a medio camino entre los dos anteriores. Consiste en que algunos creadores de software suministran sus propios formatos cercanos a la estructura de sus propios programas. Este método anima a los usuarios a adquirir sistemas que estas empresas producen. El ejemplo más claro es el formato DXF de Autodesk, unos de los líderes en sistemas CAD, con su programa AutoCAD a la cabeza.

Como se ha reseñado, los traductores indirectos son los que se están imponiendo internacionalmente, con el IGES y el STEP a la cabeza. En la tabla 1, se resume el uso de los distintos estándares en los diferentes sectores de la industria (el doble asterisco \*\* indica el uso más amplio en cada sector).

Aunque IGES sigue siendo el formato neutro más usado en la industria, en un futuro este formato está abocado a ser superado por STEP, impulsado por la ISO, pues está previsto que este estándar abarque todos los ámbitos en que se trabaja industrialmente.



Tabla 1: Uso de estándares en el sector industrial

	IGES	SET	VDAS-FS	EDIF	POSC	DXF
Aerospacial	**	*				*
Automoción	**	*	*			*
Construcción y edificación						**
Plantas de procesos	*	*				*
Gas y combustible					**	*
Naval	*					*
Electrónica / electricidad	*	*		*		
Bienes de consumo	*					*

3. Problemática General del Intercambio de Datos

Las incompatibilidades existentes entre los distintos sistemas de información usados en los procesos de diseño, ingeniería y fabricación han provocado un aumento en los problemas relacionados con el intercambio de datos. Estos problemas son más acusados y relevantes mientras más concurrente sea el desarrollo del proyecto, es decir, mientras más organizaciones o empresas colaboren en un mismo trabajo, ya que, por lo general, cada empresa colaboradora trabaja con su propio sistema de CAD/CAM/CAE y/o sistema operativo. La mayor o menor eficiencia a la hora resolver este problema tiene una influencia directa e importante sobre los costes del proyecto. El estándar STEP (Standard for the Exchange of Product model data), en desarrollo continuo, ya ha demostrado una madurez importante avalado por casos concretos que podemos encontrar en grandes compañías como Lockheed Martin, Boeing, Ford, Opel, General Motors o Roll-Roice.

4. Descripción del Formato Step

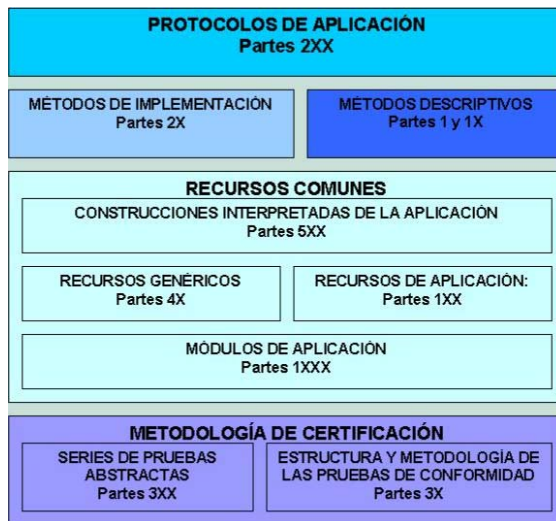
La ventaja de STEP es, que representa “completamente” el modelo de un producto, no limitándose únicamente a su representación gráfica o visual. Esto lo consigue gracias a una metodología que incorpora modelos de referencia, lenguajes de definición formal y una arquitectura en tres niveles:

- Nivel de aplicación: los modelos de datos tratan de aplicaciones individuales o disciplinas como productos mecánicos, eléctricos, construcción, etc.

- Nivel lógico: los modelos de datos genéricos describen conceptos comunes utilizados tanto, en todas las aplicaciones, como en la definición de la estructura de un producto, su forma (geometría, topología) y su presentación.
- Nivel físico: el formato del fichero para intercambio de los datos.

Los requerimientos y necesidades industriales son la clave para STEP, ya que depende directamente de los datos, en contraste con su independencia de las herramientas informáticas que manejan esos datos. Por eso, se recurre a la propia industria para desarrollar STEP.

Debido a su amplitud, la Norma STEP se organiza en cinco bloques, cada uno con una Serie de Partes y un número identificativo. Las Series, agrupan las distintas Partes que forman la ISO 10303; cada Parte de la Norma es un capítulo independiente de la misma, que a su vez puede ser usada por otras Partes de la Norma. Es decir, la estructuración en bloques reutilizables le otorga una funcionalidad muy amplia, y unas posibilidades de ampliación casi sin límites.



*Figura3: Estructura simplificada de STEP*

Los Protocolos de Aplicación, en el primer nivel de la jerarquía mostrada, permiten representar e intercambiar datos de productos generales o de un sector concreto (naval, automoción, etc.), y en cualquier punto de su ciclo de vida (pre-diseño, análisis, fabricación, optimización, etc.). En concreto, el Protocolo de Aplicación 203 (AP203: Configuration-Controlled design) es el que facilita intercambiar modelos sólidos entre distintos sistemas CAD.

El AP203 permite representar el sólido con el que se trabaja según distintas clases de conformidad, de las cuales la más avanzada es la clase de conformidad 6, que representa el modelo por su frontera, es decir, por su topología, y a partir de ésta genera la geometría del modelo.

## 5. Intercambio de Modelos Sólidos entre Solid-Edge V9 y Catia V5

Es fundamental al enfrentarse a un intercambio entre sistemas, conocer la forma de trabajo del pre- y post-procesador de cada uno. Se presentan, a continuación, las principales características de los procesadores en SOLID EDGE V9 y CATIA V5.

### 5.1. Características del Pre y Post-Procesador Step de Solid Edge V9.

- (a) Pre-procesador: propone opciones de exportación (figura 4), genera un reporte del mapeo del traductor, contabilizando entre los distintos tipos de entidades que genera, etc.



Figura 4: Opciones de exportación de SOLID EDGE

- (b) Post-procesador: genera reporte del proceso de importación de STEP, en el que resume todas las incidencias y entidades reconocidas e importadas. Si encuentra errores en el archivo STEP, trata de solucionarlo, dando información de lo sucedido en este reporte. A destacar las opciones y utilidades que brinda este traductor.

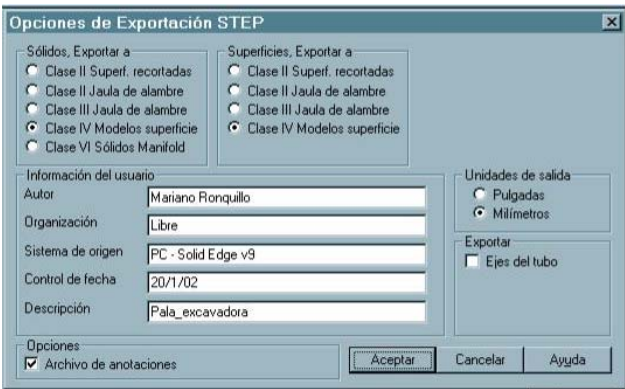


Figura 5: Opciones de importación de SOLID EDGE

## 5.2. Características del Pre y Post-Procesador Step de Catia V5.

- (a) Pre-procesador: evidencia importantes carencias, tales como la ausencia de un reporte que informe de cómo fue el proceso de traducción a STEP, o como la falta de opciones de configuración para elegir la forma de mapeo de este traductor; tampoco permite personalizar la cabecera del archivo STEP, algo de bastante ayuda pues nos da información general del propio archivo. Al menos, sí que refleja en el STEP el día y la fecha en que se creó el fichero. Pero en resumen, se puede afirmar que los traductores de CATIA están aún en una fase inicial poco desarrollada, pues necesitan una interfaz mucho más completa y personalizable.
- (b) Post-procesador: genera un reporte donde informa, sólo y únicamente, de los errores producidos en la traducción, si es que existen. Las entidades no interpretadas por CATIA quedan en el espacio NO/SHOW. Tampoco deja ninguna variable para que el usuario *dirija* mejor el proceso de traducción.

## 5.3. Consejos Prácticos para un Correcto Intercambio.

### 5.3.1. Creando Modelos.

- Usar entidades que sean soportadas por el traductor intermedio del sistema.
- Crear modelos sencillos, osea, utilizar siempre que sea posible geometría básica y sólidos primitivos (esfera, cilindro, cono,...).
- Modelar con el nivel de detalle justo requerido, es decir, si el cliente o parte receptora no lo necesita, no hace falta modelar la rosca de un tornillo, por ejemplo.
- Conocer y evitar aquellas prácticas de modelado que crean geometrías inválidas (no intercambiables): cáscaras muy finas (poco espesor), con bordes redondeados o achaflanados sólo exteriormente,...

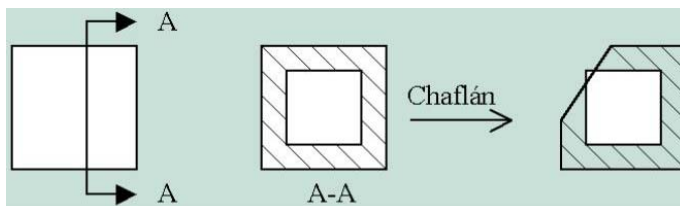


Figura 6: Chaflán que crea una pieza con geometría no válida.

- Emplear unidades (mm, kg,  $\text{kg/m}^2$ , etc.) previamente establecidas entre las partes: emisor y receptor.
- Manejar la mayor precisión posible. Esto incrementa las posibilidades de éxito del intercambio.

### **5.3.2. Chequeando Modelos Previamente al Intercambio.**

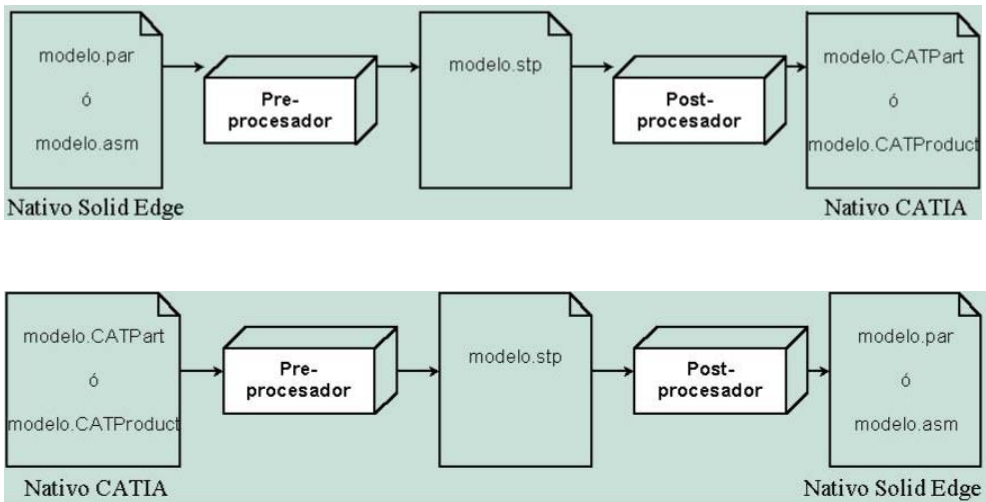
- Chequear entidades extremadamente pequeñas o de tamaño cero.
- Chequear que el modelo contiene sólo la información que necesita ser intercambiada.
- Chequear que el modelo es válido en el sistema, primero, usando comandos propios para validarlo, y segundo, usando y operando con él, de forma similar a como lo hará la parte receptora (presentarlo sombreado o con texturas, detección de choques y contactos, etc.).
- Una interesante práctica para asegurar un intercambio correcto estriba en comparar las propiedades físicas del modelo original con las del recibido a través de su formato STEP. Esto es, en calcular el volumen y/o el peso del modelo sólido en el sistema donde se ha modelado, para luego compararlo con el obtenido en el sistema receptor del fichero STEP de dicho modelo. Si coinciden ambos volúmenes y/o pesos (teniendo el cuidado de adoptar la misma densidad en ambos sólidos) será una señal adicional para poder afirmar que se ha tenido una transferencia correcta.
- Comprobar que las unidades usadas, sean las establecidas arbitrariamente.

### **5.3.3. Al Recibir un Fichero Step Proveniente de otro Sistema:**

- Verificar si el fichero contiene información de acuerdo con el estándar establecido; en este caso, formato STEP AP203.
- Chequear que el fichero no ha sufrido conversiones que lo haya corrompido. Por ejemplo, al pasar de ASCII a EBCDIC pueden convertirse caracteres especiales propios de STEP a otros distintos que falsean el fichero.
- Comprobar que el fichero está completo, que no ha sido truncado.
- Verificar y usar unas unidades métricas establecidas arbitrariamente entre el emisor y el receptor.

## **6. Análisis de los Resultados Obtenidos**

Conocido cada uno de los sistemas CAD y de sus traductores, se procede a la evaluación del intercambio de modelos sólidos entre CATIA y SOLID EDGE, analizando el proceso tanto en un sentido como en otro (ver figura 9). El objetivo principal consiste en establecer si la implementación de cada sistema soporta e interpreta correctamente la clase de conformidad 6 del Protocolo de Aplicación 203. Implica la evaluación tanto del pre-procesador (creación del fichero STEP) como del post-procesador (lectura e interpretación de un fichero STEP dado).



*Figura 7: Intercambio de SOLID EDGE a CATIA y viceversa*

Para evaluar el intercambio se han definido modelos sólidos (en ambos sistemas CAD) de complejidad creciente, y un último modelo que es el ensamblaje de todos los anteriores. Así, en una primera fase sólo se introducen sólidos primitivos, cuyas curvas y superficies son analíticas; en la segunda fase, se generan nuevos sólidos a partir de operaciones booleanas con los de la fase previa, obteniendo así una geometría de mayor complejidad. En la tercera fase, ya se usan sólidos de forma libre, apareciendo superficies más complejas (NURBS). Así hasta una séptima fase, con los sólidos más complejos. Finalmente, en la octava fase, se trabaja con varios assemblies de los modelos anteriores, creando varios de distintos niveles.

Como resumen de los resultados destacar lo siguiente:

- En las transferencias de CATIA a SOLID EDGE, se ha obtenido una eficacia de casi el 100% de todos los modelos usados. Todo ello, gracias a un post-procesador de SOLID EDGE muy transparente y eficiente, donde el usuario puede ver lo que hace la máquina e incluso optimizar su funcionamiento. Sólo reseñar, que para conseguir transferencias exitosas en este sentido hay que ocultar el triedro que por defecto siempre aparece en la pantalla gráfica de CATIA, pues si no se hace, se obtiene éste en SOLID EDGE con unas dimensiones desmesuradas que corrompen el modelo recibido.
- En las transferencias de SOLID EDGE a CATIA, se ha obtenido una eficacia deficiente, más de la mitad de los modelos recibidos contienen errores insalvables. El origen de la ineficacia está en lo restrictivo del pre y post-procesador de CATIA.

## 7. Conclusiones

Como conclusiones de esta experiencia, se tiene que:

- CATIA es un sistema de CAD/CAM/CAE mucho más potente, amplio, versátil y profesional que SOLID EDGE.
- Los traductores de STEP en CATIA v5 tienen unas características poco flexibles y un funcionamiento deficiente, que hace complicada la transferencia de modelos a y desde otros sistemas.
- Los traductores STEP en CATIA v5 carecen de opciones de configuración. No ofrecen la posibilidad de elegir la clase de conformidad según la cual se quiere crear el archivo STEP. No generan una cabecera que dé información general del archivo STEP, y tampoco permiten elegir la forma de mapeo de las distintas curvas y superficies, etc. En resumen, se puede afirmar que los traductores de CATIA están aún en una fase inicial poco desarrollada, pues necesitan una interfaz mucho más completa y personalizada.
- Los traductores STEP de SOLID EDGE presentan un funcionamiento muy estable, capaz de leer modelos que le son defectuosos inicialmente, pero que son capaces de arreglarlos en muchos casos. Ofrecen reportes tanto cuando importan como cuando exportan, además de dar distintas opciones de traducción, permitiendo elegir la clase de conformidad deseada para los sólidos y las superficies.
- En los traductores STEP de SOLID EDGE queda sesgada su funcionalidad en lo que se refiere a la Clase de Conformidad 1 (identificación de los suministradores del producto o del diseño del producto, la documentación de los cambios y realización de los diseños del producto, la historia del desarrollo del producto, etc.).

## Referencias

*International Standard ISO 10303* por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), Primera Edición 15-12-1994.

NELL, Jim G. *STEP on a page*. National Institute of Standards and Technology. Disponible en <http://www.nist.gov/sc5/soap>. Última actualización: 7 de junio de 2001.

*CATIA - Data Exchange Interfaces User's Guide*. Dassault Systèmes 1994-2001 (Ayuda del CATIA v.5.6).

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INTERFACES HÁPTICOS. APLICACION EN ENTORNOS VIRTUALES.

MARTÍN DOÑATE, Cristina

Universidad de Jaén, España  
Departamento de Ingeniería Gráfica Diseño y Proyectos  
Correo electrónico: [cdonate@ujaen.es](mailto:cdonate@ujaen.es)

### RESUMEN

La mayoría de simulaciones realizadas hasta el momento en entornos virtuales involucraban exclusivamente la vista y el oído, pero la creciente necesidad de una mayor fidelidad en las representaciones obtenidas, y sobre todo, de incrementar la sensación de inmersión del usuario dentro del entorno virtual, exige una componente de interactividad que solamente puede alcanzarse mediante dispositivos de tipo háptico. Los interfaces hápticos permiten al usuario tocar, sentir y manipular los objetos simulados en entornos virtuales y sistemas teleoperados. En base a las principales características de los interfaces hápticos, se ha realizado una clasificación de los mismos, estructurada de modo que pueda servir al diseñador como herramienta en la elección del interface que se muestre más adecuado para la tarea a desempeñar. Finalmente, se indican las direcciones futuras de las distintas líneas de investigación que se han abierto dentro de este campo.

**Palabras clave:** Interfaces hápticos, Realidad virtual, Feedback de fuerza, Feedback táctil.

### ABSTRACT

Up to now, most virtual simulations were exclusively linked to sight and hearing. However, our eagerness to reach a higher closeness to reality in these simulacra and so offer a total immersion experience to users demands the introduction of an interactive component that can only be reached at by introducing certain devices providing a haptic feedback. Our main aim within this article is to touch upon the main advantages of haptic interfaces in relation to virtual settings and teleoperated systems. We will also create a classification of the aforementioned interfaces according to their main features, so that this structure may function as a helpful tool for designers whenever choosing the best interface types suiting those tasks that they may be especially interested in. Finally, we will point at the newest research tendencies dealing with these fields.



**Key words:** Haptic interfaces, Virtual reality, Force feedback, Tactil feedback.

## **1. Introducción**

Con el término “interface háptico” aludimos a aquellos dispositivos que permiten al usuario tocar, sentir o manipular objetos simulados en entornos virtuales y sistemas teleoperados. En la mayoría de simulaciones realizadas en entornos virtuales, basta con emplear displays 3D y dispositivos de sonido 3D stereo para provocar en el usuario, mediante imágenes y sonidos, la sensación de inmersión dentro del espacio virtual. No obstante, además de provocar en el usuario esta sensación de inmersión, debemos proporcionarle la posibilidad de interactuar con el medio virtual, pudiendo establecer entre el usuario y el entorno virtual una transferencia bidireccional y en tiempo real de información mediante el empleo de interfaces de tipo háptico.

Algunos de los principales campos de aplicación de los interfaces hápticos (Srivasan & Basdogan. 1997) son:

- Medicina: Simuladores quirúrgicos para entrenamiento médico, micro robots para cirugía mínimamente invasiva (MIS), etc. [Whitworth 2003],[Yoon J. 2003],[Lewis J.2003].
- Educacional: Proporcionando a los estudiantes la posibilidad de experimentar fenómenos a escalas nano y macro, escalas astronómicas, como entrenamiento para técnicos, etc.
- Entretenimiento: Juegos de video y simuladores que permiten al usuario sentir y manipular objetos virtuales, etc.
- Industria: Integración de interfaces hápticos en los sistemas CAD de tal forma que el usuario puede manipular libremente los componentes de un conjunto en un entorno inmersivo.
- Artes gráficas: Exhibiciones virtuales de arte, museos, escultura virtual etc.

La importancia de los interfaces hápticos es determinante en la realización de tareas típicamente “hápticas”, o en las que se requiera un alto grado de entrenamiento, como pueden ser: administración de anestesia epidural, palpado de bultos cancerígenos, ensamblaje de conjuntos complejos antes de ser fabricados, etc. Ayudan a su vez, a incrementar la sensación de presencia o inmersión del usuario dentro de un entorno simulado, proporcionando restricciones naturales al movimiento de objetos.

## **2. Clasificación de los Interfaces Hápticos: Comparativa entre Características del Hardware para la Selección de Interfaces Hápticos**

Según [Burdea 1996] los interfaces hápticos pueden clasificarse en tres grandes grupos, según proporcionen: feedback de fuerza, feedback táctil, o feedback propioceptivo. Cada uno de ellos aportará al usuario información referente a un

determinado campo, siendo clave la selección del tipo de interface que necesitaremos, en función de las características que deseamos controlar en nuestra aplicación.

Los interfaces que proporcionan force feedback aportan datos relacionados con la dureza, peso e inercia del objeto virtual. Los interfaces que proporcionan un feedback táctil nos permiten adquirir datos tales como la geometría del objeto virtual, su rugosidad y temperatura, entre otros. Por último, los interfaces que proporcionan feedback propioceptivo nos dan información acerca de la posición del cuerpo del usuario o su postura.

A la hora de seleccionar un interface háptico para una determinada aplicación, debemos distinguir, en una primera etapa, que tipo de realimentación deseamos recibir, pudiendo elegir entre:

- Interfaces que proporcionen un feedback de fuerza.
  - Dispositivos Desk-top.- que permiten la interacción puntual con el objeto virtual a través de un terminal, materializado como un lápiz, dedo virtual o un joystick.
  - Guantes.- que permiten la manipulación “dexterizada” (en múltiples puntos de contacto) de objetos virtuales con retorno de fuerza.
- Interfaces que proporcionen un retorno táctil.
  - Dispositivos Desk-top.- que permiten al usuario sentir o percibir la dureza de una superficie, su rugosidad, seguir contornos lisos, o materiales elásticos en 2 dimensiones.
  - Guantes.- que permiten simular con libertad de movimiento el contacto en múltiples puntos con el objeto virtual, individuando su textura, pero no características tales como su peso.

En una segunda fase, debemos analizar las características técnicas de cada uno de los interfaces comerciales disponibles en el mercado, para seleccionar el más apropiado para nuestro objetivo. Las principales especificaciones técnicas que debemos considerar son:

- Número de grados de libertad del dispositivo que requiera nuestra aplicación.
- Espacio de trabajo; es decir, la extensión del volumen dentro del cual el manipulador puede posicionar el elemento terminal.
- Rango de control de fuerza; o lo que es lo mismo, los niveles máximo y sostenido de fuerza que puede ejercer el dispositivo. Según [Burdea 1996] los dedos de un humano pueden ejercer de 30 a 50 N de fuerza en periodos breves de tiempo y de 4 a 7 N en periodos sostenidos. Para que el confort del usuario u operador esté dentro de unos niveles de seguridad admisibles, las fuerzas

ejercidas por el interface deben ser inferiores en un 15% a los valores máximos anteriormente citados.[Wiker entre ot 1989].

- **Fricción aparente:** las pérdidas por fricción en un interface háptico deben ser inferiores a la mínima fuerza o par que podamos percibir mientras interactuamos con el entorno virtual, ya que en caso contrario nuestro interface dejaría de ser “transparente”, pues no podríamos diferenciar si las fuerzas percibidas por el usuario provienen de la realimentación deseada o de las pérdidas mecánicas del dispositivo en sí. Los valores de fricción aparente deben mantenerse en valores por debajo del 7% de las fuerzas y del 12,7 % de los pares de fuerza aplicados en la interacción con el entorno virtual.
- **Rigidez:** La rigidez de un ínterface háptico se relaciona íntimamente con la habilidad del mismo para generar restricciones al movimiento del operador dentro del entorno virtual, impidiendo que se penetre dentro de los distintos sólidos virtuales, y permitiendo, de este modo, su inspección y manipulación. La rigidez máxima de un interface depende de la fuerza máxima que pueda desarrollar y del mínimo desplazamiento que detecte (N/m). Según [Massie & Salisbury 1994], en la práctica, un interface debe proporcionar una rigidez mínima de 20 N/m. para que el operador pueda recorrer adecuadamente una superficie virtual.
- **Inercia aparente:** la inercia aparente es la masa mínima percibida por el operador cuando mueve el interface háptico a través del espacio libre. En el caso de que la inercia aparente del dispositivo fuese demasiado alta, el operador podría fatigarse en exceso. Un estudio piloto [Ellis entre ot. 1996] indicaba que eran aceptables masas de 50g para operaciones que duraran media hora o menos, si bien estudios recientes recomiendan valores cercanos a 100g.
- **Back-driveability:** con este término se alude a la transparencia del interface, en tanto que no debe ejercerse ninguna fuerza sobre la mano del usuario mientras no exista interacción física con el entorno virtual. Esta capacidad del sistema para seguir el movimiento de la mano del usuario rápidamente y sin oposición recibe el nombre de back-driveability.
- **Rango dinámico:** es el ratio entre el máximo valor de salida del actuador frente a la fricción del mecanismo.
- **Ancho de banda:** el ancho de banda de un dispositivo puede considerarse como una medida de su calidad, ya que cuanto mayor sea éste, menores serán los retardos en la transmisión de información, aumentando la estabilidad general del sistema.

Algunas de las variables usadas para caracterizar los interfaces force feedback deben utilizarse igualmente para seleccionar a los interfaces con feedback táctil, tales como: espacio de trabajo, grados de libertad, peso, o control del ancho de banda. De hecho, dispositivos con force feedback pueden también proporcionar un feedback

táctil; por ejemplo, el Phantom permite individuar texturas del objeto virtual. El caso contrario no es posible.

### 3. Principales Dispositivos Comerciales

De entre los modelos de interfaces hápticos comerciales, fuera del ámbito exclusivo de la investigación, podemos destacar los siguientes:

#### Interfaces Hápticos Desktop Con Feedback De Fuerza

##### PHANTOM Sensable Technologies.

Actualmente se dispone de varios modelos de este interface, cuyo número de grados de libertad en posicionamiento varía desde 3 hasta 6, pudiendo recibir force feedback a lo largo de todos o algunos de estos grados de libertad. El espacio de trabajo de los distintos modelos varía considerablemente desde los modelos iniciales a los superiores. La fuerza máxima que puede proporcionar es de 22N en el modelo Premium 3.0 y la fuerza sostenida (24h.) es de 3N. Conforme avanzamos hacia modelos superiores, aumenta la inercia de los dispositivos, al tiempo que disminuye su rigidez. El Phantom renueva el estado de sus fuerzas cada milisegundo, y presenta una alta resolución posicional.



*Fig 1.- PHANTOM cortesía de Sensable Technologies.*

##### IMPULSE ENGINE Immersion Co.

El modelo actualmente comercializado, el IMPULSE ENGINE 2000 posee 2 grados de libertad y un valor de fuerza máxima de aproximadamente 9 N. Su ancho de banda es de 650 Hz.

##### HAPTIC MASTER FCS Control System.

Consiste en un brazo robótico que puede usarse para medir dinámicamente fuerzas, como display de realidad virtual, y para teleasistencia quirúrgica.

#### FREEDOM 6S MPB Technologies:

Posee 6 GDL y un nivel de fricción de aproximadamente 0.1 N en cada dirección. La inercia resultante en el extremo varía entre 0.09 y 0.15 Kg.

### **Guantes con feedback de fuerza.**

#### CYBERGRASP Immersion Co.

El único guante háptico disponible comercialmente es el Cybergrasp, fabricado por Immersion Co. El Cybergrasp consiste en una estructura exoesquelética fijada a la parte posterior de la mano, que es accionada por unos actuadores instalados fuera de ésta, en una caja de control, con el objetivo de facilitar su manejo aligerando su peso, de aproximadamente 450 gr. La fuerza máxima que puede aplicar sobre cada dedo es de 12N.



*Fig 2.- Cybergrasp cortesía de Immersion Co.*

### **Interfaces hápticos Desktop con feedback táctil.**

A nivel comercial no se ha encontrado ningún ejemplo, si bien, como comentábamos en el punto anterior, un dispositivo con retorno de fuerza como el PHANTOM es capaz de proporcionar feedback de tipo táctil.

### **Guantes con feedback táctil.**

#### CYBERTOUCH Immersion Co.

Estos guantes son mucho más ligeros que los que poseen force feedback y emplean normalmente vibradores electromecánicos para proporcionar datos de texturas o rugosidades. La colocación de los actuadores es más simple que en aquellos, lo que facilita su diseño, reduciendo a su vez su coste de producción.

El Cybertouch de Immersion Co. pesa solamente 144gr. Usa 6 vibradores electromecánicos situados en la parte posterior de los dedos y en la palma de la mano. Estos actuadores producen vibraciones de 0-125Hz, alcanzando unos 1.2N de fuerza a 125Hz.



*Fig 3.- Cybertouch cortesía de Immersion Co.*

#### **4. Direcciones Futuras**

Los interfaces hápticos conforman un área de investigación íntimamente relacionada con el campo de la robótica. Los grandes avances registrados en este campo en las últimas décadas han impulsado el desarrollo de dispositivos que mejoran la comunicación hombre-máquina, facilitando la interacción entre ambos mediante la aplicación de sensaciones táctiles. La interacción háptica es un área de investigación relativamente nueva, dentro de la que varios grupos están desarrollando dispositivos que permiten al usuario la posibilidad de interacción física con un medio virtual o remoto.

Los interfaces con force feedback se encuentran en un estado bastante avanzado de desarrollo en comparación con los interfaces con retorno táctil, ya que los primeros se vieron beneficiados por los avances realizados en el campo de la telerrobótica; queda sin embargo, en ambos casos, un amplio campo por explorar. Prueba del grado de desarrollo de los interfaces con force feedback es que existen varios interfaces de tipo comercial, si bien cada uno de ellos ha sido proyectado para aplicaciones muy concretas, y proporcionan unas características de difícil aplicación fuera de dichas aplicaciones. Por otra parte, estos sistemas, a excepción si cabe del PHANTOM, son todavía muy costosos, y los plazos de suministro de los mismos son excesivamente largos.

Las limitaciones del hardware de los interfaces reducen la fidelidad con la que se puede simular la interacción con el mundo real; como por ejemplo: la precisión de los sensores, la capacidad de los actuadores, o la transparencia de la transmisión mecánica empleada. Otro punto a tener en cuenta es la variabilidad de las características del usuario, junto con las características de la interacción del mismo con el interface que pueden cambiar dinámicamente haciendo que nos encontremos ante un sistema no lineal. La seguridad es otro campo a tener en cuenta en la investigación, ya que debemos salvaguardar la seguridad del técnico ante un mal funcionamiento del computador o del dispositivo. Otro campo en el que se centran las últimas investigaciones es el desarrollo de una referencia de software para force feedback, ya que al tiempo que se evoluciona en el hardware, se tiene que desarrollar en paralelo un soporte de software, unos modelos que sepan tratar adecuadamente la computación de las fuerzas así como la generación de las mismas.

En relación a los interfaces táctiles, uno de los principales problemas que abordan los grupos de investigación en este campo, es que en general, estos interfaces proporcionan sensaciones en un área limitada, normalmente en el extremo de los dedos, por lo que se hacen necesarios estudios que identifiquen los tipos de feedback de tipo táctil para aplicaciones específicas y la tecnología más apropiada para manifestar este feedback.

Una prueba de la inmadurez de la tecnología de los interfaces hápticos táctiles es la ausencia de modelos generales de software que puedan ser usados para determinar las sensaciones que se generan con respecto a la interacción con el entorno, a excepción de las fuerzas de contacto, modelos para los cuales ya existen aplicaciones. Otro punto a tener en cuenta es la falta de estudios relativos a las capacidades táctiles humanas, lo que permitiría adaptar los dispositivos, proporcionando unas prestaciones más adecuadas. La tecnología de los interfaces táctiles es una de las áreas de investigación más activas.

## Referencias

BURDEA G. “*Force and touch feedback for virtual reality*” New York USA, 1996.

ELLIS R.E., ISMAEIL O.M. “*Design and evaluation of a high performance haptic interface*” Robotica vol 4 pp 321-327, 1996.

LEWIS J.,R.F.Boian, Burdea G.C.,Deutsch J.E. “*Real time Web based Telerehabilitaion Monitoring*” Proceeding of medicine meets virtual reality 11, Newport Beach, CA january 2003, IOS Press, pp 190-192.

MASSIE T.H., SALISBURY J.K. “*The Phantom haptic interface: a device for probing virtual objects*” Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, symposium on Haptic interfaces for virtual environments and teleoperator systems. 1994.

SRINIVASAN M.A. and BASDOGAN C. "*Haptics in virtual environments: taxonomy, research status and challenges*" Computer and graphics 21 1997.

WHITWORTH E., LEWIS, J.A., BOIAN R., Tremaine M., Burdea G. Deutsch J. "*Formative evaluation of a virtual reality telerehabilitation system for lower extremity*" Proc. Second Int Workshop on virtual rehabilitation pp 92, september 2003.

WIKER, S.F., HERSHKOWITZ E. "*Teleoperator comfort and psychometric stability: criteria for limiting master controller forces of operation and feedback during telemanipulation*" Proc. Nasa conference on space telerobotics vol 1. pp 99-107 Pasadena, CA, USA.

YOON J., RYU, J. BURDEA G.C., "*Design and analysis of a new virtual walking master*" *Proceedings of the Eleventh Symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems*, Los Angeles, CA, March 2003, pp. 374-381.



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INTEGRACIÓN DE DISEÑO Y FABRICACIÓN EN ENTORNOS DE INGENIERIA CONCURRENTE: INICIATIVAS PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS.

MARTÍN DOÑATE, Cristina (1); RUBIO PARAMIO Miguel Angel (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Jaén, España  
Departamento de Ingeniería Gráfica Diseño y Proyectos  
Correo electrónico: [cdonate@ujaen.es](mailto:cdonate@ujaen.es)

<sup>(2)</sup> Universidad de Jaén, España  
Departamento de Ingeniería Gráfica Diseño y Proyectos  
Correo electrónico: [marubio@ujaen.es](mailto:marubio@ujaen.es)

### RESUMEN

El proceso de desarrollo de productos nuevos bajo un entorno de ingeniería concurrente permite la optimización del trinomio formado por la calidad, coste y plazo de desarrollo. Para la mejora del proceso de desarrollo del producto, podemos establecer varias iniciativas encaminadas, por una parte, a mejorar la gestión del proceso en si mismo y del personal que en él participa, y por otra, a aumentar la eficacia en la concepción del producto-proceso de producción. El presente artículo enumera una serie de propuestas relacionadas con la optimización de la concepción producto- proceso, la implementación de estas iniciativas trae como consecuencia la obtención de productos buenos a la primera y por lo tanto un aumento en la productividad, cuantificada por medio del trinomio inicialmente nombrado.

**Palabras clave:** Metodología de diseño y proyectos, Ingeniería concurrente, Validación producto-proceso, Técnicas CAD/CAM/CAE.

### ABSTRACT

Developing new products within the frame of concurrent engineering allows for the optimisation of the trinomial group: quality, costs and development periods. In order to improve product development processes we can take several initiatives aimed at the following: on the one hand, enhancing the management of the process itself and the staff involved in it and, on the other hand, boosting the efficiency seen in the 'product-process' concept of production. Our article enumerates a series of proposals related to the optimisation of the 'product-process' concept. Implementing these initiatives fosters obtaining quality products

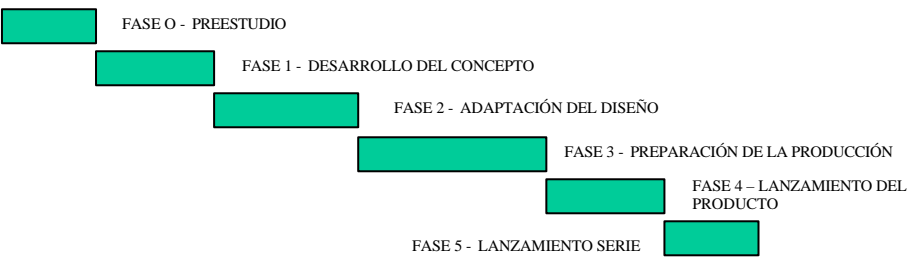
and consequently, increasing productivity all at once. The trinomial group mentioned above must be understood as one of the main elements propitiating these results.

**Key words:** Products development, Concurrent engineering, Product-process implementation, CAD/CAM/CAE.

## 1. Introducción

En el sentido más amplio del término, un producto es aquello que una empresa vende a sus clientes, sea éste un objeto físico o un servicio. Denominamos Desarrollo de un Producto Nuevo (DPN o NPD en inglés) al conjunto de actividades que comienzan con la percepción de una oportunidad en el mercado y finaliza con la producción, venta y suministro de dicho nuevo producto.

Llamamos proceso de desarrollo de productos a la secuencia de pasos o actividades que una empresa emplea para concebir, diseñar, fabricar y comercializar un producto. Si bien algunas organizaciones definen y siguen un preciso y detallado proceso de desarrollo, otras pueden no disponer siquiera de una descripción de sus procesos. Cada organización emplea un proceso adaptado a sus circunstancias y posibilidades, pero basado en una metodología establecida a nivel general. En líneas generales, el proceso de desarrollo de un producto se divide en 6 etapas o fases:



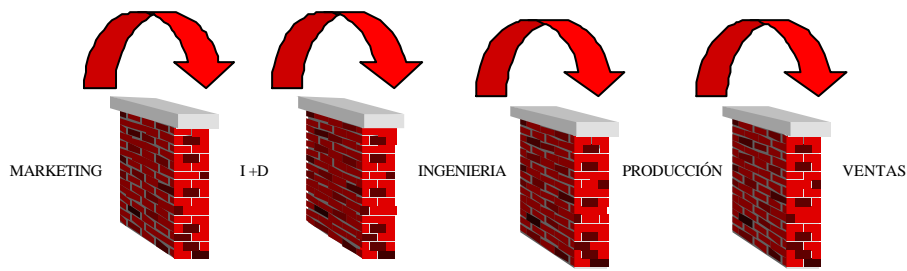
*Fig 1- Fases en el proceso de desarrollo del producto.*

Cada una de estas etapas se subdivide a su vez en sus correspondientes actividades y puntos de toma de decisión, responsabilizando al personal especialista en cada materia de la realización de las actividades que le competan, según unos criterios de organización que abordaremos a continuación.

## 2. Diseño Secuencial frente a Diseño Concurrente

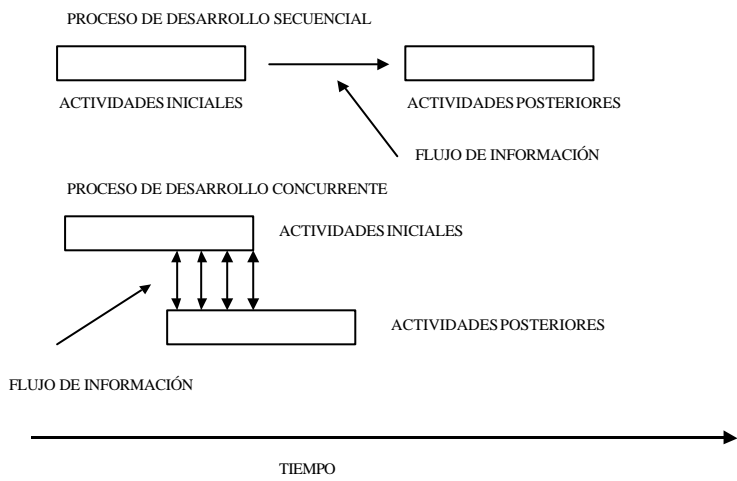
Desde los años 50 hasta los 80, el diseño y la producción eran considerados como un proceso de desarrollo de tipo secuencial (tareas encadenadas), en el cual los equipos de diseño y de producción no se relacionaban hasta que el equipo de diseño completaba todo su trabajo. El problema surgía cuando los ingenieros de producción

recibían el diseño ya finalizado y debían desarrollar un proceso de manufactura para el nuevo producto; era en este momento cuando se detectaba un considerable número de fallos, que se debían transmitir de nuevo al equipo de diseño para que retrabajara las partes en conflicto, originándose importantes retardos en el lanzamiento del producto.



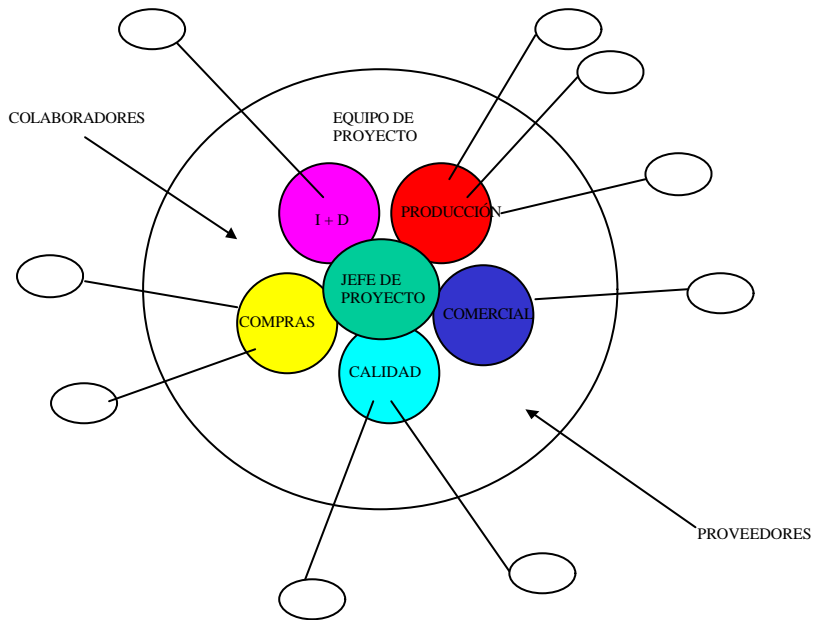
*Fig 2 – Proceso de desarrollo secuencial (tareas encadenadas).*

La globalización de los mercados, y su creciente dinámica, obliga a las compañías a lanzar nuevos productos al mercado, de una mayor calidad y en periodos cada vez más cortos de tiempo, para lo cual se hace necesaria la implantación de procesos de diseño más eficientes. Los primeros estudios al respecto se encaminaron hacia la reducción de tiempos, suprimiendo actividades innecesarias y solapando todas aquellas tareas de diseño y producción que pudieran realizarse en paralelo.



*Fig 3.- Actividades en el proceso de desarrollo secuencial frente al proceso de desarrollo concurrente.*

Progresivamente, el proceso de desarrollo del producto ha ido evolucionando hacia un nuevo modelo de equipo de proyecto, en el que se ha englobado junto con los diseñadores a aquellos que tendrán que comprar partes, producir, ensayar y comercializar el producto, además de los responsables de otras áreas de la empresa, tales como finanzas, atención al cliente, etc., que se integran en el equipo de diseño como colaboradores. Esta evolución en los equipos de diseño ha dado paso a lo que se conoce como diseño concurrente o ingeniería concurrente; el diseño del producto en sí se realiza simultáneamente al diseño del proceso de manufactura, y en coordinación con los departamentos de marketing, compras y control de calidad de la empresa. Se hace pues indispensable establecer unos adecuados protocolos comunicación entre las distintas áreas de la compañía.



*Fig 4- Equipo de proyecto y sus colaboradores*

Diseñar concurrentemente conlleva pensar y trabajar en múltiples tareas simultáneamente; además de las condiciones de diseño y manufactura, se debe tener en cuenta el coste, la distribución, el uso y mantenimiento del producto y su eventual reciclado, no sólo al final de la producción, sino a través del propio proceso de diseño.

### **3. Iniciativas encaminadas a la Mejora del Proceso de Desarrollo de Productos. Influencia de los Sistemas CAD/CAM/CAE.**

Para la mejora del proceso de desarrollo del producto, podemos establecer varias iniciativas encaminadas, por una parte, a mejorar la gestión del proceso en si mismo y del personal que en él participa, y por otra, a *aumentar la eficacia en la concepción del producto-proceso de producción*. Los indicadores que utilizaremos para la medida

de esta mejora serán el tiempo de desarrollo y la calidad del producto, así como el coste del mismo. En este apartado enunciaremos iniciativas encaminadas no sólo a disminuir los plazos de concepción, sino a conseguir la mejora en la concepción del producto disminuyendo al mismo tiempo su coste. El ámbito de este artículo no pretende abarcar los aspectos de gestión tanto del proceso como de gestión en el personal.

Las iniciativas que pueden producir como consecuencia un aumento de la eficacia en la concepción del producto- proceso son entre otras:

### **1. Establecimiento de bases de datos que contengan los estándares de concepción de la empresa**

La utilización de estos estándares, permite incluir en nuestro producto piezas que ya han sido validadas en otros productos de características similares, estas piezas han sido sometidas a ensayos que cumplan tanto las especificaciones del cliente como las internas de la propia empresa.

Mediante la incursión de estos componentes se consigue una disminución del tiempo de concepción del producto así como una disminución del número de referencias del mismo, con el consiguiente ahorro en utillaje nuevo y en el coste de la pieza por productividad. La utilización de estas bases de datos hacen necesaria la instalación de redes informáticas que permitan el buen funcionamiento de las citadas bases de datos.

Si bien hay que favorecer la utilización de los estándares, no siempre es de obligado cumplimiento el incluirlos en el diseño del producto; en el caso de productos altamente innovativos o con algún tipo de riesgo habrá que analizar si es beneficioso la incursión del componente standard o por el contrario es necesario el diseño de componentes adaptado a las exigencias para evitar potenciales problemas en el producto.

Las piezas standard que formen parte del diseño del producto deberán cumplir con todas las especificaciones del cliente para el nuevo producto así como las de la empresa.

### **2. Automatización del diseño de partes altamente repetitivas en componentes de diversos productos**

Los programas CAD permiten la programación de tareas de tipo repetitivo, esto es altamente aplicable para el diseño de zonas en componentes que siempre son diseñadas del mismo modo lo que conlleva evidentemente una alta reducción en el tiempo de concepción del diseño.

### **3. Utilización de herramientas de análisis y simulación dinámica del diseño. Herramientas CAE.**

Es conveniente dotar al diseñador de la formación y posterior capacidad de utilización (durante las tres primeras fases del proceso de desarrollo) de este tipo de herramientas de simulación dinámica, ya que las mismas permiten establecer sistemas de validación en tiempo real del diseño realizado. Para utilizar adecuadamente este tipo de herramientas se han de realizar las simulaciones desde el principio de la concepción ya desde fase 0 ya que de este modo, se consigue la detección de fallos en cuando el diseño del producto está comenzando, lo que permite solucionar estos fallos de inmediato con el consiguiente aumento en la calidad del diseño que se está realizando. Con estos métodos se obtiene por una parte una disminución en los plazos de desarrollo ya que el diseño queda validado en tiempo real, se suprimen de este modo los retornos a fases previas por detección de errores de diseño cuando llegan las primeras piezas, por otra parte una disminución en los costes ya que el diseño puede ser validado con una reducción del número de prototipos de tipo físico, y como ya hemos comentado se evitan cambios posteriores en el utillaje de fabricación del producto por validación del diseño antes del lanzamiento de moldes y utillajes.

Otro tipo de ventaja en la utilización de estos sistemas es el aumento de conocimiento que se produce en el diseñador, ya es él mismo el encargado de validar el diseño con lo que él aprende de los errores producidos. En algunas empresas estas revisiones las realizan los denominados expertos, con lo que no se produce este feedback directo de información.

#### **4. Validación del montaje del producto por medio del uso de interfaces hápticos interactuando con sistemas CAD.**

Hoy en día es posible la interacción con los diseños CAD por medio del sentido del tacto, a partir de interfaces de tipo háptico. Este hecho permite la validación del montaje del producto eliminando prototipos de tipo físico, con el consecuente ahorro en costes, permitiendo por una parte validar el diseño y por otra entrenar a los operarios que montarán el producto cuando este se encuentre en producción.



*Fig 5- Fotografía cortesía de Immersion.Co.*

## **5. Disminución del número de maquetas y prototipos a partir del maquetaje virtual.**

Por medio de los sistemas CAD podemos obtener un maquetado virtual del producto, lo que nos permite realizar simulaciones de estilo, verificación de posibles interferencias entre componentes, entre otras posibilidades, evitando el aumento de plazos y de costes en la producción de prototipos de tipo físico. Esto no implicaría la total desaparición de los prototipos físicos para determinadas validaciones del producto, pero sí su disminución en cantidad.

## **6. Manufactura virtual del producto por medio de los sistemas CAD.**

Los sistemas CAD permiten simular la línea que fabricará el producto, posibilitando la realización de análisis de MTM, diseño de puestos de trabajo, desde el inicio de la concepción, analizando costes de producción y validando producto y proceso en paralelo. Se puede disminuir el tiempo en el que una nueva línea de producto todavía inactiva ocupa un lugar en la fábrica.



*Fig 6-Fotografía cortesía de CADTECH*

## **7. Verificación de la calidad del diseño por medio de útiles de identificación de problemas potenciales en las primeras fases del mismo.**

Uno de los objetivos a cumplir más importantes en el proceso de desarrollo de nuevos productos consiste en la identificación y eliminación de potenciales problemas en fases iniciales del proceso de desarrollo, estos problemas pueden afectar tanto al diseño del producto como al proceso de producción del mismo. Para la detección de estos fallos existen herramientas tales como el análisis de fallos potenciales en el producto y en el proceso, (AMFE de concepto, producto y de proceso), metodologías de análisis de riesgo en productos nuevos para la cuantificación de riesgos de todo tipo, método Taguchi para la obtención de diseños robustos, análisis de valor del

producto, metodología design to cost, utilización de técnicas design for X etc. Estas herramientas deben cumplir los principios de la ingeniería concurrente es decir que serán llevadas a cabo por todos los miembros del equipo de proyecto, así como algún colaborador externo en el caso que fuera necesario, de este modo se aplica la sinergia de todos los departamentos para un aseguramiento de la calidad en el diseño del producto.

#### **4. Conclusiones**

La innovación es un factor fundamental de la competitividad, es esta característica hoy en día la que mejor puede diferenciar a una empresa de su competencia. Para establecer una buena política de innovación el primer paso consiste en disponer de una clara estrategia empresarial en cuanto al producto y al proceso. A partir de los objetivos establecidos por esta estrategia el proceso de desarrollo para productos nuevos no será más que el encadenamiento de las tareas que permita alcanzar los mismos. La Introducción de mejoras en el proceso de desarrollo de productos trabajando bajo un entorno de ingeniería concurrente puede parecer, en principio, costoso a corto plazo, ya que requiere recursos tanto de personal como de medios de los que no todas las empresas disponen. Sin embargo, cuando estas prácticas han sido introducidas, se producen beneficios que pueden ser cuantificados [Swink 1998] en cantidades tales como: reducciones en el coste del producto del orden de un 20%, en el tiempo de desarrollo del producto de un 50% y reducciones en los cambios de diseño del orden de un 45-50%. Si bien hay que mencionar que estas valoraciones engloban también mejoras que implican al proceso de gestión del sistema y al personal. Una empresa que posea una buena organización basada en la ingeniería concurrente y unos procesos de desarrollo de productos adecuados, habrá conseguido una considerable ventaja sobre sus competidores. Diremos para finalizar que si bien el desarrollo de productos nuevos bajo el enfoque de la ingeniería concurrente ha cambiado la forma en la que los productos se desarrollan en muchas empresas, no hay que olvidar que diferentes proyectos, empresas y contextos industriales implicarán una adaptación de los procesos anteriormente mencionados al entorno de cada empresa.

#### **Referencias**

SWINK, Morgan L. A tutorial on implementing concurrent engineering in new product development programs. Journal of Operations Management, 1998.

ULLRICH Karl, EPPINGER Steven, Product design and development. McGrawHill /Irwin. 2004.



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA VISITA MULTIMEDIA A UNA CENTRAL DE HORMIGÓN

HERNÁNDEZ ALBALADEJO, Mariano

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Departamento de Expresión Gráfica

Correo electrónico: mariano.hernandez@upct.es

## RESUMEN

El motivo del presente trabajo es la elaboración de una plataforma multimedia que sirva de soporte didáctico tanto para el profesor como al alumno, sobre la temática de la fabricación del hormigón, normativa EHE acompañado de imágenes de la planta de hormigón y animaciones del proceso de fabricación.

**Palabras clave:** Técnicas de realismo y realidad virtual, docencia innovadora, planta de hormigón

## 1. Introducción

Este trabajo pretende la introducción virtual en el mundo de la fabricación del hormigón, en él podemos observar las instalaciones de la planta con todo detalle y su funcionamiento. También comprende toda la documentación técnica de la misma así como todo lo referente a los productos necesarios para la fabricación del producto antes mencionado (normativa EHE, materias primas, etc).

## 2. Desarrollo del trabajo

Este trabajo recopila los apartados siguientes:

### 2.1. Descripción técnica

#### 2.1.1. Descripción de la maquinaria

#### 2.1.2. Esquemas eléctricos y neumático

#### 2.1.3. Planos de la instalación

### 2.2. Funcionamiento

### 2.3. Normativa EHE

### 2.4. Presupuesto económico

### 2.5. Imágenes

### 2.6. Animaciones

En esta página y las siguientes vamos a detallar el desarrollo de cada apartado.

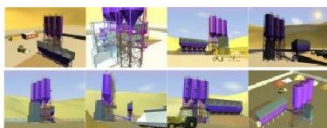
## 2.2. Funcionamiento

Se describe la planta y el proceso de fabricación del hormigón. El texto que aparece si es de color azul está vinculado con una secuencia de imágenes (zona superior izquierda) y al pasar el cursor por ellas se visualiza en la zona inferior izquierda a mayor tamaño. También se incluyen las animaciones de la planta y su funcionamiento seleccionando los botones de color granate.

Podemos observar lo mencionado anteriormente en las figuras adjuntas.

Funcionamiento

### Funcionamiento



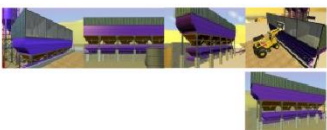
La **central** cuyo funcionamiento se va describir consta de cinco tolvas para áridos, tres de ellas para gravas, y dos para arenas, una cinta pesadora de áridos, cinta elevadora de áridos a boca de descarga a camión hormigonera, tres silos para cemento, descargando a través de tornillos sinfín a la balsa de cemento sobre boca de descarga a camión hormigonera, y dosificación de agua a través de contador de agua.



Dicha **central** va equipada con una **instalación neumática** completa, con compresor, cuadro neumático de electroválvulas y elementos accesorios (filtro, lubricador y regulador de presión), y la correspondiente tubería de nylon y racordaje. Así mismo, está instalado un **cuadro eléctrico de potencia y maniobra**, con las correspondientes protecciones para los motores y accionamientos eléctricos incorporados a la central, los pulsadores y selectores de maniobra, y un **microprocesador electrónico** y/o informático incorporado al mismo, que permiten un funcionamiento automático de la **central** de acuerdo con las siguientes características:

El **microprocesador** consta de cuatro canales para conexión a las **células de carga extensiométricas** de las básculas, ó a los contadores de impulsos, estando conectados, respectivamente, a las básculas de áridos y cemento, y al **contador de agua** para la dosificación de aditivos líquidos. Está preparado para la fabricación de hormigón en ciclos adecuados a las características de la **central** para la que se instale, parametrizando el mismo en función de dichas características: Nº de áridos, Nº de cementos, agua por balsa ó por contador de impulsos, Nº de aditivos y la forma de su dosificación, capacidad por ciclo (2 ó 3 m³), etc...

Una vez dispuestas todas las materias primas se puede proceder a la fabricación del hormigón, proceso que se describe a continuación:



Ha de establecerse, dentro del programa de gestión, para qué pedido va a realizarse la carga (cliente, cliente-obra), la cantidad de metros cúbicos a cargar, el tipo de hormigón a fabricar (fórmula), y el camión, con su chofér correspondiente, en el que se va a realizar la carga y el transporte. Una vez predeterminados estos parámetros, comienza la dosificación de los productos a las **básculas de áridos, cemento** y, en su caso, agua y aditivos.

▶ **Pesaje de áridos**

▶ **Pesaje de cemento**



Las básculas actúan, para los diversos tipos de materias primas que van a cargarse en cada una de ellas, acumulando pesos, es decir, se comienza por la dosificación de uno de los productos, hasta que se alcance el valor establecido para el mismo en la fórmula; una vez alcanzado este valor, se corta, ó se cierra, el elemento unido al compartimiento en el que se acopia dicho producto que permite la descarga (**cascos neumáticos** para las **tolvas de áridos**, tornillos sinfín para los **silos de cemento**, y **electroválvulas** para básculas de agua y aditivos), se deja pasar un tiempo de estabilización de balsa preestablecido en el programa monitor de la planta previamente citado, y se comienza la dosificación del siguiente producto, si lo hubiere, en la misma balsa, repitiendo el mismo proceso para todos los productos que han de pesarse en ésta, y para dicha fórmula. En el caso de las **arenas** que suelen pegarse, más ó menos en función de su composición y de su humedad, a las paredes de las **tolvas** que las contienen, se producen paradas en las descargas que se resuelven mediante el accionamiento de **vibradores eléctricos** incorporados a las **tolvas**, que entran en automático también al haber fiado previamente, en el programa mn-



## 2.3. Normativa EHE

En este apartado se recogen las normas correspondientes a las materias primas como agua, áridos, cementos, aditivos y adiciones. También se incluyen las correspondientes a los hormigones y sus características, fabricación y transporte además del control de los componentes del hormigón y ensayos de calidad del mismo.

# Normativa EHE

Artículo	
	Introducción
26	Cementos
27	Agua
28	Áridos
29	Otros componentes del hormigón
30	Hormigones
39	Características del hormigón
69	Fabricación y transporte del H
81	Control de los componentes del H
82	Control de la calidad del hormigón
83	Control de la consistencia del H
84	Control de la resistencia del H
86	Ensayos previos del hormigón
87	Ensayos característicos del H
88	Ensayos de control del hormigón
89	Ensayos de inform complementaria del H

La Reglamentación técnica relativa al proyecto y ejecución de obras de hormigón, estaba basada, hasta ahora, en dos Instrucciones, EH-91 y EP-93. Esta diferenciación en el tratamiento del hormigón obedecía a una tradición derivada de que las aplicaciones iniciales del hormigón, en las obras, eran para su empleo en masa o armado, lo que dio lugar a una primera Instrucción aprobada el 3 de febrero del año 1939.

Esta Instrucción se fue actualizando en años posteriores, siendo sustituida por otras sobre el mismo tema.

El desarrollo y generalización del hormigón pretensado, que ofrecía nuevas soluciones estructurales para numerosas obras, dio lugar a que, en el año 1977 y por Real Decreto 1408/1977, de 18 de febrero, se aprobase una nueva Instrucción, esta vez específica para el proyecto y la ejecución de obras hormigón pretensado.

Ambas Reglamentaciones técnicas (la de hormigón en masa o armado y la de hormigón pretensado) se han ido modificando y sustituyendo posteriormente, dando lugar a las Instrucciones hasta ahora vigentes (EH-al y EP-93).

Sin embargo, la Comisión Permanente del Hormigón (CPH), teniendo en cuenta: que en algunos puntos de su contenido ambas eran coincidentes; que en la actualidad, en numerosas obras coexisten elementos estructurales que se estudian y proyectan tanto en hormigón armado como pretensado; y el tratamiento que, tanto en textos técnicos relativos al hormigón, como en la normativa técnica europea e internacional, se hace de este material, ha considerado oportuno redactar una única Instrucción relativa al proyecto y la ejecución de obras de hormigón, tanto en masa como armado o pretensado, refundiendo en ella las dos Instrucciones últimamente citadas.

Se unifica, así, a través de la nueva **Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)**, el tratamiento del hormigón, y se consigue, de este modo, que mediante una única disposición normativa, quede regulado el proyecto y la ejecución de dichas obras.

## 2.4. Presupuesto económico

En este apartado se recoge todo el presupuesto económico de la instalación de la planta de hormigón con todo detalle, construcciones de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, maquinaria, etc, y montaje en obra, ascendiendo este presupuesto llave en mano a 133.868 € (22.273.780 Pts). Presupuesto del año 2002.

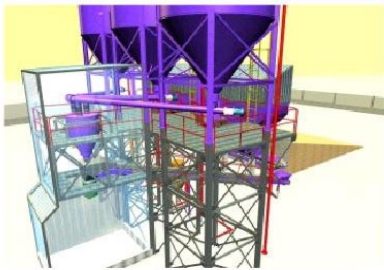
2.5. Imágenes

En este apartado aparece el índice de todas las imágenes de los detalles de la planta. Podemos seleccionar en el menú vertical (zona derecha) con el cursor y nos presentará una secuencia de imágenes (zona superior izquierda) y al pasar el cursor por ellas se visualiza en la zona inferior izquierda a mayor tamaño.

Podemos observar lo mencionado anteriormente en las figuras adjuntas.

Imágenes

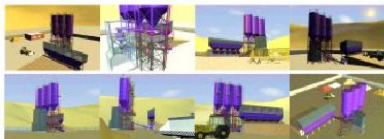
Imágenes



- ÁRIDOS
- BÁSCULA DE CEMENTO
- BOCA DE DESCARGA
- CENTRAL
- CILINDRO NEUMÁTICO
- CINTA ELEVADORA
- CINTA PESADORA
- CONTADOR DE AGUA
- ELECTROVÁLVULA
- FILTRO DE CEMENTO
- FLUIDIFICADORES
- GALGAS EXTENSIONMÉTRICAS
- MICROPROCESADOR
- SILOS
- SINFIN
- TOLVAS
- VÁLVULA NEUMÁTICA
- VIBRADOR ELÉCTRICO
- VIBRADOR NEUMÁTICO

Imágenes

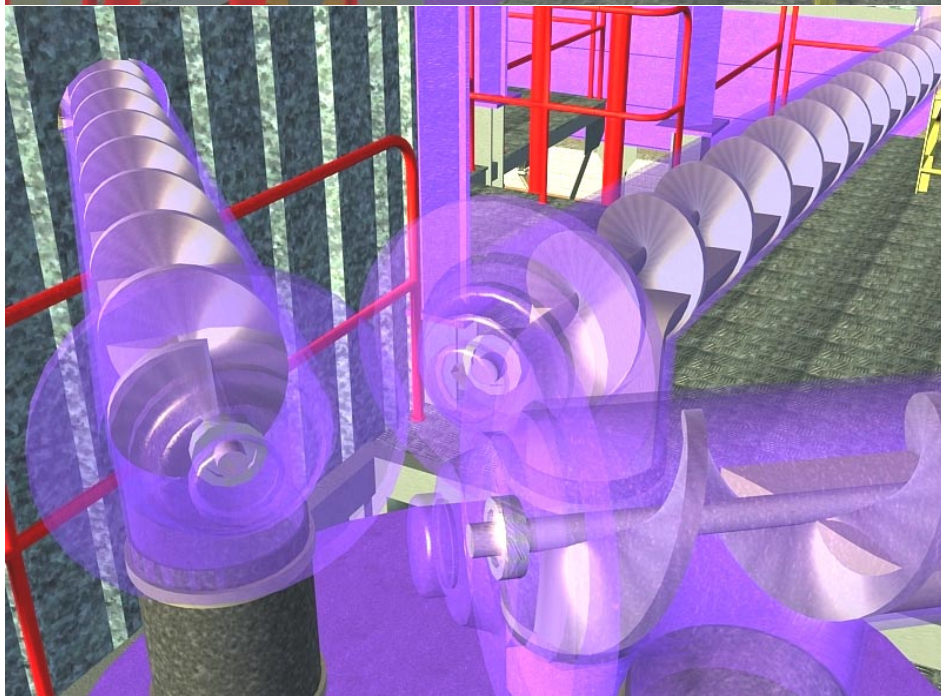
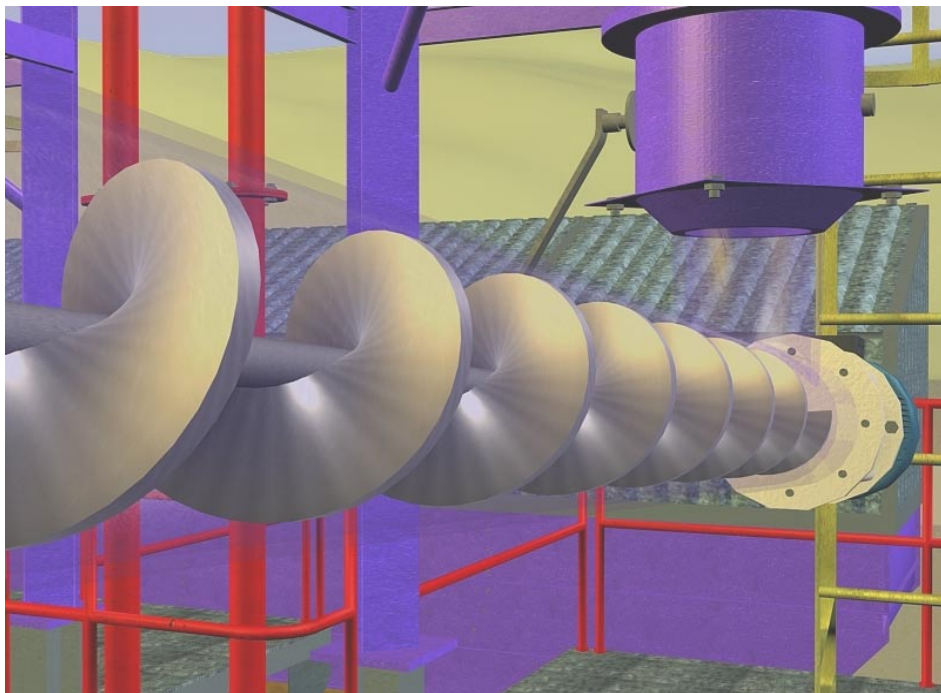
Imágenes



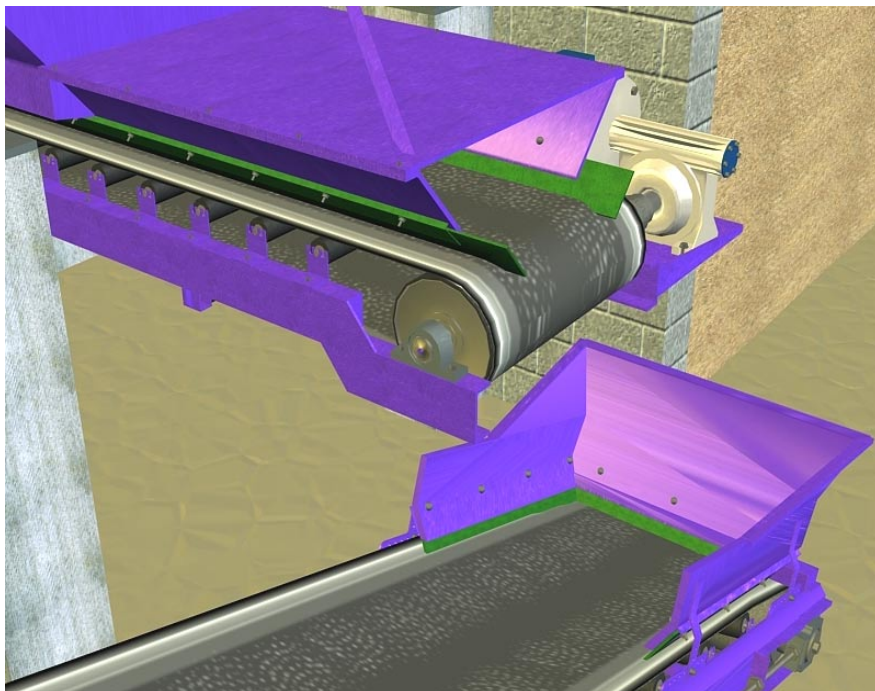
- ÁRIDOS
- BÁSCULA DE CEMENTO
- BOCA DE DESCARGA
- CENTRAL
- CILINDRO NEUMÁTICO
- CINTA ELEVADORA
- CINTA PESADORA
- CONTADOR DE AGUA
- ELECTROVÁLVULA
- FILTRO DE CEMENTO
- FLUIDIFICADORES
- GALGAS EXTENSIONMÉTRICAS
- MICROPROCESADOR
- SILOS
- SINFIN
- TOLVAS
- VÁLVULA NEUMÁTICA
- VIBRADOR ELÉCTRICO
- VIBRADOR NEUMÁTICO



En la imagen superior podemos observar el sinfín de transporte de cemento, y en la inferior los sinfines que alimentan la tolva de pesaje de cemento.



En la imagen superior podemos observar las cintas de transporte de áridos, y en la inferior otra vista de la cinta transportadora, observando caminar al operario por la pasarela.



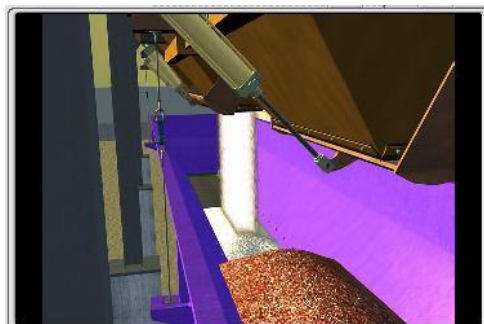
## 2.6. Animaciones

Este apartado contiene las animaciones, que se pueden observar en el menú que aparece en la figura inferior, y tras su selección con el cursor, podemos visualizarlas. Observamos en esta página fotogramas de la animación carga y descarga de áridos.

# Animación

## Animación

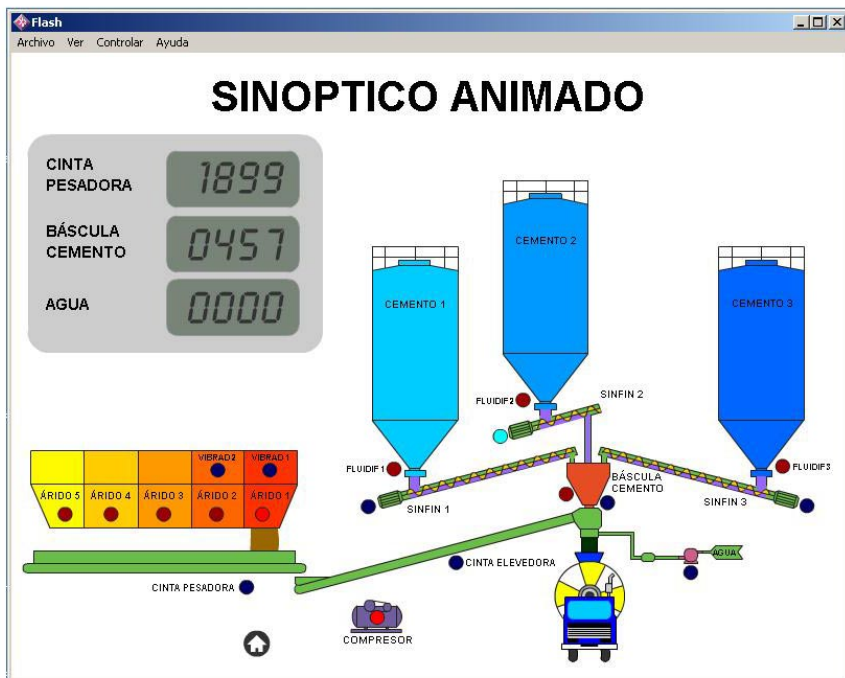
- ▶ Introducción
- ▶ Carga de áridos
- ▶ Pesaje de áridos
- ▶ Pesaje de cemento
- ▶ Descarga de áridos
- ▶ Descarga de cemento
- ▶ Descarga a camión hormigonera
- ▶ Sinóptico animado



Fotogramas de carga y descarga de áridos



En esta página seguimos observando otros fotogramas de animaciones. Podemos comparar las imágenes reales con el fotograma virtual.



Fotograma del cuadro sinóptico



Imágenes reales de la consola del cuadro sinóptico



### **3. Conclusiones**

Las conclusiones que podemos extraer de este trabajo podemos resumirlas en lo siguiente:

- Es un trabajo enfocado para la docencia en la temática dentro de las asignaturas de Materiales de Construcción y Hormigones, que permite realizar no sólo una visita virtual a una Planta de Hormigón sino documentarse en todo lo referente a la normativa, ensayos de control de calidad del producto, materias primas que intervienen en la fabricación del hormigón, descripción de la planta, su funcionamiento y coste de la misma.
- Desde el punto de vista económico se ahorra la visita del alumnado a la fábrica.
- Este trabajo está realizado en el apartado de imágenes y animaciones con todo lujo de detalles. Como ejemplo de lo mencionado anteriormente quisiera matizar que cuando se efectúa la descarga de áridos desde la tolva a la cinta se produce atranque en dicha descarga y podemos observar como entra en funcionamiento un vibrador montado para funcionar cuando se produzca dicho atranque. Para poder observar el interior de las tolvas y sinfines, en un momento de la animación se transforman en transparentes permitiendo la visualización de su interior.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### LA DOCUMENTACIÓN GRÁFICA EN EL PLAN DE CALIDAD DE OBRA (PCO) DE INGENIERÍA CIVIL

R. Tomás\*, L. Bañón\*\*, M.C. Díaz\*, J.I. Ferreiro\*, M. Jaúregui\*\*\*, M.T. Pérez\*, R.E. Pigem\*, E. Sentana\*, I. Sentana\*

(\*) Universidad de Alicante, Alicante, España. Dep. Expresión Gráfica y Cartografía. roberto.tomas@ua.es

(\*\*) Grupo Ortiz. Construcciones y Servicios, S.A., Alicante, España. lbanon@gruportiz.com

(\*\*\*) Necso Entrecanales Cubiertas S.A., Murcia, España. mjauregui@necso.es

### RESUMEN

La ISO 9001 (2000) define el término “Calidad” como la capacidad de una serie de propiedades y características inherentes a un producto, sistema o proceso para satisfacer las necesidades de los clientes y demás partes interesadas. El Plan de Calidad de Obra (PCO) es un instrumento que persigue conseguir la calidad exigida en los contratos de Obras Públicas. La documentación gráfica generada durante la fase de redacción del proyecto de construcción o incluso durante la propia ejecución de las obras de Ingeniería Civil a modo de planos, hace obligatorio un meticuloso tratamiento de ésta información. Este proceso resulta trascendental para la consecución de los objetivos de calidad definitiva del producto (proyecto u obra). En el presente trabajo se muestran los principales procedimientos de tratamiento de la información gráfica definidos en los PCOs, atendiendo a la edición, la modificación, la distribución, el almacenamiento, y otros aspectos relevantes relacionados con la información gráfica.

**Palabras clave:** Calidad, documentación gráfica, Plan de Calidad de Obra (PCO)

### ABSTRACT

The ISO 9001 (2000) define “Quality” as the ability of a set of inherent properties and characteristics of a product, system or process to fulfill requirements of customers and other interested parties. The “Plan de Calidad de Obra (PCO)” is an instrument that follows to get the necessary quality in Civil Works contracts. Graphical documentation generated during construction project elaboration or even during Civil Engineering works execution with planes,

makes obligatory a meticulous treatment of this information that results transcendental in the consecution of the definitive products (projects or works) quality objective. In this work it's shown the principal graphical documentation procedures defined in the PCO attending to the edition, modification, distribution, storage, and other relevant aspects related to graphical information.

**Keywords:** Quality, graphical documentation, Plan de Calidad de Obra (PCO).

---

## **1. Introducción. El Plan de Calidad de Obra.**

Los Planes de Calidad tienen como finalidad garantizar la calidad especificada en el contrato bien sea de obras o bien de redacción de proyectos. En el presente trabajo nos centramos en el plan de calidad correspondiente a obras de Ingeniería Civil y más concretamente en todo lo concerniente a la documentación gráfica.

Estos planes de calidad son conocidos con diversos nombres. En obras de carretera suele recibir el nombre de Planes de Aseguramiento de la Calidad o PACs. Sin embargo, de forma genérica, los podemos denominar como Planes de Calidad de Obra o PCOs.

El Plan de Calidad de Obra es un documento que refleja la existencia de un sistema de gestión de la calidad del proyecto o de la obra y que se desarrolla a través de una serie de especificaciones (MOPU, 1996).

El Sistema de Aseguramiento de la Calidad depende en gran medida de la importancia económica y la complejidad técnica de la obra. En Ingeniería Civil estas obras suelen presentar presupuestos elevados que dan lugar a complejos, sofisticados y eficaces sistemas de calidad.

## **2. La documentación gráfica en las obras de Ingeniería Civil**

La documentación gráfica en las obras de ejecución se reduce fundamentalmente a los planos, que constituyen por si solos un documento contractual del proyecto de construcción. Éstos son, por lo tanto, los documentos gráficos que definen completamente la obra, en su conjunto y detalles, permitiendo fijar los límites físicos y económicos de todas las unidades de obra además de servir para su construcción (Morilla, 2001). En consecuencia la importancia de los planos en las obras de Ingeniería Civil es indiscutible. Si a la gran relevancia de la documentación gráfica sumamos el hecho de que el número de planos puede llegar a ser muy elevado, y que las modificaciones que se realizan en ellos suelen ser abundantes a lo largo del proceso constructivo, surge, inevitablemente, la necesidad de establecer una serie de

procedimientos dirigidos a asegurar la calidad del proceso constructivo y en consecuencia de la obra.

La acumulación masiva de diferentes versiones de un mismo plano puede ocasionar errores en la ejecución, ya que los usuarios de los planos y responsables de la ejecución, pueden construir atendiendo a versiones no vigentes o no conformes, repercutiendo consecuentemente en la calidad final de la obra. Evitar estas confusiones es precisamente una función básica del PCO, para lo cual establece: una serie de responsabilidades, un sistema de registro, identificación, aprobación, distribución y archivo de los planos, así como unos sistemas de comprobación de la idoneidad de los procedimientos aplicados y de cumplimiento con lo establecido en el propio PCO (auditorías).

Este Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la documentación gráfica se caracteriza por el gran número de documentos que genera en su desarrollo. Éste hecho es de gran importancia, puesto que la gestión de la información generada resulta clave para el buen funcionamiento de la Unidad de Calidad (UC) y en la consecución de los objetivos de calidad marcados en el PCO.

### **3. Control de la documentación gráfica en el PCO**

El funcionamiento y desarrollo del plan de calidad queda totalmente definido en el manual del PCO. Este documento se elabora antes del comienzo de las obras por la empresa adjudicataria, y ha de ser aprobado por la Dirección Facultativa. En él se describen los diferentes procedimientos dirigidos a asegurar la calidad de la obra. En lo que al tratamiento de la documentación gráfica se refiere, el manual del PCO ha de definir las responsabilidades de los diferentes miembros del organigrama, los procedimientos de archivo, registro y custodia de los planos, así como la finalidad y desarrollo de las auditorías.

#### **3.1. Responsabilidades en el desarrollo del PCO**

Las responsabilidades y funciones de los miembros de la empresa constructora para asegurar la calidad de la obra quedan reflejadas en los organigramas del PCO (Tabla 1). Éstos describen la organización jerárquica que cada empresa constructora establece para la ejecución y control de las actividades. La identificación de las personas que ocupan cada uno de los puestos se realiza a través de una “Lista de identificación” de personal que tiene carácter de registro de calidad. Dicho listado contiene el nombre, puesto y firma identificativa de cada uno de los miembros de la cadena de calidad.

Las funciones y responsabilidades relacionadas con el PCO, y con la documentación gráfica, varían con el tamaño de la obra y el número de componentes de la estructura, siendo el esquema general el mostrado en la Tabla 1 (Modificado de NECSO, 2003).

El seguimiento del PCO se establece en dos niveles de control, denominados Control Interno (CI) y Control Externo (CE) (Tabla 1). El CI depende de todo el personal de la rama de producción y a través de él se pretenden desarrollar las actividades necesarias para llevar a cabo la obra con las exigencias de calidad requeridas. El CE está constituido por la Unidad de Calidad (UC), que desarrolla las actividades necesarias para establecer un sistema que permita el seguimiento del Plan de Aseguramiento de la Calidad, de forma que se garantiza, ante la Dirección de Obra y ante la Dirección de la empresa, que se cumplen las exigencias de calidad establecidas.

Tabla 1: Responsabilidades de los diferentes miembros del organigrama organizativo en relación con la documentación gráfica.

	Responsabilidad general	Responsable del control interno (Int.) o externo (Ext.)	Responsable ejecución s/ planos	Emisión de los planos	Aprobación de los planos	Modificar y revisión de los planos	Distribuir los planos	Retirar los planos obsoletos	Asegurar que la obra cumple con los requisitos geométricos expresados en los planos	Control, archivo, registro, codificación e informatización de planos
<b>DIRECCIÓN DE OBRA</b>										
Director de obra (DO)					X					
<b>CONTROL INTERNO</b>										
Gerente (GR) <sup>(*)</sup>	X									
Jefe de Obra (JO)		X	X		X					X
Subjefe de Obra (SO)			X							
Jefe de oficina técnica de obra (JOT)				X	X	X	X	X		
Jefe topografía (JT)									X	
Jefe de producción (JP)			X							
Encargado (E)			X							
<b>CONTROL EXTERNO</b>										
Jefe de Unidad de Calidad (JUC)		X				X				X
Ayudante de Unidad de Calidad (AUC)			X							
Inspectores Unidad de Calidad (IUC)										X
Topógrafo Unidad de Calidad (TUC)									X	
Auxiliar Unidad de Calidad (AUC)							X			X

(\*) Sólo en obras ejecutadas por UTE.

### 3.2. Registro, archivo y custodia de la documentación gráfica

Los registros de la documentación gráfica (Listas de distribución, registro de planos modificados, etc.) deben establecerse y mantenerse con el fin de proporcionar evidencias de la conformidad con los requisitos establecidos en el proyecto y de la operación eficaz del sistema de gestión de la calidad (ISO, 2000).



conjunto de dígitos establecidos en el PCO, que permiten reconocer de forma unívoca cada elemento en los que se ha discretizado la obra. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo del código de identificación que podríamos utilizar para los planos de las estructuras de una obra civil, según la cual tendría la forma 4-nn-X-YY-ZZZ, de manera que para la fase de hormigonado de la aleta derecha de un marco prefabricado cuya numeración de proyecto es el 7, el código asignado tendría la forma 4-07-1-02-15.

Tabla 2: Ejemplo de código de identificación de estructuras.

CLAVE	ELEMENTO/TAJO
Capítulo	4: Estructuras
Subcapítulo	"nn": N° de la Estructura en proyecto
Parte	X= 1 para marcos y pórticos en pasos inferiores
	X= 2 para aletas en pasos inferiores
	X= 3 para cimentaciones y alzados en pasos superiores
	X= 4 para tableros en pasos superiores
	X= 5 para muretes, losas de transición,...en pasos superiores
	X= 6 para rellenos localizados bajo estribos en pasos superiores.
	X= 7,8,9,... definido s/ necesidades
Elemento	YY=1,2,3,... para pilas, fases de tablero, aletas,...
	YY= E1, E2 en el caso de los estribos
Lote	ZZZ s/ puntos de inspección del impreso

Estos códigos suelen definir la unidad de obra completa o partes de ella (p.e. zapatas, pilas, estribos, tablero, etc.), descomponiéndolas en fases solamente en aquellos casos en los que el procedimiento constructivo resulta de gran complejidad e importancia y conste de diferentes planos. Si por ejemplo queremos codificar el plano correspondiente al marco prefabricado número 7, el código podría ser 4-07-1-02, donde el 4 indica el capítulo de estructuras, el 07 que es la n° 7, el 1 que se trata de un marco prefabricado y el 02 que es la edición n° 2.

Como ya se ha dicho, la trazabilidad consiste en la capacidad para reconstruir el historial, la utilización o la localización de un artículo o de una actividad, mediante una identificación registrada. En la documentación gráfica, el historial está constituido por el registro de los planos y ediciones (Tabla 3), la hoja de aprobación de los mismos, así como los listados distribución de las nuevas versiones modificadas de los planos, por parte del personal indicado en el PCO (Fig. 1). Un ejemplo de trazabilidad de la documentación gráfica sería el correspondiente al plano n° 25, cuyo código de identificación es 4-01-E1-25-2, y que corresponde a un detalle del estribo derecho de

la estructura 1, que ha sido modificado en dos ocasiones puesto que la edición vigente es la 2. Además ha sido distribuida al jefe de obra, al jefe de oficina técnica, al jefe de producción de estructuras, al encargado de estructuras y al jefe del PCO, tal y como ordena el procedimiento de distribución, quedando constancia en la hoja de distribución de documentos, en el que constan las firmas de recibo, archivada de la manera indicada en el registro de calidad. Por último se puede comprobar que el documento fue aprobado por el director de la obra, el jefe de obra y el jefe de oficina técnica respectivamente.

Un aspecto muy importante en la fase de distribución consiste en llevar a cabo la comprobación de que la persona que recibe el nuevo documento, anule o destruya el documento anterior. También es muy recomendable que todos los que lo reciben escriban en una tabla impresa al dorso del documento original su firma y fecha de recepción, en cuyo caso estas anotaciones constituirían la propia hoja de distribución de planos. Esto facilitará de un solo vistazo quien ha recibido el documento y constituirá la lista mínima de personal que deberá recibir ediciones posteriores. La Figura 1 muestra este aspecto.

### **3.3. Auditorías**

Las auditorías tienen por finalidad verificar, constatando y evaluando, que los elementos del sistema de calidad aplicados en el desarrollo e implantación del PCO se están desarrollando de acuerdo con los requisitos establecidos. Consisten en un examen sistemático e independiente, cuya misión es determinar si las actividades de calidad y sus resultados, cumplen con las disposiciones establecidas en el PCO, y si se encuentran eficazmente implantadas para alcanzar los objetivos precisados.

Generalmente se auditan las unidades de obra que están sometidas al PCO. Y además las siguientes actividades relacionadas con la documentación gráfica: el control de la documentación y los registros de calidad de la documentación gráfica.

En el caso de que algún aspecto relacionado con el control de calidad no hubiera cumplido con los objetivos estipulados con el PCO, se incluirá en el informe final de la auditoría el listado de no conformidades, junto con las acciones correctoras propuestas para subsanarlas. Estas acciones correctoras son estudiadas en una reunión final, donde se acordará su implantación, seguimiento y cierre.

## **4. Ejemplo de tratamiento de los planos en el PCO.**

En este apartado vamos a estudiar la evolución de un plano determinado de la obra, desde su origen (la edición 0 de proyecto) hasta que la unidad de obra es ejecutada.

Supongamos que se trata de una obra de un túnel, en cuyas salidas se han dispuesto una serie de muros de contención de tierras de hormigón armado con talón y puntera, cuyo código de identificación es 3-02-05-00. Tras el recálculo llevado a cabo



por la Dirección de Obra, se propone cambiar parte del armado además de construirlo con tacón, con el fin de aumentar el coeficiente de seguridad al deslizamiento del muro.

La oficina técnica de obra es la encargada de elaborar el nuevo plano (Edición 01 y código 3-02-05-01), que será distribuido, atendiendo a la lista de distribución de documentos establecida en el propio PCO y bajo la responsabilidad del jefe de oficina técnica: a la Dirección de Obra, al jefe del PCO, al jefe de obra, subjefe de obra (si lo hubiera), al jefe o jefes de producción correspondientes, y al encargado o encargados de esa unidad.

La lista de distribución será firmada por las personas a las que se les haya entregado el plano, y constará del código identificativo del plano, la fecha de recepción y el número de edición del mismo.

Tal y como hemos comentado anteriormente, esta lista puede estar integrada en el dorso del documento original. Esta lista de distribución será archivada en UC como registro de que ese documento válido para construir está en posesión de todas aquellas personas encargadas de la ejecución y control de esa unidad de obra. Por otro lado, en la unidad de calidad se establecerá un archivo y registro de las nuevas versiones de los planos. El archivo de planos modificados contendrá todas las versiones existentes de un mismo plano, disponiendo la palabra “ANULADO” mediante un sello sobre las ediciones obsoletas, la edición 0 en este caso. El registro consistirá en una base de datos informática o escrita similar a la descrita en el apartado 3.2 que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Ejemplo de registro de planos modificados.

RELACION DE PLANOS MODIFICADOS VIGENTES						
PLANO	HOJA	IDENTIFICACIÓN DEL PLANO	DEFINICION GENERAL	FECHA	EDICIÓN	ESTADO
2.9.3	1 de 11	4-07-1-01	Geometría y armado de las aletas del marco prefabricado nº7	1-10-03	01	ANULADO
3.5.3	2 de 25	4-10-2-01	Armado pila 10 de la estructura 5.	17-10-03	01	
2.9.3	1 de 11	4-07-1-02	Geometría y armado de las aletas del marco prefabricado nº 7	25-10-03	02	ANULADO
15.5.7	1 de 4	10-00-1-01	Detalle montaje plataforma de trabajo.	2-11-03	01	
3.5.1	4 de 25	4-01-2-01	Geometría pila 1 de la estructura 4.	6-11-03	01	ANULADO
3.5.1	4 de 25	4-01-2-02	Geometría pila 1 de la estructura 4.	7-11-03	02	
2.9.3	1 de 11	4-07-1-03	Geometría y armado de las aletas del marco prefabricado nº 7	7-11-03	03	

Si posteriormente, la dirección de obra decide sustituir, a propuesta de la oficina técnica, el muro de hormigón armado construido in situ por un muro prefabricado, el plano anterior (edición 1) queda también obsoleto y modificado por un nuevo plano (edición 2), cuyo código sería 3-02-05-02, y que sería nuevamente distribuido, generando un nuevo registro de distribución del documento. A su vez, estamparíamos sobre la edición 1 del plano obsoleto, el sello de anulación, quedando de nuevo incluido dentro de la carpeta de registro de planos.

Durante el proceso de ejecución del muro intervendrá en primera instancia el jefe de topografía (control interno), cuya misión será proceder al replanteo de la cimentación y posterior colocación de los paneles prefabricados. Simultáneamente, el topógrafo de la unidad de calidad (control externo), comprobará que los replanteos coinciden con las coordenadas establecidas en los planos. Los responsables de que la unidad se ejecute según los planos son el jefe de obra, el subjefe de obra, el jefe de producción y el encargado, lo cuales velarán para que el muro cumpla con sus requisitos finales de calidad exigidos debiendo disponer para ello de las ediciones vigentes de los planos.

## **5. Conclusiones**

La aplicación de los sistemas de aseguramiento de la calidad garantiza, en gran medida, la consecución con éxito de los objetivos de calidad marcados inicialmente. Éstos sistemas pueden aplicarse a nivel de proyecto o de obra, afectando en ambos casos a la documentación gráfica.

En el caso de los PCOs, los planos de obra, que constituyen la documentación gráfica de mayor relevancia, sufren numerosas modificaciones que dan lugar a multitud de ediciones de planos de un mismo elemento o unidad de obra. Una organización y gestión deficiente de toda esta acumulación de documentación gráfica puede generar errores en la ejecución, al construir atendiendo a versiones no vigentes de los mismos, lo cual repercutiría en la calidad final de la obra. Una de las funciones básicas del PCO en este aspecto, es evitar que ocurran estos hechos, para lo cual establece una serie de responsabilidades, un sistema de aprobación, registro, distribución, identificación y archivo de los planos, así como unos sistemas de comprobación, denominados auditorías, que aseguren que los procedimientos aplicados son adecuados y eficientes, cumpliendo con lo establecido en el propio PCO.

La implantación y gestión de estos sistemas de aseguramiento de la calidad en obra generan, por si solos, gran cantidad de documentación que en ocasiones ha sido criticada como obstáculo al buen hacer de la obra. No obstante, está comprobado que la gestión de calidad mejora considerablemente el desarrollo de los trabajos de ejecución además del producto final de la obra. Asimismo, con la nueva ISO 9001 (2000), la cantidad de documentación exigida ha disminuido sustancialmente lo que facilita las tareas de tratamiento documental junto con los sistemas informáticos de gestión de calidad desarrollados específicamente para este fin.

## **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer a NECSO la documentación e información facilitada para la realización del presente trabajo.

## **Referencias bibliográficas**

M.O.P.U. (1996). *Libro de la Calidad*. Edita Centro de Publicaciones de la Secretaría General técnica del Ministerio de Fomento. Madrid.

MORILLA, I. (2001). *Guía metodológica y práctica para la realización de proyectos*. Edita C.O.I.C.C.P. Madrid.

NECSO (2003). *Manual de calidad de NECSO*. Inédito.

UNE-EN-ISO 9001 (2000). *Quality management systems – Requirements*.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### “RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE UN ECOSISTEMA DEL CRETÁCICO INFERIOR EN TERUEL”

LÓPEZ, Carmelo (1); ALCALA, Luis (2); BERGES, Luis (1); YOLDI, Víctor (1); COBOS, Alberto (2); ROYO, Rafael (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, España

Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación

<sup>(2)</sup> Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis, España

Correo electrónico: melopez@unizar.es

### RESUMEN

Esta ponencia presenta un proyecto conjunto entre el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza y la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel del Gobierno de Aragón. El objetivo del proyecto es el modelado mediante técnicas avanzadas de infografía 3D de un ecosistema del Cretácico Inferior de Teruel, que pueda ser utilizado en contenidos multimedia o soporte de documentación científica de desarrollo posterior. Todo ello supone la reconstrucción virtual de ciertas especies de fauna y flora características, dentro de un escenario digital completo en el que también se puedan visualizar condiciones geológicas y climáticas propias de la región y del periodo cronológico concreto. A tal efecto, se ha seleccionado un ambiente constituido por canales fluviales que desembocaron en zonas lacustres hace unos 120 millones de años. El desarrollo infográfico está basado en algunos de los hallazgos paleontológicos (coníferas, cocodrilos, saurópodos, terópodos) y trabajos del equipo investigador de la citada Fundación. La actividad presenta indudables puntos de interés para la ingeniería gráfica como la aplicación del diseño paramétrico a la representación de organismos vegetales, el modelado y animación de animales extintos partiendo de restos fosilizados o la elaboración de texturas complejas basadas en entornos naturales.

**Palabras clave:** Realidad virtual, personajes de síntesis, infografía 3D, paleontología, paleoecología, Aptiense-Albiense.

### ABSTRACT

This paper introduces to a project between the Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación of the University of Zaragoza and the Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel of the Aragón Government. The main objective is the application of advanced computer graphics techniques to describe a fully detailed ecological environment, dated in the early Cretaceous period at Teruel, for scientific documentation and other public presentation purposes. The digital models will describe the biological species, geological context and climatic conditions (120 million years ago the geographic studied area was an intricate riverside and lake zone). We are specially interested to present the latest results of the Foundation excavations (big sauropods, local theropods, crocodiles, conifer trees). The graphic tasks have required many software tools and special computer technology: organic modeling, complex natural shapes representation, digital animation of extinct species or 3D digitalization of fossilized pieces..

**Key words:** Virtual reality, computer generated characters, computer graphics, character animation, paleontology, paleoecology, Aptiense-Albiense

## 1 Introducción

El Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza ([www.didyf.unizar.es](http://www.didyf.unizar.es)) tiene varias líneas de investigación orientadas hacia el aprovechamiento de las herramientas avanzadas, modelización y visualización 3D para la simulación y generación de mundos virtuales relacionados con la industria (**REF.01**, **REF.02**). Dentro de este campo se encuentran dos disciplinas o materias específicas, que pueden relacionarse de forma inmediata con otras facetas de la realidad o del conocimiento, incluida la paleontología. Se trata concretamente de los caracteres (biológicos) de síntesis y la “*ecoinfografía*”.

Un personaje de síntesis consiste en un modelo tridimensional generado en un ordenador que puede representar organismos vivos (un ser humano, un mamífero, un artrópodo o un dinosaurio) reales o ficticios. Su presencia en el cine, televisión y videojuegos resulta cada vez más cotidiana. Detrás de esas creaciones esconde una tecnología sofisticada. Su complejidad va acrecentándose en función de la calidad visual o verosimilitud que requiere el elemento representado. La “*ecoinfografía*” es un concepto menos conocido. Se agrupan bajo esa denominación un conjunto, cada vez más numeroso, de técnicas de informática gráfica orientadas a la representación y simulación de los principales elementos de la naturaleza: animales (solos o en agrupaciones), plantas, elementos geológicos, condiciones meteorológicas o fluidos, por citar algunos ejemplos. Estas herramientas permiten reconstruir un hábitat o ecosistema completo, existente o desaparecido, con grado máximo de detalle.

Uno de los objetivos esenciales de la Fundación Dinópolis del Gobierno de Aragón ([www.dinopolis.com/fcpt/index.htm](http://www.dinopolis.com/fcpt/index.htm)) es la recuperación y difusión del Patrimonio Paleontológico de la provincia de Teruel. Esta Entidad también está interesada en el desarrollo de recursos educativos que faciliten y potencien el conocimiento científico y profesional de la Paleontología. Dinópolis es en estos momentos una referencia internacional dentro de los parques temáticos. Su éxito y aceptación por parte del público es un hecho. Las mejoras constantes en la calidad y variedad de oferta son imprescindibles para garantizar la continuidad del resultado. El uso de nuevas tecnologías digitales, especialmente en el terreno de la producción audiovisual, es un complemento imprescindible en la industria del ocio moderna.

Por todo lo expuesto, es evidente que existe una convergencia de dos líneas de actuación con experiencia complementaria; por un lado, está el interés por difundir una actividad paleontológica de primer nivel, aplicada al contexto concreto de un entorno de Teruel y por otro, la capacidad para llevarlo a cabo empleando los recursos digitales avanzados e innovadores, favoreciendo la investigación aplicada a un sector estratégico en expansión: el de las tecnologías audiovisuales mediante imagen de síntesis digital.

## 2 Objetivos y justificación

En la actualidad algunas universidades auspiciadas por entidades públicas trabajan en la reconstrucción de restos arqueológicos o en la recuperación y documentación del patrimonio artístico. La reconstrucción 3D del coro pétreo del Obradoiro en Santiago de Compostela ([www.intarch.ac.uk/journal/issue11/reviews/gerrard.htm](http://www.intarch.ac.uk/journal/issue11/reviews/gerrard.htm)) o la simulación virtual del arrabal musulmán del siglo XI, aparecido en el subsuelo de Zaragoza ([www.giga.cps.unizar.es/index.html](http://www.giga.cps.unizar.es/index.html)), son dos ejemplos. Estos proyectos son fruto de la colaboración entre expertos de diversa índole: arquitectos, arqueólogos o historiadores con especialistas en informática gráfica. La referencia más próxima a

Otro objetivo es la potenciación de líneas de trabajo actuales. Este trabajo puede conectar con disciplinas como la medición sin contacto mediante dispositivos ópticos o el desarrollo de prototipos orgánicos, que son dos líneas de trabajo consolidadas dentro del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación.

Existe un valor añadido en la experiencia de coordinar dos equipos de trabajo con especialistas en materias muy diferenciadas. Este modelo es actualmente imprescindible en cualquier campo de la ciencia y de la investigación de calidad.

### **3 Descripción del proyecto**

Atendiendo a la dificultad de la iniciativa se ha establecido un calendario de actuación, que divide el proceso en tres fases con un periodo de ejecución de unos 30 meses. Se pretende facilitar la incorporación de nuevos hallazgos paleontológicos, la obtención de resultados intermedios y un cierto margen de maniobra ante la incertidumbre propia de la innovación técnica en un contexto de constante evolución como es el del software y hardware 3D.

#### **3.1 Fase 1: Documentación, definición del alcance y selección de recursos**

En esta fase se ha recopilado la información paleontológica necesaria para la ejecución del proyecto. El objetivo es la definición del ecosistema mediante un número reducido de hábitats (dos) con un conjunto concreto de especies animales, vegetales y condiciones de contorno interrelacionadas. El análisis documental y la evaluación de la calidad de la información bajo condicionantes técnicos (infográficos) ha sido una de las principales dificultades. Se plantea una situación similar a la de fabricar un conjunto mecánico de cierta complejidad y nivel de detalle, partiendo únicamente de bocetos con dimensiones generales. Esta problemática hizo necesaria la organización de las especies elegidas en tres categorías propias de un diagrama del tipo ABC:

Categoría A: Máximo nivel de detalle. Se aplica a un conjunto reducido de dinosaurios o especies de máximo interés científico a juicio del equipo de paleontólogos (saurópodo de gran tamaño o un terópodo autóctono, por citar los dos ejemplos más significativos). Se modelan de forma integral y con el máximo detalle propio de los primeros planos de visualización. Incorporan la posibilidad de adaptarse a variaciones de género o edad y la posibilidad de animación compleja con texturas hiperrealistas de gran resolución y efectos especiales.

Categoría B: Modelos tridimensionales susceptibles de animación y buen nivel de detalle para planos cortos y medios (caracteres verosímiles). Conllevan el uso de bibliotecas comerciales y recursos informáticos 3D más específicos. La tarea principal es su adaptación a las condiciones existentes y documentadas en los ecosistemas tratados. Esta categoría afecta a las especies vegetales, otros dinosaurios secundarios, cocodrilos y diversos organismos (pequeños vertebrados, insectos, etc). Dentro de esta categoría se encuentran algunos elementos orográficos de la escena (colinas, vaguadas, ríos), ya que desde el punto de vista digital pueden ser considerados como seres vivos (susceptibles de animación).

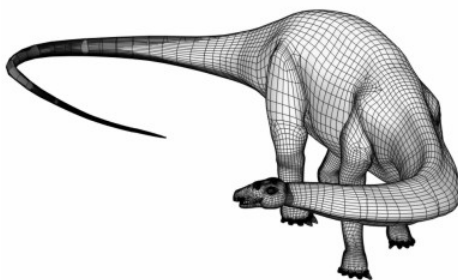
Categoría C: Objetos que aparecen en la escena como complemento, de carácter estático (rocas, troncos, restos orgánicos o fondos básicos). También pueden incluirse algunos elementos dinámicos, aunque de bajo detalle, para su presentación en planos de conjunto o vistas panorámicas (nubes, campos de plantas, rebaños o bandadas de aves e insectos).

Finalmente, y dentro de la etapa inicial, también se evaluaron y seleccionaron las

### 3.2. Fase 2: Elaboración de los hábitats digitales.

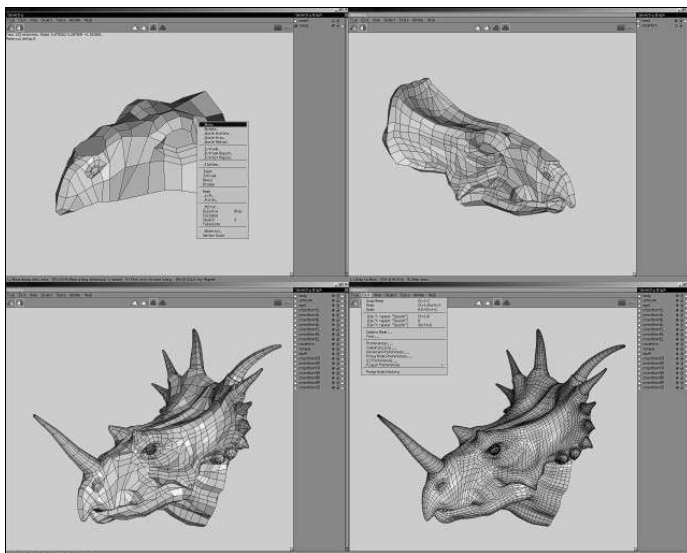
Esta etapa constituye el núcleo del proyecto y agrupa las siguientes tareas:

a) Reconstrucción de los dinosaurios principales. Esta labor afecta a cuatro especies que han sido elegidas por el interés de los hallazgos fósiles presentes en las diversas comarcas de Teruel (**REF.06**). Se trata de un saurópodo de grandes dimensiones similar al que aparece en la **figura 01**. También se están reconstruyendo dos terópodos (uno carnívoro y otro similar a un ave contemporánea) y un ejemplar del mismo género que los estegosaurios.

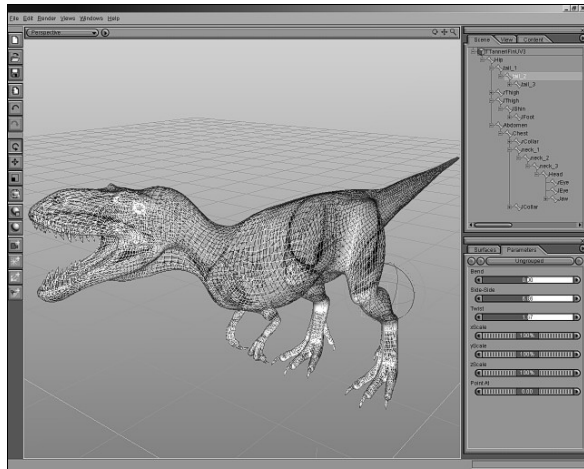


**Figura 01:** Malla generada por ordenador de un saurópodo.

Se emplean herramientas de modelado orgánico, especialmente el método de subdivisión poligonal (Ver **figura 2**) que permite disponer de mallas con diversos grados de detalle. De hecho, la animación en tiempo real de las aplicaciones interactivas exige modelos con bajo número de polígonos. (Ver **figura 3**). Esta técnica también es adecuada para definir patrones anatómicos básicos, susceptibles de aplicarse a varias familias o especies. Ofrece una adecuada capacidad de corrección, imprescindible cuando se trabaja con las técnicas de escultura intuitiva o clonación de modelos.

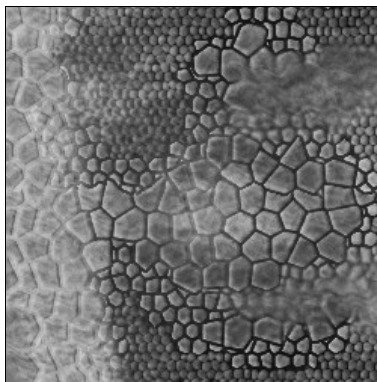


**Figura 02:** Diversas fases del modelado de la cabeza de un styracosaurus mediante la técnica de subdivisión poligonal. Esta especie no se incluye en este proyecto.



**Figura 03:** *Proceso de animación de la malla de terópodo.*

Tan importante o más que el modelado resulta la confección de las texturas (piel, plumas, garras u ojos) de los dinosaurios. Se pretende alcanzar el máximo detalle en este capítulo adaptando el diseño y colores de las libreas al contexto del ecosistema. Desde el punto de vista infográfico se ha recurrido a varios programas de pintura tridimensional directa sobre malla que evitan la distorsión de texturas mediante la optimización del mapeado paramétrico (técnica conocida como relajación de normales). El uso de mapas de desplazamiento (ver **figura 04**) es especialmente recomendable a la hora de representar la compleja rugosidad de la piel de un dinosaurio, reduciendo el número de polígonos de la malla y facilitando la representación de arrugas, venas o detalles citológicos intrincados.



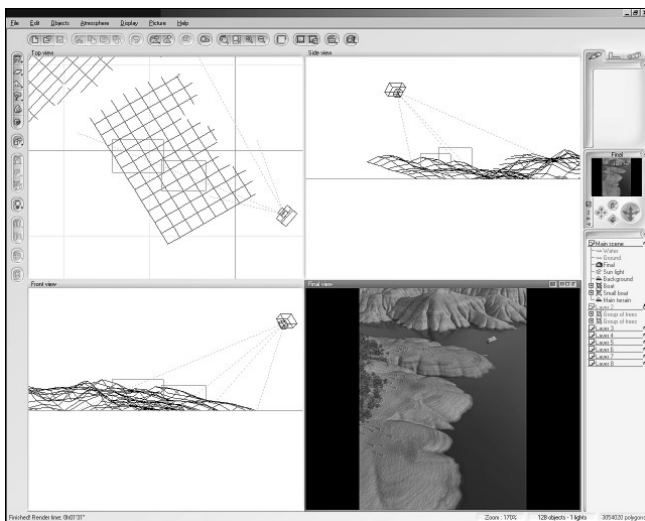
**Figura 04:** *Detalle de un mapa de desplazamiento empleado para obtener un relieve de la piel tipo escama.*

b) Construcción del escenario básico. Existen numerosas aplicaciones para el tratamiento digital de un paisaje. Este proyecto requiere el tratamiento integral de un ecosistema más que una interpretación topográfica ajustada a unas dimensiones precisas o a una ubicación geográfica dada con datos de cartografía propios del proyecto convencional de obra civil o arquitectura. Con esta premisa se han elegido herramientas con las que poder reconstruir materiales geológicos, condiciones



vegetales. Este tipo de facies se puede asociar a una importante red de canales meandriiformes formados por una importante acción fluvial.

La técnica infográfica más recomendable para la representación de este tipo de entornos fluviales es el modelado mediante mapas de altura (imágenes en escala de grises) a los que se aplican filtros fotográficos que permiten representar bancos pedregosos o emular los efectos de la erosión por la lluvia sobre materiales arcillosos. Sus resultados visuales son especialmente recomendables para planos largos o medios (ver **figura 05**). Los materiales geológicos primarios se obtienen mediante imágenes de alta resolución del propio terreno excavado, preparadas para la proyección ortogonal sin efectos de mosaico (“tilling”). El resto de los materiales son fotografías de bibliotecas comerciales o imágenes sintetizadas mediante procedimientos algorítmicos (fractales).



**Figura 05:** Editor de terrenos mostrando una zona lacustre. Se puede apreciar la posición de la cámara en tres de las vistas y un render de un plano largo.

c) Generación de especies botánicas. El proyecto incorpora varias especies botánicas generadas mediante síntesis digital y de las que se tiene constancia mediante restos fósiles. Se trata de: coníferas (pinos), musgos, equisetos, helechos, cicadales, ginkgos y araucarias.



dimensionales. Normalmente analizan las diversas partes de la planta por separado: raíz, tallo y hojas. Sus principales ventajas frente a otros métodos de generación 3D convencionales son la capacidad para interpretar las condiciones físicas de contorno que afectan al crecimiento, a la acción de la fuerza de la gravedad o a la simulación del viento. La posibilidad de incorporar imágenes reales en sus hojas mejora la calidad visual (ver **figura 06**) y reduce el número de polígonos del modelo, circunstancia crítica a la hora de procesar la vegetación formando conjuntos o agrupaciones.

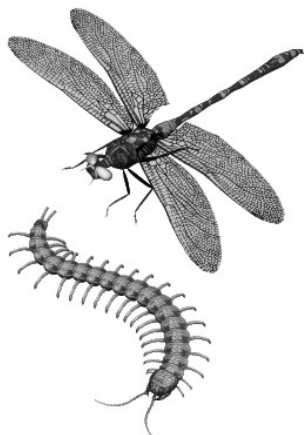
d) Efectos especiales de animación. Independientemente de las posibilidades cinemáticas de los modelos elaborados que les capacita para representar situaciones propias de una producción audiovisual subordinada a un guión, existe interés por evaluar las posibilidades de los hábitats digitales integrados para la simulación de eventos naturales o para la recreación de situaciones de la vida cotidiana del Cretácico. Esta posibilidad podría resultar una de las aportaciones de mayor repercusión científica y tecnológicamente más innovadora. Algunas de las posibilidades que actualmente se analizan son:

- Simulación de las fases fluviales (crecidas, estiajes)
- Visualización de condiciones climáticas o ambientales (ciclos estacionales, noche y día).
- Reproducción de meteoros atmosféricos (lluvia, tormentas)
- Representación acelerada de los cambios de la orografía o de la deforestación natural.
- Simulación gráfica de combustiones

### 3.3 Fase 3: Difusión de resultados

Uno de los objetivos principales del proyecto es la construcción de un instrumento digital que permita dar a conocer los descubrimientos científicos en este campo de la paleontología, empleando un recurso avanzado y flexible: el de las tecnologías multimedia. Se puede hablar de tres niveles de presentación en orden creciente de dificultad:

a) Nivel estático: Relacionado con la obtención de imágenes fotorrealistas o ilustraciones digitales de las escenas, organismos (Ver figura 07) o detalles de los mismos. Este nivel es el más inmediato y puede ser realizado en paralelo con la segunda fase del proyecto.



que permiten recorrer de manera interactiva la escena tridimensional desde Internet, tal y como se ha desarrollado para otro tipo de entornos (REF.08).

#### 4 Estado actual y conclusiones.

El proyecto se encuentra en el comienzo de su segunda fase (reconstrucción de los dinosaurios principales y escenarios). Las herramientas informáticas elegidas permiten alcanzar los resultados previstos, aunque sólo a nivel estático con la configuración de hardware actual. La elaboración de material dinámico e interactivo supone la incorporación de nuevos recursos materiales y humanos. Se está analizando la tecnología de digitalización necesaria para el posible tratamiento y análisis de los restos fósiles.

Se van a incorporar nuevos hallazgos paleontológicos de gran interés y proyección científica, que refuerzan la necesidad y justificación del trabajo realizado.

#### 5 Referencias

**REF.01:** LÓPEZ, C.; ROYO, E.; DE FRANCISCO, J.C.; “*Elaboración de personajes 3D para su difusión en Internet*” XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander (España).2002. Incluido en los Anales de Ingeniería Gráfica del 2002.

**REF.02:** LÓPEZ, C.; DE FRANCISCO, J.C.; ROYO, E.; “*Desarrollo de un presentador sintético para WWW*” XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz (España).2001

**REF.03:** LÓPEZ, C.; VALERO, C.; “*Desarrollo Sostenible de Personajes Sintéticos 3D*”. XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valladolid (España).2000.

**REF.04:** PASTOR, E. y A. COBOS (2002): Las arcillas de Teruel y su patrimonio paleontológico. En: *La investigación de arcillas en Geología, Agricultura, Medio Ambiente y Ciencias de Materiales*. Sociedad Española de Arcillas, 285-290.

**REF.05:** ROYO-TORRES, R., A. COBOS, L. ALCALA y Y. BELLO (2003): “*Primeros restos de dinosaurio en el Cretácico Inferior de Riodeva*” (Teruel). En: *Libro resum. XIX Jorn. Paleont.* (M.V. Pardo y R. Gozalo, ed.). Morella, 147.

**REF.06:** ROYO-TORRES, R. y J.I. CANUDO (en prensa): “*Restos directos de dinosaurios saurópodos en España* (Jurásico Superior-Cretácico Superior). En: *Dinosaurios y reptiles Mesozoicos Españoles*. Colección Ciencias de la Tierra, 26. Instituto de Estudios Riojanos

**REF.07:** VALERO, C.; LÓPEZ, C.: “*La Imagen Estereoscópica 3D Virtual Aplicada a la Reconstrucción de la Ciudad Celtibérica de Botorrita*” XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valladolid (España).2000.

**REF.08:** ROYO, E.; LÓPEZ, C: “*Flexible University Training in CIM*” I International Congress in Quality and Technical Education Innovation”, San Sebastián (España): ISBN: 84-7585-381-1

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DOS FORMAS DE REPRESENTAR LA MISMA REALIDAD: TRAZADOS Y GEOMETRÍA DRESCRIPTIVA. SU REPRESENTACIÓN EN EL TIEMPO.

ORTEGA SUCA, Antonio (1); ROJAS SOLA, José Ignacio (2);  
ORTEGA MONTORO, Amelia; ORTEGA MONTORO, Antonio

<sup>(1)</sup>Universidad de Jaén España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos  
Correo electrónico: [antonio.ortega@copt.juntadeandalucia.es](mailto:antonio.ortega@copt.juntadeandalucia.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Jaén, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos  
Correo electrónico: [jirojas@ujaen.es](mailto:jirojas@ujaen.es)

### RESUMEN

En la didáctica de la Expresión Gráfica Técnica impartida tanto en los estudios previos a los universitarios así como en los cursos iniciales de las Escuelas Técnicas, en los que se realiza de forma excesivamente condensada en el tiempo y con una exigencia un tanto exhaustiva, se suele transmitir una información que se centra fundamentalmente en la exposición de los trazados geométricos de la Geometría Euclídea para a continuación desplegar ampliamente los denominados sistemas de representación pertenecientes a la Geometría Descriptiva finalizando con los temas sobre Normalización, cosa que comprensiblemente es necesaria y desde luego fundamental. Pero se olvida tratar la EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS TRAZADOS Y SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN GRÁFICOS, tema fundamental para la comprensión con profundidad de los procedimientos de Expresión Gráfica.

Como aportación a la problemática planteada y al mismo tiempo como homenaje a la declaración de las ciudades de Úbeda y Baeza como Patrimonio de la Humanidad, ciudades donde se desarrolló desde el siglo XVI una arquitectura renacentista, en la que la cantería desempeñó un papel fundamental con la importancia que para tal sistema constructivo tiene la representación gráfica, dejándonos al respecto magníficos tratados aunque de no muy fácil lectura como es el “Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira”, traemos consecuentemente un estudio comparativo entre los trazados de Alonso de Vandelvira y la geometría descriptiva de Gaspard Monge.

**Palabras clave:** Geometría descriptiva, Úbeda, Baeza, UNESCO, Patrimonio Mundial

## ABSTRACT

In the didactics of the Technical Graphic Expression imparted so much in the previous studies to the university students as well as in the initial courses of the Technical Schools, in those that it is carried out in way excessively condensed in the time and with a demand an exhaustive point, an information is usually transmitted that is centered fundamentally in the exhibition of the geometric layouts of the Geometry Euclidean it stops next to deploy the denominated representation systems belonging to the Descriptive Geometry thoroughly concluding with the topics it has more than enough Normalization, thing that comprehensibly is necessary and certainly fundamental. But it forgets to treat the HISTORICAL EVOLUTION OF THE LAYOUTS AND GRAPHIC SYSTEMS OF REPRESENTATION, fundamental topic for the understanding with depth of the procedures of Graphic Expression.

As contribution to the outlined problem and at the same time as homage to the declaration of the cities of Úbeda and Baeza like world heritage, cities where it was developed from the XVI century a Renaissance architecture, in which the stereotomy played a fundamental part with the importance that has the graphic representation for such a constructive system, leaving us in this respect magnificent treaties although of not very easy reading like it is the "Treaty of Architecture of Alonso of Vandelvira", we bring a comparative study consequently between the layouts of Alonso of Vandelvira and the descriptive geometry of Gaspard Monge.

**Key words:** Descriptive Geometry, Úbeda, Baeza, UNESCO, World Heritage.

## 1. Introducción

En la didáctica de la Expresión Gráfica Técnica impartida tanto en los estudios previos a los universitarios así como en los cursos iniciales de las Escuelas Técnicas, en los que se realiza de forma excesivamente condensada en el tiempo y con una exigencia un tanto exhaustiva, se suele transmitir una información que se centra fundamentalmente en la exposición y práctica de los trazados geométricos de la Geometría Euclídea para a continuación desplegar ampliamente los denominados sistemas de representación pertenecientes a la Geometría Descriptiva sin olvidar los temas sobre Normalización, cosa que comprensiblemente es necesaria y desde luego fundamental. Pero a veces se olvida tratar la evolución histórica de los trazados y sistemas de representación gráficos, tema fundamental para la comprensión con profundidad de los procedimientos de Expresión Gráfica y cosa más importante, para despertar el interés del alumnado.

## 2. Desarrollo del Trabajo

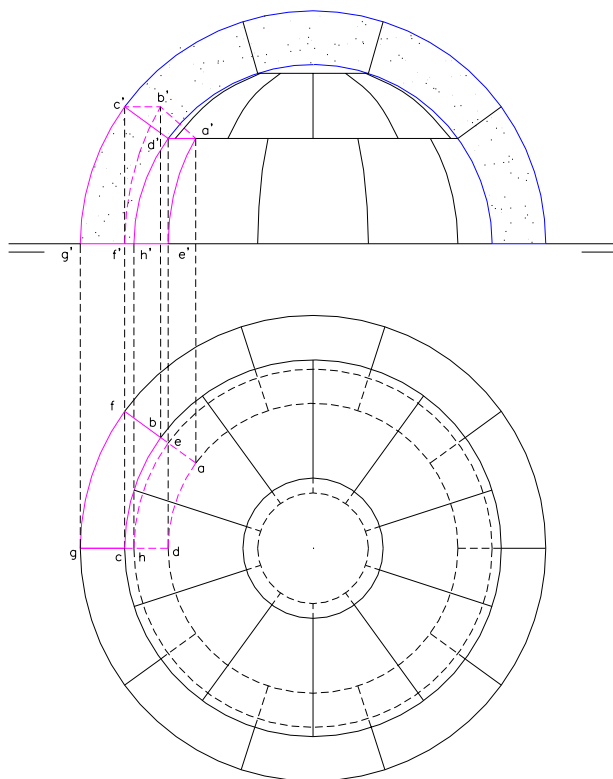
Como recordaremos en la metaproyección los agentes condicionantes de la forma y tamaño del producto resultante constituyen una multiplicidad, que constitutivamente fueron sintetizados hace poco más de veinte siglos, en el período de Augusto por Marco Vitrubio Polión, en la conocida terna que hace referencia al uso, a la técnica y a los componentes estéticos. Triada, abarcable en sus dos primeros componentes por la esfera objetiva del conocimiento y por la subjetiva en el último, que es conocida suficientemente y que fue muy utilizada preferentemente de forma parcial en los planteamientos "Las especies de Disposición, que en griego se llaman ideas, son Iconografía, Ortografía, y Scenografía. La Iconografía es un dibujo en

pequeño, formado con la regla y el compás, del cual se toman las dimensiones para demarcar en el terreno del área el vestigio o planta del edificio. Ortografía es una representación en pequeño de la frente del edificio futuro, y de su figura por elevación, con todas sus dimensiones. Y la Scenografía es el dibujo sombreado de la frente y lados del edificio, que se alejan, concurrendo todas ellas en un punto”. Porque estaremos de acuerdo que en el diseño los sistemas de representación y así mismo también los medios técnicos para su materialización representan un condicionante fundamental. Tanto que en la evolución estilística si nos preguntamos quien condiciona a quien, la contestación no es fácil de precisar, porque relación entre el diseño y su representación entendida en su dualidad sistemática y técnica es bastante compleja. De manera que sin la evolución de los sistemas de representación y las técnicas de materialización hubiese sido impensable la evolución del diseño.

En este contexto y como aportación a la problemática planteada y al mismo tiempo como homenaje a la declaración de las ciudades de Úbeda y Baeza como Patrimonio de la Humanidad, traemos un estudio comparativo entre uno de los trazados de la época y versión actual. Porque como ustedes conocen en las citadas ciudades se desarrolló desde el siglo XIII una arquitectura en la que la cantería desempeñó un papel fundamental, sistema constructivo éste en el que la representación gráfica tiene un importancia cardinal, de la cual tenemos un magnífico legado en el “Tratado de Arquitectura” de Alonso de Vandelvira, y de este tratado es de donde hemos elegido el ejemplo objeto de la disertación.

Se ha optado por su generalidad y arquetípico por la “Capilla Redonda en Vuelta Redonda”, recogida en el Folio 61 v, del título LXXIV, del “Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira” (BARBÉ-COQUELIN DE LISLE, 1977) , que se reproduce en la figura nº 1. La representación que se observa consiste en el dibujo en planta y alzado superpuesto de la capilla así como de sus ejes y los patrones de la cara interior de las hiladas respectivas, información ésta necesaria para que con la ayuda del baivel el cantero pueda tallar las dovelas que componen la construcción que se pretende. Dibujo del patrón que se basa en que los planos tangentes a las caras interiores de todas las dovelas de una misma hilada (PALACIO, 1992), determinan una pirámide poligonal que es asimilable infinitesimalmente a un cono, del que a partir de su desarrollo se obtiene el patrón buscado.





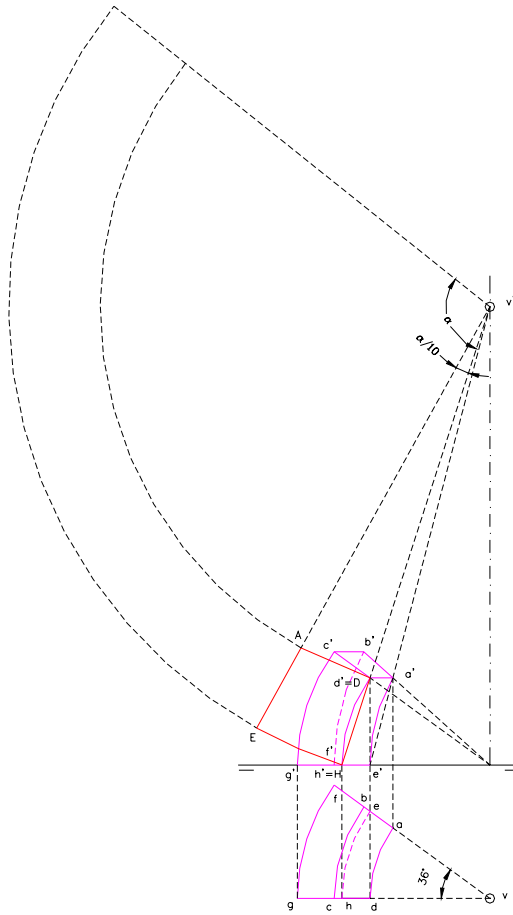
*Figura 2: Capilla redonda.*

Tomando como modelo la dovela lateral izquierda, figura 3, de la cual conocemos la dimensión real de la cara  $c' d' h' g'$ , obtendremos la proyección real de la cara interior de la pieza.

Si consideramos el plano tangente inscrito en el interior de la dovela, los sucesivos planos de cada pieza configuran una pirámide poligonal, que se puede considerar infinitesimalmente como un cono recto de base circular en cuyo vértice confluyen dichos planos. Para conseguir la proyección de la dovela realizamos el desarrollo de la superficie lateral del cono, obteniendo un sector circular de radio la generatriz  $V' d' h'$  y obteniendo el ángulo  $\alpha$  del sector a partir de dicha generatriz y del radio de la base del cono  $V h$ , ya que:  $\alpha = (360 \times r)/g$ , siendo  $r$  el radio y  $g$  la generatriz.

De esta manera hemos representado el desarrollo de toda la hilada, a su vez, como cada hilada se divide en diez dovelas, el ángulo que buscamos será  $\alpha/10$ , así finalmente hemos conseguido obtener con exactitud la cara A D E F interior de la dovela.





*Figura 3: Dovela lateral izquierda.*

### 3. Conclusiones

Dos sistemas utilizados para el mismo fin, la consecución de la proyección interior de una de las dovelas de una capilla esférica, y la posterior construcción de la misma con la ayuda de los patrones de sus componentes. Podemos afirmar pues, que frente a un tipo de representación como la realizada por Alonso de Vandelvira en el siglo XVI, con una construcción muy simplificada pero sumamente práctica, la realizada siguiendo la propuesta por Gaspard Monge a finales del siglo XVIII es mucho más precisa y exacta aunque desde luego más compleja. Construcciones gráficas que nos parece que es conveniente comparar, como aquí se ha hecho, porque nos muestran de forma clara su proceso evolutivo y desde luego ayudan a comprenderlos mejor.

## Referencias

PACIOLI, Luca. *La Divina Proporción*. Editorial Akal, 1987.

SCHOLFIELD, P.H. *Teoría de la Proporción en Arquitectura*. Ed. Labor, 1971.

TEDESCHI, E. *Teoría de la Arquitectura*. Ed. Nueva Visión. Buenos Aires, 1976.

QUARONI, L. *Proyectar un edificio, Ocho Lecciones de Arquitectura*. Xarait Ediciones. Madrid, 1987.

ESPAÑOL, J. *El Orden Frágil de la Arquitectura*. Caja de Arquitectos, 2001.

BARBÉ-COQUELIN DE LISLE, G. *El Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Editorial Confederación Española de Cajas de Ahorro. Madrid, 1977.

PALACIO, J.C. *La Cantería en la Construcción del Renacimiento Andaluz*. Consejería de Cultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla, 1992.

IZQUIERDO ASENSI, F. *Geometría Descriptiva*. Editorial Dossat, S.A. Madrid, 1985.

IZQUIERDO ASENSI, F. *Geometría Descriptiva Superior y Aplicada*. Editorial Dossat, S.A.. Madrid, 1995.



**INGEGRAF**



## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

---

### **SISTEMA DE MODELIZACIÓN AUTOMÁTICA DE TUBERÍAS INDUSTRIALES NORMALIZADAS**

**BERNAL GUERRERO, Claudio (1); DOMÍNGUEZ SOMONTE, Manuel (2); SALIDO  
REGUERA, Manuel (3)**

<sup>(1)</sup>U.N.E.D., España, E.T.S. Ingenieros Industriales  
Departamento de Construcción y Fabricación  
Correo electrónico: [cbernal@ind.unes.es](mailto:cbernal@ind.unes.es)

<sup>(2)</sup>U.N.E.D., España, E.T.S. Ingenieros Industriales  
Departamento de Construcción y Fabricación  
Correo electrónico: [mdominguez@ind.unes.es](mailto:mdominguez@ind.unes.es)

<sup>(3)</sup>U.N.E.D., España, E.T.S. Ingenieros Industriales  
Departamento de Construcción y Fabricación  
Correo electrónico: [msalido@iies.es](mailto:msalido@iies.es)

### **RESUMEN**

Cada vez es más necesaria y está más extendida la utilización de sistemas de diseño asistido por ordenador. Sin embargo, en muchas instalaciones de tuberías industriales no se dispone de información técnica fiable como planos electrónicos o definiciones numéricas, es decir modelos “según construido” de la instalación física.

Los avances tecnológicos que han experimentado los sistemas de digitalización permiten realizar capturas de datos en tres dimensiones con gran precisión y rapidez, pero la información que proporcionan estos equipos no constituye un modelo suficientemente explícito de la tubería.

Las herramientas de reconstrucción disponibles son poco ágiles y no están diseñadas para recuperar modelos sólidos de objetos geométricos. Tampoco son capaces de realizar una segmentación automática de una nube de puntos desordenados.

El estudio de la normalización de las redes de tuberías industriales, permite plantear procedimientos específicos de reconstrucción geométrica, ya que se discretizan diferentes parámetros de diseño.

Con estas premisas, se desarrolla un sistema de reconstrucción geométrica que contribuye a la solución del problema del “según construido” en las instalaciones de tuberías industriales normalizadas.

**Palabras clave:** modelos “según construido”, segmentación, reconstrucción geométrica.

## ABSTRACT

Each day is more necessary and more extended the use of CAD/CAM technology. Nevertheless in many of the industrial piping installations there is not reliable technical information such as electronic drawings or numerical definitions, this is, "As Built" models of the physical installation.

The technical progresses that the digitization systems have experienced permit to carry out data captures in three dimensions with great accuracy and rapidity, but the information that this equipments provide does not constitute a sufficiently explicit model of the piping.

The reconstruction tools available are not agile enough and they are not designed to recover solid models of geometric objects. They are neither capable to carry out an automatic segmentation of an unorganized cloud of points.

The study of the normalization of industrial piping networks allows to present specific procedures of geometric reconstruction, because different parameters of design are quantized. With this criteria, a geometric reconstruction system is developed that contributes to the solution of the "as built" problem on the industrial piping installation normalization.

**Key words:** “As Built” models, segmentation, geometric reconstruction.

## 1. Introducción

Existen diversos trabajos para aplicaciones de visión 3D, robótica móvil o reconstrucción geométrica, que abarcan aspectos de reconocimiento de formas, de segmentación o de extracción de líneas características a partir de digitalizaciones. Algunos desarrollos permiten aproximar primitivas geométricas previamente segmentadas mediante algoritmos de minimización cuadrática. Otros estudian características diferenciales de las superficies para establecer criterios de identificación de formas.

El estudio de la normalización de las redes de tuberías industriales, permite plantear procedimientos específicos de reconstrucción geométrica. Se puede simplificar la segmentación de los datos y la posterior modelización de la tubería mediante un análisis discreto, siendo el objetivo último la obtención de representaciones conceptuales en modelado sólido.

Los conceptos de geometría diferencial como la curvatura gaussiana o las curvaturas principales de las superficies continuas se pueden extrapolar a medios discretos. El estudio del mallado triangular de la superficie de un objeto, desde la perspectiva del análisis de curvaturas, puede arrojar datos muy útiles para la toma de

decisiones en el proceso de segmentación de la nube de puntos. Los criterios de normalización que discretizan diferentes parámetros de diseño de las tuberías ayudan a simplificar de forma sustancial el proceso de obtención del modelo sólido, evitándose complejos algoritmos de aproximación y tratamientos estadísticos de las distribuciones de puntos.

Las técnicas de triangulación son muy comunes y existen numerosos algoritmos de generación y optimización de mallado rápidos y robustos. Incluso algunos sistemas de digitalización son capaces de producir poliedros utilizables a partir de las nubes de puntos.

## **2. Modelización geométrica**

Desde un punto de vista general, la reconstrucción geométrica de instalaciones con un alto grado de normalización se puede hacer por dos vías. La primera consiste en intentar adaptar un modelo preexistente a los datos disponibles habiéndose realizado previamente el reconocimiento del objeto. La otra posibilidad consiste en crear totalmente el modelo, aproximándose lo mejor posible a dichos datos.

Es interesante plantear la reconstrucción mediante la adaptación de modelos existentes. Muchos sistemas de diseño de plantas disponen de librerías de elementos normalizados para instalaciones de tuberías como tubos, codos, tes u otros accesorios. Este método se emplea con frecuencia en el campo de la visión artificial, de la robótica ó del control de calidad, donde se utilizan estrategias de reconocimiento de formas por comparación con elementos almacenados en el ordenador. Sin embargo, para instalaciones de tuberías existen algunos inconvenientes como:

- Dificil segmentación por continuidad geométrica  $C^0$  y  $C^1$  entre diferentes elementos que componen una tubería.
- Parametrización de los elementos. Normalización de diámetros pero no de longitudes de tubos.
- Orientaciones espaciales y geometrías complejas que dificultan la puesta en correspondencia.
- Gran diversidad de elementos.
- Excesiva rigidez del método. No todos los elementos de la instalación siguen criterios de normalización.

Se plantea por tanto una reconstrucción total del objeto teniendo en cuenta que la normalización de tuberías y específicamente la normalización de diámetros, permite aplicar criterios selectivos de reconocimiento (diámetros discretos) que facilitan la modelización geométrica.

Los sistemas comerciales de reconstrucción geométrica se basan en la generación de superficies matemáticas complejas que se apoyan sobre la nube de puntos con una aproximación determinada. Estos sistemas tienen una gran flexibilidad de diseño (se

pueden modelizar todo tipo de formas libres) pero son muy lentos y requieren un trabajo manual considerable para convertir los modelos de puntos o mallas en descripciones CAD.

### **3. Modelización de formas básicas**

Se definen como formas geométricas básicas a aquellas entidades para las que se dispone de un modelo matemático simple que las define unívocamente. Desde el punto de vista de la reconstrucción de tuberías, las formas geométricas básicas interesantes incluyen el plano, la esfera, el cilindro, el cono y el toro.

Las cuatro primeras constituyen las formas canónicas de las cuádricas implícitas. El toro no forma parte de la familia de las cuádricas.

Para todas ellas, incluido el toro, se puede realizar un ajuste directo por el método de los mínimos cuadrados, siendo un algoritmo clásico para la obtención de los parámetros óptimos de aproximación de un conjunto de datos mediante un modelo paramétrico.

El método de los mínimos cuadrados permite encontrar el mejor conjunto de parámetros haciendo mínima la suma de los errores cuadráticos de la aproximación de una curva ó superficie a la nube de puntos.

Los algoritmos de ajuste a geometrías básicas como rectas, planos, circunferencias, cilindros, conos, esferas y toros se clasifican en dos grandes grupos que determinan claramente los métodos empleados en su aproximación, esto es, las geometrías lineales como rectas y planos y las no lineales que comprenden a todas las demás.

Normalmente, para geometrías lineales, se emplean métodos de resolución con restricción como los multiplicadores de Lagrange que permiten obtener algoritmos más sencillos basados en métodos de obtención de valores y vectores propios.

Los métodos de resolución específicos para geometrías no lineales se basan en algoritmos de optimización como por ejemplo el algoritmo de Levenberg-Marquardt.

### **4. Segmentación de los datos**

Los ajustes a formas geométricas descritos anteriormente requieren una segmentación previa de los datos.

La segmentación de los datos es la etapa más compleja que consiste en realizar una división lógica del conjunto inicial de puntos en subconjuntos que contengan exactamente aquellos datos pertenecientes a una geometría particular, identificando o clasificando de antemano el tipo de geometría descrita. En el caso de las tuberías industriales serían principalmente cilindros, toros y conos.

Se han desarrollado diferentes técnicas de segmentación automática [Varady, 1997, 1998, Besl and Jain, 1988] proponiéndose sistemas de segmentación por bordes o líneas de división o por caras o superficies. Generalmente, para establecer estos criterios, se analiza la superficie a nivel local, realizándose estudios de continuidad (continuidad  $C^1$  y  $C^2$ ). La normalización de las instalaciones permite plantear otras alternativas al problema de la segmentación de los datos.

## 5. Normalización de tuberías industriales

Desde el punto de vista de la reconstrucción, la normalización de las instalaciones de tuberías permite simplificar la segmentación de las nubes de puntos y la modelización en 3D. Por un lado, se puede discretizar la variable  $\varnothing$  (diámetro de tubo), simplificándose los algoritmos de regeneración mediante sistemas de reconocimiento de diámetros discretos.

Por otro lado, la utilización de accesorios normalizados como codos, tes, bifurcaciones o las transiciones troncocónicas empleadas en las redes de tuberías industriales permiten simplificar la automatización del proceso de reconstrucción.

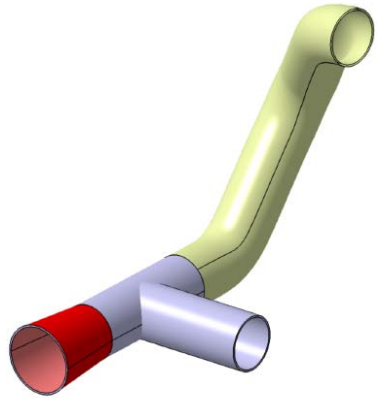
Existen diversas Normas que fijan series de diámetros nominales para las tuberías de cada material. Estos diámetros nominales coinciden con el diámetro exterior. En las tablas de tubos de acero (por ejemplo según la Norma ASA (ANSI)) se comprueba que existen diferencias de diámetros importantes entre diámetros nominales consecutivos. En el caso de tubos de diámetro reducido las diferencias diametrales entre tubos consecutivos también son relevantes teniendo en cuenta las precisiones alcanzadas por los sistemas láser de digitalización (para  $\frac{1}{8}$ " y  $\frac{1}{4}$ " la diferencia diametral es de 3,4 mm).

Teóricamente, siempre que no sean tuberías de fabricación especial y en consecuencia fuera de Norma, se deberán obtener en las mediciones de la instalación física (deducidas de los datos 3D), valores cercanos a los valores nominales pertenecientes a las series discretas definidas según el material y tipo de normalización. Esto es lo que se ha denominado reconocimiento de diámetros discretos.

Por otro lado también se normalizan los accesorios. Siempre que se utilizan tuberías para transportar fluidos, se requiere acoplar accesorios en su recorrido. Estos accesorios pueden ser manguitos, bridas, enchufes, codos, curvas, tes, injertos, cruces, válvulas, reductores

Cada uno de estos accesorios tiene una geometría determinada disponiéndose de diferentes variantes según el tipo de material empleado en la tubería. A efectos de reconocimiento de formas, los elementos más importantes que se van a modelizar son los codos o secciones tóricas, y en menor medida, los conos y esferas correspondientes a los reductores y cuerpos de válvula (o parte de ellos). Las bifurcaciones (tes, injertos, cruces) están formadas por intersecciones de tubos rectos y serán reconocidas como secciones cilíndricas múltiples no requiriéndose en principio métodos específicos de segmentación (Fig. 1).

Fig.1 Elementos básicos de tuberías



Los codos son elementos tóricos que unen dos tramos cilíndricos con el fin de cambiar la dirección del fluido que circula por la tubería. Cuando la tubería está fabricada mediante tubos y accesorios soldados o roscados, los codos son elementos de unión normalizados y están disponibles en diferentes catálogos. En la Fig. 2 se representan algunos modelos de codos para soldar y/o roscar.



Fig. 2 Codos a 90 y 45° para roscar y soldar

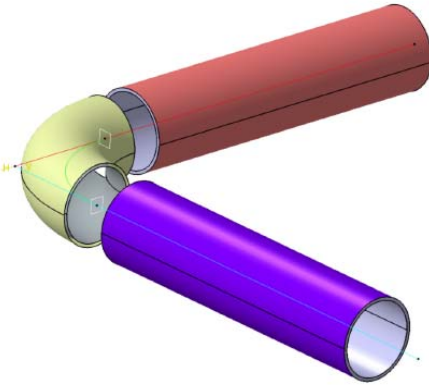
En general se pueden reconstruir estos elementos a partir de una imagen digitalizada. Teóricamente, es posible seleccionar el codo normalizado que se ajusta a una nube de puntos dada, siempre y cuando se pueda:

- Segmentar la nube de puntos con el fin de delimitar los extremos de cada tubo.
- Obtener el valor del diámetro del tubo.
- Calcular el eje de los dos tramos cilíndricos que se han de unir mediante un codo.



Tras la segmentación es posible realizar un reconocimiento de diámetros y se puede hallar el eje de cada tramo cilíndrico. Esto se hace hallando radios y centros de curvatura.

Desde la perspectiva de la reconstrucción, no es necesario conocer con exactitud la geometría de un codo, sino saber determinar la posición en el espacio de los ejes correspondientes a las partes cilíndricas del tubo además de su diámetro. Si en una tubería, obtenemos dos ejes secantes de dos tramos cilíndricos consecutivos en el espacio, es posible encontrar el codo normalizado de unión de dichos tramos cilíndricos en la base de datos de elementos normalizados (Fig. 3).



## 6. Caracterización de superficies

Diferentes autores han estudiado el reconocimiento y reconstrucción de objetos estudiando las superficies [Thirion, 1996; Dorai, 1997]. Analizando las curvaturas locales se pueden identificar características comunes a diferentes tipos de geometrías y se puede determinar en que momento se está en la frontera entre dos superficies geométicamente diferentes.

La curvatura en un punto de una superficie se puede calcular en dos direcciones particulares que maximizan y minimizan respectivamente la variación de la normal a dicha superficie. Estas direcciones definen a las curvaturas principales  $K_1$  y  $K_2$  estudiadas en geometría diferencial y sirven para caracterizar y codificar una información discriminatoria acerca de una geometría o un objeto.

Las expresiones de las curvaturas de algunas de las superficies geométricas consideradas como planos, cilindros, conos, toros y esferas son relativamente sencillas. Sin embargo, los datos de partida (nube de puntos) son discretos y sería necesario obtener en primer lugar la superficie de aproximación que es precisamente lo que se pretende conseguir. El estudio de normalización de tuberías realizado permite enfocar la reconstrucción y segmentación de las imágenes de rango mediante

planteamientos discretos (mallados triangulares) para los que se extrapolan los conceptos de geometría diferencial anteriormente mencionados.

En geometría diferencial la curvatura gaussiana y media se definen como:

$$K = K_1K_2$$
$$H = \frac{K_1 + K_2}{2}$$

P. Besl y R. Jain hacen una clasificación de las características diferenciales de las superficies, estudiando las combinaciones posibles para los valores de  $K$  y  $H$  [Besl and Jain, 1985]. Determinan ocho diferentes categorías para clasificar las formas características (Tabla 1).

	$K < 0$	$K = 0$	$K > 0$
$H < 0$	Saddle-ridge (silla-arista)	Ridge (arista)	Peak (saliente)
$H = 0$	minimal	Flat (plano)	imposible
$H > 0$	Saddle-valley (silla-valle)	Valley (valle)	Pit (hueco)

Tabla 1. Caracterización de superficies en función de  $H$  y  $K$

**7. Análisis de curvaturas de superficies discretas:**

Los indicadores locales de forma de una superficie descritos anteriormente, están definidos para superficies continuas que admitan segunda derivada.

Es posible concebir una caracterización local de superficies mediante el cálculo de curvaturas discretas siempre y cuando se puedan obtener superficies poliédricas que se apoyen convenientemente sobre las nubes de puntos. El primer paso consiste en la generación de mallados a partir de la discretización de los objetos que proporciona el escáner. Los mallados idóneos para dicho fin son los mallados obtenidos mediante técnicas de triangulación. En la Fig. 4 se muestra la nube de puntos que proporciona el escáner y un ejemplo de triangulación de dicha nube. En este proceso se dispone de herramientas de filtrado y “suavizado” de puntos.

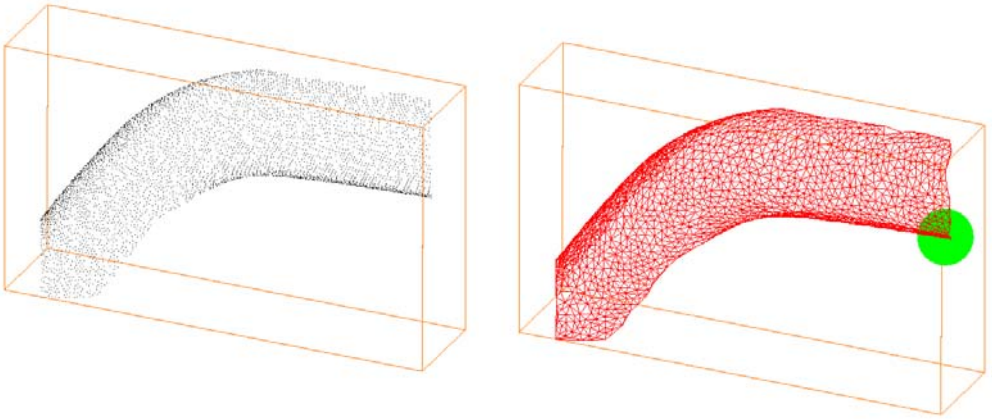


Fig.4 Nube de puntos de un tramo de tubería

Para la realización de cálculos de curvatura locales, se requiere también el cálculo de las normales a la superficie en cada vértice del poliedro. Dado que las mallas triangulares definen facetas planas para cada triángulo, es sencilla la obtención de la normal a cada faceta.

Sea  $P$  un vértice del poliedro y  $F_i$  las facetas vecinas a dicho vértice. Para cada faceta se puede obtener el vector normal  $\vec{N}_i$  (Fig. 5)

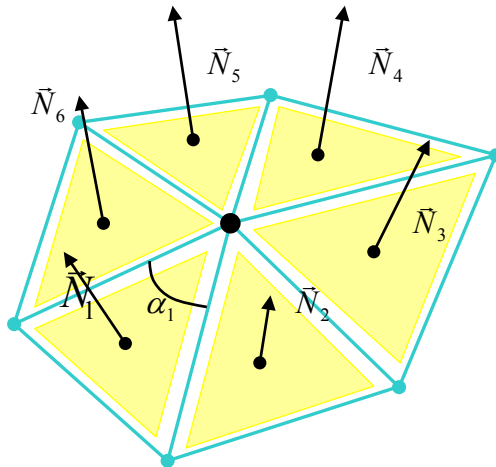


Fig. 5 Curvaturas discretas en mallas poligonales

El equivalente discreto para la curvatura gaussiana [Calladine, 1986] se puede expresar como :

$$K = \frac{2\pi - \sum_i \alpha_i}{\frac{1}{3} \sum_i Area(F_i)}$$

Asimismo se pueden realizar cálculos de curvaturas principales de forma local eligiendo entornos de mallado que permitan efectuar segmentaciones de las nubes de puntos (Fig. 6). La determinación de los centros de curvatura de las entidades geométricas segmentadas permite obtener la información necesaria para la reconstrucción geométrica. Centros y radios de curvatura máximos y mínimos permiten segmentar y reconstruir las geometrías básicas que componen una red de tuberías.

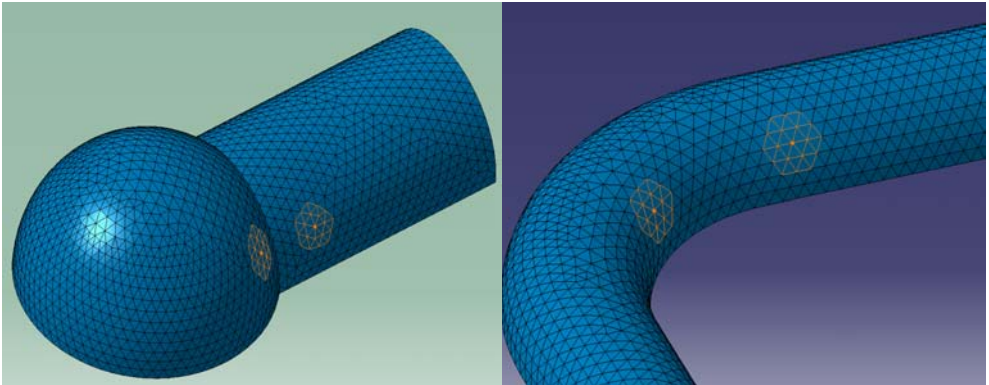


Fig. 6 Segmentación mediante el análisis de curvaturas discretas locales.

La extensión ó tamaño de la zona donde se realiza el cálculo local de curvaturas, se puede definir con diferentes niveles de vecindad teniendo gran importancia en los resultados. Es necesario adaptar el tamaño de la zona de entorno de cálculo local (puntos vecinos tomados en consideración) al tamaño de los elementos de la malla y al tamaño de la pieza.

## 8. Referencias

Varady, T., Benko, P., Kos, G., “ Reverse engineering regular objects: simple segmentation and surface fitting procedures”. Int. J. of Shape Modeling, Vol 4 (1998), pp. 127-141.

Besl, P., Jain, R., "Segmentation through Variable-Order Surface Fitting" IEEE PAMI, Vol 10, No 2, 1988, pp 167-192

Thirion, J. "The extremal mesh and the understanding of 3D surfaces" Int. J. Comput. Vision 19, pp 115-128, 1996.

Dorai, C and Jain, K. "COSMOS- A representation scheme for 3D free-form objects" IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 19, pp 1115-1130, 1997.

Besl, P. and Jain, R. " Three-dimensional object recognition" Comput. Surv. 17, pp 75-145, 1985.

Calladine, C. "Gaussian curvature and shell structures". The Mathematics of Surfaces. Clarendon Press, Editor J. Gregory" pp 179-196, 1986.

Pulla, S. ; Anshuman, R. ; Farin, G. "Improved Curvature Estimation for Watershed Segmentation of 3-Dimensional Meshes" IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics , 2001.

Ingle, K.A., Reverse Engineering. McGraw-Hill, New York, 1994

do Carmo, M.P. "Differential Geometry of curves and Surfaces". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (USA), 1976.

Spivak, M. "A comprehensive introduction to differential geometry". Publish or Perish Press, Boston (MA, USA), 1979.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

# VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA LOCOMOCIÓN HUMANA

BALDASSARRI, Sandra; SERON, Francisco

Universidad de Zaragoza, España

Centro Politécnico Superior

Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas

Grupo de Informática Gráfica Avanzada (GIGA)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Correo electrónico: [sandra@unizar.es](mailto:sandra@unizar.es), [seron@unizar.es](mailto:seron@unizar.es)

### RESUMEN

En este trabajo se presenta un sistema basado en la física que permite la visualización realista de la locomoción humana a partir de la especificación de parámetros de alto nivel (velocidad, frecuencia de paso, longitud de paso). Las herramientas de visualización desarrolladas se basan en estándares que permiten la representación gráfica en tiempo real. Para obtener movimientos realistas y naturales, se ha desarrollado un sistema “híbrido” dinámico-cinemático, que utiliza modelos con diferentes niveles de complejidad. La utilización de modelos dinámicos muy simples permite obtener los patrones básicos del movimiento del cuerpo. El resto de movimientos de las articulaciones del modelo se calculan aplicando cinemática directa e inversa.

**Palabras clave:** animación, movimiento, locomoción humana, visualización, tiempo real.

### ABSTRACT

In this paper, a physically-based visualization system of human locomotion is presented. The system, based on well-known standards, allows the representation in real time of the different graphic outputs of the human locomotion. In order to generate realistic body movements, we developed a hybrid dynamic-kinematic system that uses models with different level of complexity. By the use of very simple dynamic models, the basic motion of the human body can be obtained. The remaining variables of the model are calculated by applying direct and inverse kinematics.

**Key words:** computer animation, movement, human locomotion, visualization, real time.

# 1. Introducción

En Informática Gráfica, la visualización es una de las herramientas más importantes a la hora de verificar la calidad de los resultados. Este hecho es especialmente cierto cuando la representación final proviene del cálculo de movimientos muy familiares para el ser humano, como la locomoción.

Hasta hace muy poco, la garantía de alto nivel en la visualización se lograba únicamente mediante poderosas estaciones de trabajo que utilizaban librerías especializadas, sobre hardware específico. El costo era, por tanto, bastante elevado. Sin embargo, con la economía de escala y la introducción de Internet y el mercado de los videojuegos, es posible obtener, a un costo accesible, ordenadores con excelentes prestaciones que permiten visualizar resultados científicos mediante el uso de librerías y estándares específicos.

El objetivo de este trabajo es presentar un conjunto de herramientas de visualización basadas en estándares conocidos, como OpenGL y VRML, y en la especificación H-Anim. Las herramientas están desarrolladas para lograr la representación en tiempo real de las salidas gráficas de un sistema de animación de la locomoción. Para lograr realismo en el movimiento del cuerpo, el sistema desarrollado es un “sistema híbrido”, que utiliza *dinámica directa* para el cálculo de los patrones básicos del movimiento del cuerpo, y *cinemática directa e inversa* para el cálculo del movimiento de las articulaciones.

A continuación se expone la organización del artículo. En la sección 2 se repasan las principales investigaciones desarrolladas en el ámbito de la visualización del cuerpo humano y la locomoción humana. La sección 3 describe, de modo general, el sistema desarrollado. En las secciones 4 y 5 se explica, en detalle, los subsistemas de cálculo y visualización, respectivamente. Algunos de los resultados obtenidos se presentan en la sección 6. Y finalmente, en la sección 7 se exponen las conclusiones.

# 2. Antecedentes

La animación realista de la locomoción humana se basa en dos procesos: la descripción de la forma del cuerpo y la generación del movimiento del cuerpo.

El modelado realista del cuerpo humano necesita agregar la forma del cuerpo a la inherente complejidad del esqueleto. Dependiendo del objetivo final, en algunos trabajos se utilizan modelos geométricos simplificados, mientras que en otros se utilizan aproximaciones basadas en estudios de la anatomía real del cuerpo humano [1]. Sin embargo, los modelos del cuerpo pueden variar desde segmentos rígidos conectados por articulaciones [2, 3] hasta modelos *multicapa* que permiten representar el esqueleto, la piel, los músculos o los huesos [4, 5].

En relación con el desarrollo de algoritmos para simular locomoción humana, en Informática Gráfica los trabajos se clasifican principalmente en: métodos basados en el conocimiento cinemático, y métodos que utilizan la dinámica o incorporan restricciones dinámicas en la generación del movimiento. Las ventajas principales de

los modelos *cinemáticos* [6, 7] son: el control se realiza por medio de parámetros de alto nivel, y que su coste computacional es bajo. Sin embargo, estos métodos utilizan técnicas de interpolación que puede generar secuencias poco realistas. En cambio, las aproximaciones *dinámicas* ofrecen más realismo ya que se basan en las leyes físicas y se pueden utilizar directamente para simular la marcha humana o para agregar restricciones a un movimiento predefinido [8, 9]. Los métodos *híbridos cinemáticos-dinámicos* se utilizan para aprovechar el realismo ofrecido por las leyes dinámicas, sin necesidad de especificar las fuerzas que generan el movimiento [10, 11].

### 3. Descripción general del sistema

El *ciclo de la locomoción humana* está compuesto por dos pasos consecutivos, uno con cada pierna. La alternancia de estos pasos, que son simétricos con cierto desfase, permite el desplazamiento. Por lo tanto, sólo es necesario estudiar en detalle el paso dado por una pierna. Durante el caminar se pueden diferenciar dos fases: *la fase de apoyo* y *la fase de giro*. En la *fase de apoyo* se producen las fuerzas que permiten al cuerpo humano avanzar mientras el pie se mantiene en contacto con el suelo. La *fase de giro* se produce cuando el pie está en el aire.

La idea principal de este trabajo es la visualización de la locomoción humana en tiempo real sin necesidad de utilizar dispositivos ópticos o magnéticos para capturar los datos de la locomoción. En nuestro trabajo se utiliza, como patrón básico del movimiento, la solución directa de modelos dinámicos muy simples, gobernados por una máquina de estados finitos (ver Fig. 1). La continuidad en los cálculos se mantiene a pesar de usar modelos con diferentes niveles de complejidad (muy simples para la dinámica, más complejos para el cálculo cinemático). En cada fase se insertan las condiciones de contorno obtenidas de estudios experimentales que permiten obtener los valores de las fuerzas que optimizan los resultados dinámicos. Estos resultados establecen el patrón básico que siguen todos los movimientos cinemáticos que constituyen el cálculo final.

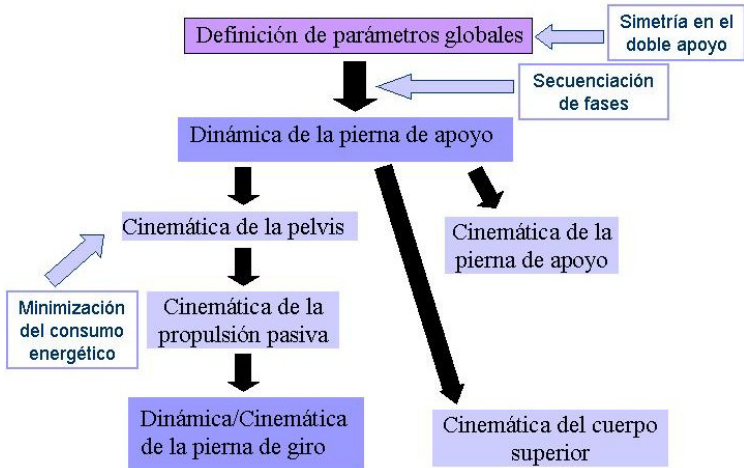


Fig. 1. Bucle principal de la máquina de estados



Por medio de parámetros globales de alto nivel (ver Fig. 2) es posible modificar fácilmente las características físicas de los individuos (altura, peso) y las diferencias en sus movimientos (velocidad, frecuencia de paso, longitud de paso). A partir de estos datos, y utilizando *dinámica directa*, se obtiene el patrón básico de la locomoción humana. Asimismo, en el sistema se considera conocimiento empírico de la locomoción humana: *secuenciación entre fases*, *simetría en el doble apoyo* y *minimización del consumo energético* [10].

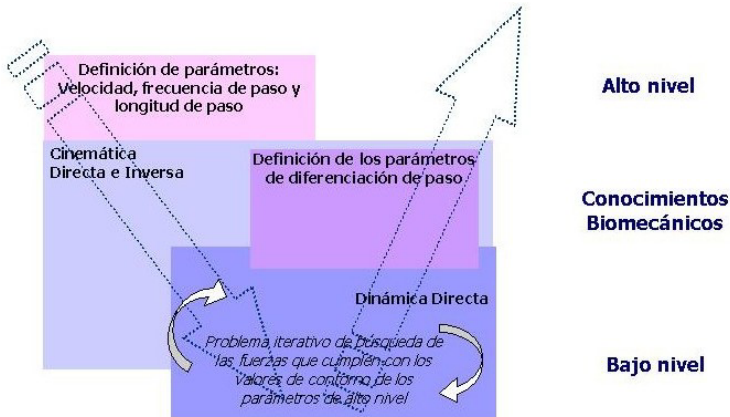


Fig. 2. Niveles de control en el sistema de locomoción humana

#### 4. Sistema de Cálculo

En nuestro sistema se utiliza un modelo simplificado de las ecuaciones de movimiento para cada fase del ciclo de locomoción. El control y el proceso de integración numérica se simplifican por las siguientes razones:

- El modelo dinámico se restringe a las dos dimensiones del plano de la locomoción.
- La pierna de apoyo es un segmento telescópico controlado por una fuerza axial. La pierna de giro es un doble segmento articulado que incluye el peso y la posición del pie en su momento de inercia. El cuerpo superior se modela como un sólido rígido articulado en la cadera.
- Todos los segmentos se suponen simétricos y de masa constante. La masa y la longitud de los segmentos son proporcionales a la masa y la altura del cuerpo.
- La simulación de la pierna de apoyo se separa de la simulación de la pierna de giro.
- La simulación de cada pierna se divide en fases que simplifican el número de ecuaciones de movimiento.
- El movimiento permanece continuo aplicando conservación de la energía entre las fases.

Para la deducción de las **ecuaciones de movimiento** se utiliza el *método Lagrange-Euler*, utilizado en el diseño de *leyes de control* en Robótica. Se parte de la energía del sistema para identificar las fuerzas de interacción y acoplamiento que se presentan, según cada una de las *coordenadas generalizadas*  $q_i$ .

$$F_q = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_q}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T_q}{\partial q} + \frac{\partial U_q}{\partial q}$$

$T$  = Energía Cinética  
 $U$  = Energía Potencial  
 $q_r$  = Coordenadas Generalizadas  
 $F_{qr}$  = Fuerzas Generalizadas

El método produce un sistema multivariable de ecuaciones diferenciales de segundo orden no lineales y fuertemente acopladas cuya expresión es  $[A]\ddot{\theta} = B(\vec{\theta}, \dot{\theta})$

con  $\vec{q} = \begin{bmatrix} \omega \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$  para la pierna de apoyo y  $\vec{q} = \begin{bmatrix} \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}$  para pierna de giro (ver Fig. 3).

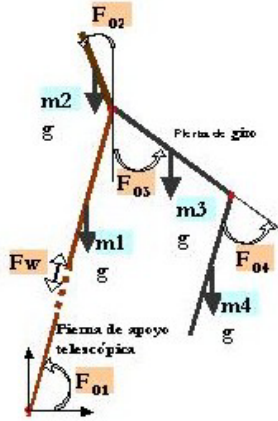


Fig. 3. Modelo dinámico de las piernas de apoyo y giro

Las deducciones de las expresiones de energía de ambas piernas y las expresiones finales para cada coordenada generalizada se pueden encontrar en [12]. Las expresiones de las fuerzas generalizadas se deducen a partir de patrones obtenidos de la biomecánica y la robótica. La fuerza generalizada longitudinal  $F_w$  simula la flexión y la extensión de la rodilla y el tobillo. La expresión del patrón es:  $F_w = \kappa_w(l_1 + p_a - \omega) - \nu_w \dot{\omega}$  donde  $p_a$  es el actuador de posición, un elemento de control activo del valor de la fuerza axial. La expresión del momento con respecto a la articulación de la cadera,  $F_{02}$  es:  $F_{\theta_2} = -\kappa_2(\theta_2 - \theta_{2\_des}) - \nu_2 \dot{\theta}_2$  siendo  $\theta_{2\_des} \approx 0$  el ángulo con respecto a la vertical, configurable por el animador. El momento  $F_{01}$  representa las acciones musculares que producen la rotación de la pierna de apoyo y hacen que el cuerpo avance.  $F_{01}$  es una constante, determinada recursivamente, de tal modo que la coordenada generalizada  $\theta_1$  pueda alcanzar un valor objetivo. Durante la fase dinámica de giro, los valores de los momentos  $F_{03}$  y  $F_{04}$  dependen de la subfase de cálculo. Si dichos valores se obtienen recursivamente toman la expresión exponencial:  $F_{\theta_{3,4}} = B e^{-(A t)^2}$ . En otro caso se deducen como los patrones propuestos en la fase de apoyo, cuya expresión es:  $F_{\theta_{3,4}} = k_{3,4}(\theta_{3,4\text{ swing\_phase}} - \theta_{3,4}) - \nu_{3,4} \dot{\theta}_{3,4}$  con  $\theta_{3,4\text{ swing\_phase}}$  configurable por el animador.

La resolución de las ecuaciones de movimiento de la pierna de apoyo se divide en tres subfases que se corresponden con las de la biomecánica: *contacto*, *apoyo medio* y *propulsión* (esta última se divide en *propulsión activa* y *propulsión pasiva*). La fase de

*giro* es recursiva en cada una de las tres subfases en que se divide ( $1^\circ$ ,  $2^\circ$  y  $3^\circ$ ). Como en la fase de giro el modelo dinámico coincide con el modelo cinemático, el resultado de la simulación se incorpora directamente en la visualización cinemática (ver Fig. 4).



Fig. 4. Subfases de la fase de apoyo y de la fase de giro

El movimiento está gobernado directamente por las fuerzas generalizadas (*dinámica directa*) cuyas expresiones se basan en los principios biomecánicos de la *dinámica pasiva*. El valor de cada fuerza generalizada se calcula recursivamente verificando, al final de cada paso, si cumple con ciertas condiciones de contorno. Estas condiciones se construyen a partir de los conceptos biomecánicos de secuenciación de fases, minimización energética y simetría en el doble apoyo.

El método numérico que se ha implementado para la resolución del sistema es un algoritmo n-dimensional multipaso predictor-corrector, con control adaptativo de paso de integración. Utiliza un algoritmo Adams-Bamsford como predictor y Moulton-Adams como corrector. Se inicializa con un método Runge Kutta de 4º orden [13].

## 5. Visualización

La herramienta de visualización ha sido desarrollada en C++ con la librería externa OpenGL, optimizada para el uso de aceleradores gráficos. En el caso de la interfaz, para lograr independencia de la plataforma, se ha utilizado GTK++.

La figura humana se representa por un modelo formado por una estructura jerárquica de 48 segmentos, que se construye de manera paramétrica a partir de datos antropométricos. En particular, para obtener un nuevo “cuerpo humano” en la aplicación, es necesario especificar la altura del individuo (ver Fig. 5). En la visualización final el modelo humano se puede representar por medio de un esqueleto, un modelo en jaula de alambre o un modelo de superficies. El sistema de visualización también permite exportar vídeo en formato AVI y exportar la geometría y la animación en la especificación H-Anim [14].

La apariencia visual del movimiento “a bajo nivel” se mejora por medio de la cinemática. Se aplican restricciones cinemáticas a los movimientos de todos aquellos segmentos y ángulos del modelo articulado que no son resultado directo de la simulación dinámica. Los valores de las restricciones se extraen de medidas antropométricas, tanto experimentales como estéticas, y permiten la caracterización individual de cada animación.

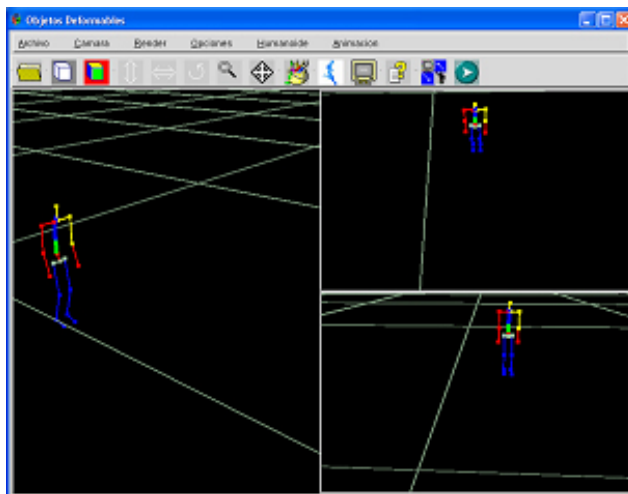


Fig. 5. Interfaz gráfica del sistema de visualización

La cinemática de la *pierna de apoyo* refleja el funcionamiento biomecánico de la rodilla y el tobillo. Ambas articulaciones absorben el choque del talón, suavizan la transición entre los estados de *giro* y *apoyo* y mantienen la mayor altura posible del Centro de Masas. Las trayectorias de la cadera y el tobillo se deducen de la dinámica. La cinemática de la *pierna de apoyo* se divide en: contacto, despegue del talón y despegue del empeine (ver Fig. 4). La cinemática de la *pierna de giro* se reduce a completar el movimiento del pie por medio de interpolación lineal entre las diferentes subfases (ver Fig. 4).

El movimiento más importante de la pelvis es la *rotación pélvica* producida en el plano transversal, y que produce un incremento en la *longitud del paso*. En el plano coronal ocurre el *balanceo pélvico*, que produce que una cadera esté más alta que la otra. El *desplazamiento lateral* del cuerpo es perpendicular al plano de locomoción y transfiere parte del peso del cuerpo a la *pierna de apoyo*. En el apoyo del talón, la *rotación pélvica* es máxima y el *desplazamiento lateral* y el *balanceo pélvico* desaparecen. No hay rotación en el *apoyo medio* pero el *desplazamiento* es máximo. La mayor diferencia de altura entre las caderas ocurre al principio de la fase de giro.

El modelo utilizado en el cuerpo superior simula cinemáticamente toda la columna vertebral (los movimientos se han agrupado de acuerdo a las *vértebras lumbares, torácicas y cervicales*). Cada vértebra sólo realiza movimientos de rotación con respecto a la anterior. Las *vértebras lumbares* absorben, de manera proporcional, el movimiento angular de la coordenada generalizada del modelo dinámico y el balanceo pélvico. La rotación pélvica y la rotación de los hombros en dirección opuesta se compensan a lo largo de la columna vertebral de manera que la cabeza siempre permanezca en la dirección de la locomoción. En el plano transversal, los hombros rotan en dirección opuesta y proporcionales a la rotación de la pelvis. En el plano de locomoción, en cambio, los *brazos* rotan proporcionalmente al ángulo *dinámico* de la cadera de la *pierna contraria* y los *antebrazos* se interpolan directamente a partir de valores experimentales.

## 6. Resultados

A continuación se muestran algunas salidas gráficas del sistema de animación desarrollado. A excepción de la Fig. 6, en todos los demás casos las animaciones corresponden a una persona de 80 kg de peso y 1.80 m de altura, caminando a *paso natural* de 5 km/h. La Fig. 6 muestra una comparativa entre tres cuerpos humanos de diferentes características antropométricas. La Fig. 7 presentan una secuencia completa de locomoción humana. El cuerpo está representado mediante un modelo esquelético y de superficies, respectivamente. En la última figura (Fig. 8) se pueden observar los cambios en los valores angulares de las articulaciones de la pierna durante tres ciclos de locomoción. El primer paso constituye el comienzo a partir de la posición de reposo, produciendo una aceleración, y el último paso detiene la locomoción por medio de una deceleración. Este hecho se observa claramente en los extremos de la curva de la trayectoria de los ángulos de cada articulación. Asimismo se puede observar la cadencia rítmica en los ciclos de locomoción.

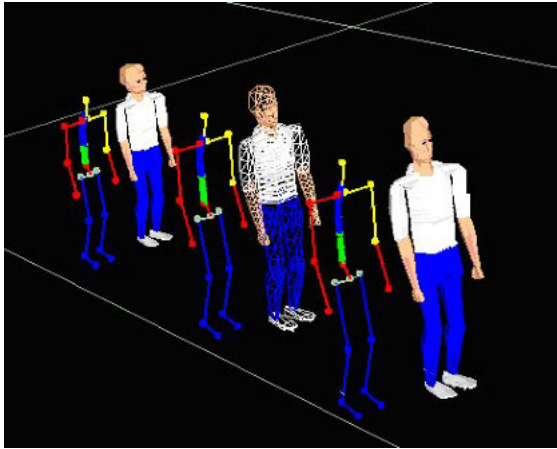


Fig. 6. Representación de diferentes cuerpos humanos

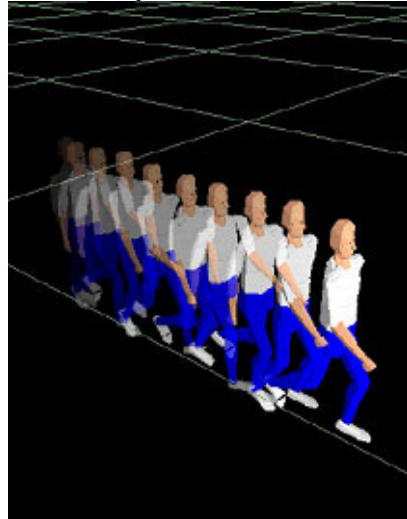
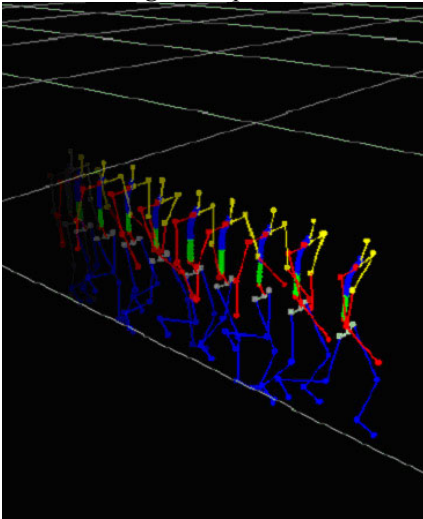


Fig. 7. Secuencia de locomoción humana: modelo esquelético y modelo de superficies

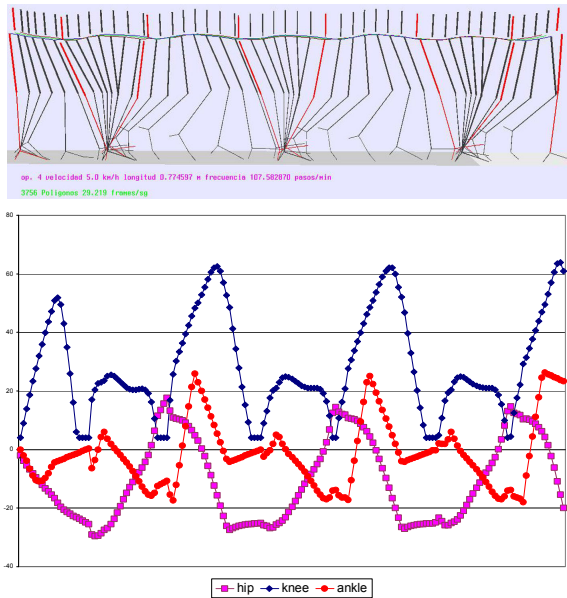


Fig.8. *Ángulos de las articulaciones durante la locomoción*

## 7. Conclusiones

Este trabajo nos permite concluir que es posible simular la locomoción humana en tiempo real con ordenadores de bajo coste, utilizando un método de control híbrido dinámico-cinemático en base a modelos articulados jerárquicos (muy simples para la dinámica y más complejos para la cinemática). Estos modelos han sido desarrollados utilizando información biomecánica de la locomoción real, y la apariencia final se mejora aplicando cinemática sobre los patrones básicos del movimiento obtenidos en la dinámica.

Entre otras cosas el sistema permite: trabajar con individuos con diferentes características antropométricas son intervención del animador, representar humanos por medio de un modelo paramétrico (esqueleto, jaula de alambre o superficies), controlar la dinámica del movimiento de un modo muy intuitivo, a partir de parámetros de alto nivel como *velocidad* o *frecuencia del paso* y obtener información significativa acerca de la biomecánica del problema. Además no es necesario utilizar técnicas de captura de datos, como es usual en los *laboratorios de la locomoción*.

Las herramientas de visualización desarrolladas se basan en estándares abiertos y en librerías que se utilizan en el mercado del entretenimiento y los videojuegos.

Entre los trabajos futuros se pretende: mejorar el modelo humano para darle una apariencia más realista, validar los resultados del sistema comparándolos con datos obtenidos mediante rotoscopia y utilizar los valores obtenidos en nuestro sistema para obtener simulaciones de las deformaciones musculares durante la locomoción.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Francisco Rojas Luna y Andrés Mena Tobar en este trabajo.

Este trabajo fue parcialmente financiado con el proyecto N° TIC 2000-1635-C04-01 del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España.

## Referencias

- [1] Baldassarri S., Gutierrez D., Seron F. *Modelling Objects with Changing Shapes: A survey*, Machine GRAPHICS & VISION. Vol. 11, N° 4, pp. 399-430, 2002.
- [2] Thalmann D., Magnenat Thalmann N., Bergenon P. *Dream Flight: A Fictional Film Produced by 3d Computer Animation*, Proceedings of Computer Graphics'82, pp. 353-368, 1982.
- [3] Fetter W. *A Progression of Human Figures Simulated by Computer Graphics*, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 2 (9), pp. 9-13, 1982.
- [4] Chadwick J.E., Haumann D.R., Parent R.E. *Layered Construction for Deformable Animated Characters*, Computer Graphics Proceedings, Siggraph'89, pp. 243-252, 1989.
- [5] Wilhelms J., Van Gelder A. *Anatomically Based Modelling*, Computer Graphics Proceedings, Siggraph'97, pp. 173-180, 1997.
- [6] Boulic R., Magnenat Thalmann N., Thalmann D. *A Global Human Walking Model with Real-time Kinematic Personification*, The Visual Computer, vol. 6, pp. 344-358, 1990.
- [7] Bruderlin A., Teo G., Calvert T. *Procedural Movement for Articulated Figure Animation*, Computer & Graphics, Vol. 18, pp. 453-461, 1994.
- [8] Raibert M.H., Hodgins J. *Animation of Dynamic Legged Locomotion*, Proceedings of ACM Siggraph, pp. 349-358, 1991.
- [9] van de Panne M., Kim R., Fiume E. *Virtual Wind-up Toys for Animation*, Proceedings of Graphics Interface'94, pp. 208-215, 1994.
- [10] Bruderlin A., Calvert T. *Goal-directed Dynamic Animation of Human Walking*, Computer Graphics, Vol. 23, pp. 233-242, 1989.
- [11] Komura T., Shinagawa Y., Kunii T. *Creating and Retargeting Motion by the Musculoskeletal Human Body Model*, The Visual Computer, Vol. 16, pp. 254-270, 2000.
- [12] Rojas F., Baldassarri S., Seron F. *Software Laboratory for Physical Based Human Body Animation*, LNCS 2492: Articulated Motion and Deformable Objects, Springer-Verlag, pp. 226-240, 2002.
- [13] Burden R., and Faires D. *Numerical Analysis*, PWS, Boston, 1985.
- [14] Beitler M., <http://www.cis.upenn.edu/~beitler/children>



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### Implicaciones de la norma UNE166000 sobre la gestión de proyectos.

BELLO GARCÍA, A.(1); RODRÍGUEZ MONTEQUÍN, V.(2); MESA FERNÁNDEZ, J.  
M.(3); ORTEGA FERNÁNDEZ, F.(4); ROQUEÑÍ GUTIÉRREZ, N.(5)

<sup>(1)</sup>Universidad de Oviedo, España  
Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación, Área: Expresión Gráfica  
belen@mieres.uniovi.es

<sup>(2),(3),(4),(5)</sup>Universidad de Oviedo, España  
Departamento de Explotación y Prospección de Minas; Área: Proyectos de Ingeniería  
<sup>(2)</sup>montequi@api.uniovi.es  
<sup>(3)</sup>mesa@api.uniovi.es  
<sup>(4)</sup>fran@api.uniovi.es  
<sup>(5)</sup>nievesr@api.uniovi.es

### RESUMEN

El comité AEN/CTN 166 de AENOR ha desarrollado, recientemente la Norma UNE 166000 con el fin de normalizar y certificar proyectos y sistemas de gestión I+D+I.

Dicha Norma al igual que otras como la ISO 10006 de Gestión de Proyectos, requiere de un sistema informático de gestión que si bien comparte similitudes con el de cualquier otro proyecto, también presenta claras diferencias.

Es de destacar, que en general, estos proyectos están subvencionados por programas de ayuda a la investigación, los cuales fomentan la colaboración de diferentes socios o “partners” que a su vez involucran a numerosos contratistas. Por lo que la metodología del proyecto y el sistema de gestión han de adaptarse a esta compleja estructura.

En este trabajo se describe la certificación, según la Norma UNE 166000, llevada a cabo por una PYME del sector de la distribución y fabricación de material eléctrico, analizando la metodología del proyecto y su sistema de gestión.

**Palabras clave:** metodología de proyectos, Norma UNE 166000, proyectos I+D+I.

### ABSTRACT

The AENOR commitment AEN/CTN 166 has recently developed the new UNE 166.000 Standard for standardizing and certifying the R+D projects and systems. This standard requires a software system for the project management. The background for R+D projects are common with other kind of projects, but they have also important features distinguishing them.



Usually, these projects are funded by programs belonging to public institutions. These programs promote the collaboration between partners. Each partner usually involve several subcontractors. So the methodology for the project management of these projects must consider these features.

This work presents the certification process carried out into an SME belonging to the electrical manufacturing and Distribution sector.

An English version of the “resumen” is required in this location.

**Key words:** project management, UNE 166000 standard, R+D projects, technological innovation”.

## 1. Introducción

Las actividades denominadas I+D+I han adquirido una gran importancia en los últimos años. Estas actividades permiten a las organizaciones adquirir conocimientos para incorporar tecnología propia o adaptar nuevas tecnologías en los productos, servicios y procesos de la empresa. Las actividades de I+D+I necesitan ser gestionadas adecuadamente. La norma UNE 166.000, desarrollada por el comité AEN/CTN 166 de AENOR, recoge las directrices en cuanto a gestión de I+D+I [1][2][3]. Se trata de una norma bastante amplia que cubre muchos aspectos relativos a I+D+I, entre ellos los referentes a gestión de proyectos. El objetivo del sistema de gestión aquí presentado no es cubrir todos los aspectos marcados por la norma UNE 166000, sino que se centra en los aspectos relativos a la gestión de proyectos.

La ejecución de los proyectos I+D+I está fuertemente condicionada por sus características específicas:

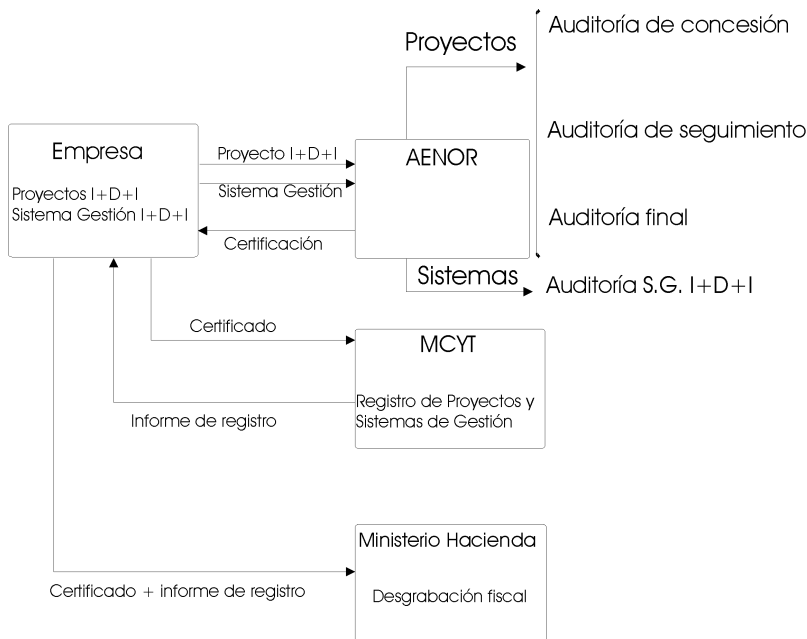
- Incertidumbre en el resultado a obtener
- Elevados riesgos a lo largo del proceso de desarrollo
- No repetitividad de los proyectos, disminuyendo el factor de experiencia
- Confidencialidad de los proyectos, con la participación de varios departamentos y/o empresas colaboradoras
- Manejo de intangibles, o gestión del conocimiento
- Elevada interdisciplinaridad de los proyectos, en los que confluyen múltiples aspectos concretos de actividad

Por otro lado, no existen reglas ni criterios únicos claramente definidos para determinar cuando un proyecto se puede considerar de I+D+I. Existen numerosos organismos públicos y organizaciones a nivel nacional, europeo e internacional, que evalúan proyectos de I+D+I. Sin embargo, cada organismo clasifica los proyectos de forma específica, sin ningún tipo de uniformidad.

La adopción de un estándar que normalice los proyectos I+D+I ayuda tanto a las empresas y entidades que realizan proyectos como a las organizaciones que evalúan (y probablemente subvencionan) los proyectos [4]. La norma UNE 166000 es reconocida por las principales entidades nacionales que evalúan proyectos (CDTI, MCYT, etc). Es importante recordar además que a nivel nacional, los proyectos incluidos en la categoría de I+D+I tienen una serie de beneficios fiscales, además de las posibles subvenciones. Es de prever que con el tiempo las entidades que confieren este tipo de subvenciones, así como las que otorgan las exenciones fiscales, exijan el cumplimiento de los estándares marcados por la norma UNE 166.000.

## 2. Descripción de la norma

La norma UNE 166000 está formada por tres documentos diferentes. El primero va referido a la terminología y definición de las actividades de la I+D+I [4], el segundo a los requisitos de los proyectos de I+D+I [5] y el tercero a los requisitos de los sistemas de gestión de la I+D+I. La aplicación del modelo que se pretende implantar con esta norma se puede ver en la ilustración 1. Básicamente del modelo se desprende que existen dos sistemas diferentes: uno destinado a la gestión de un proyecto de I+D+I específico y otro destinado al sistema de gestión de proyectos de I+D+I de la organización. Existe una certificación asociada a cada uno de los modelos. En el primero de los casos, la certificación conlleva una auditoria inicial o de concesión, auditorias de seguimiento periódicas y una auditoria final. El segundo modelo conlleva auditorias periódicas del sistema de gestión de I+D+I. Un sistema no implica necesariamente al otro, aunque es deseable. Una organización puede realizar proyectos de I+D+I sin tener su sistema de gestión certificado.



*Ilustración 1 Modelo para la aplicación de la UNE 166000 (fuente José Luis Tejera Oliver, AENOR)*

La descripción profusa de la norma se escapa del ámbito de este artículo. Simplemente reseñar que la norma contempla que para cada proyecto se deben considerar los siguientes factores:

- Objeto del proyecto
- Contribución a programas o políticas específicas
- Planificación
- Innovación, novedades que aporta
- Presupuesto
- Recursos necesarios
- Personal y organizaciones participantes
- Plan de desarrollo y explotación

En cuanto a los sistemas de gestión de la I+D+I, la norma identifica una serie de requisitos que tienen que cumplir dichos sistemas, entre los que se encuentra uno referido a la planificación, seguimiento y control de la cartera de proyectos. En este punto la norma conecta (aunque no de forma explícita) con otras normas existentes específicas para la gestión de proyectos. La más conocida a este respecto es la norma ISO 10.006, emanada de los fundamentos de la dirección de proyectos recogidos en el PMBOK [5].

### **3. Sistema de gestión desarrollado**

El propósito del sistema de gestión de proyectos presentado es cumplir con los requisitos del sistema de gestión en cuanto a planificación, seguimiento y control de la cartera de proyectos (al menos con estos requisitos, pues el sistema resultante da cobertura adicional a muchos otros requisitos de la norma). El sistema combina la norma UNE 166.000 con la norma de calidad en la gestión de proyectos, ISO 10.006. Como consecuencia se elabora un procedimiento de Gestión de Proyectos que es incluido dentro de los manuales de procedimientos del sistema de calidad de la empresa.

La implantación se lleva a cabo dentro de un holding de empresas especializadas en la fabricación, el asesoramiento y la distribución comercial de productos y servicios dentro de los sectores de la electricidad y la electrónica. El grupo cuenta con 280 trabajadores, y su facturación superó los 47 millones de euros en el año 2001, y en la actualidad se encuentra en un proceso de expansión internacional.

Las tareas de los proyectos se dividen en tareas metodológicas para la gestión del proyecto, propias de la organización, tareas administrativas características del programa en el que se inscribe el proyecto o del organismo que financia el proyecto y

tareas técnicas, distintas para cada proyecto y que responden a la planificación del proyecto. La documentación que genera el proyecto se puede dividir en los mismos grupos.

Para dar soporte al procedimiento de gestión de proyectos desarrollado, se configura un sistema software, permitiendo la gestión de proyectos de forma remota, multiusuario y distribuida. El sistema está formado por la combinación de dos herramientas:

- Una herramienta de gestión de proyectos para trabajo multiproyecto y multiusuario. Tras una búsqueda exhaustiva y a partir de otras experiencias del Área de Proyectos de Ingeniería de la Universidad de Oviedo se decidió instaurar Microsoft Project Server como herramienta base [6][7].
- Un sistema de gestión documental sencillo, sin riesgos de suponer una pérdida de productividad o ser cerrado, por lo que se opta por Microsoft SharePoint Team Services.

Existen en el mercado herramientas mucho más potentes, pero de un precio muy superior, no justificable en el caso concreto estudiado. Por otro lado, en los proyectos de este tipo participan normalmente varios socios o partners, por lo que es muy importante que la herramienta seleccionada sea fácilmente accesible a todos ellos. Microsoft Project se ha convertido en el estándar de facto dentro de las herramientas de gestión de proyectos. Aunque las empresas dispongan de otras herramientas adicionales, normalmente suelen disponer también de Microsoft Project. Además la mayor parte de herramientas de gestión de proyectos permiten la importación/exportación de datos de Microsoft Project.

Microsoft Project Server facilita la colaboración y comunicación de la información de los proyectos permitiendo a los gestores de proyectos y miembros del equipo ver y actualizar la planificación y las tareas de un proyecto a través de un navegador web. El grupo de empresas disponen de una intranet corporativa, por lo que se tiene acceso a la información de los proyectos desde todos los puntos (tanto nacionales como internacionales).

Como herramienta de gestión documental para los proyectos se ha optado por Microsoft SharePoint. Esta herramienta incorpora las funcionalidades más importantes de un gestor documental. Además es sencilla de integrar en la red y fácil de utilizar. Las tres características utilizadas de esta herramienta han sido:

- Gestión documental integrada: esta herramienta ayuda a organizar fuentes de información complejas y gestionar documentos, permitiendo entre otros acceso controlado a los documentos, circuitos de aprobación de documentos, gestión de discusiones y gestión de suscripciones a carpetas.
- Motor de búsquedas: La herramienta permite buscar información de una forma rápida y sencilla, independientemente de dónde resida o con qué formato.

- Portal corporativo: La herramienta presenta funciones de Portal Corporativo para publicar información dinámicamente. SharePoint proporciona la capacidad para implementar una solución completa de portal, permitiendo que las búsquedas, creaciones de documentos y compartición de datos se realicen desde una interface con explorador Web.

El sistema desarrollado no conforma una isla dentro de la organización donde se ha implantado, sino que está integrado dentro de su sistema de gestión del conocimiento. Para este grupo, la Gestión del Conocimiento se fundamenta en la implantación de tecnologías que faciliten la gestión exitosa de los planes tanto estratégicos como operativos mediante transacciones de información y conocimientos [8]. Para ello parten de un modelo teórico de Gestión del Conocimiento desarrollado por el profesor Max Boixot [9][10] de la Wharton School de la Universidad de Pennsylvania. La originalidad de este modelo reside en la facilidad de observar los flujos de conocimiento y gestionarlos de forma alineada con su estrategia de aprendizaje organizativo. Todo esto es clave para la organización tanto a nivel interno de gestión empresarial como a nivel de gestión de proyectos, y sobremanera aquellos proyectos enmarcados dentro de lo que se denomina como I+D+I.

#### **4. Conclusiones**

Disponer de una norma para la gestión de proyectos de I+D+I permite sistematizar y homogeneizar criterios dentro de estas actividades. Además permite obtener una herramienta de apoyo que permita a la Administración Pública valorar proyectos de I+D+I de cara a facilitar el acceso a desgravaciones fiscales.

El desarrollo e implantación de un sistema de gestión de proyectos que combine las recomendaciones de las normas ISO 9000, ISO10006 y UNE166000 con otros estándares de organizaciones internacionales es posible en una organización como la descrita en este artículo. El sistema aquí presentado supone una innovación y una apuesta por la importancia de los sistemas de control de los proyectos de I+D+I, un sector de los proyectos que tradicionalmente (debido a sus características especiales comentadas en el artículo) no ha sido adecuadamente gestionado de acuerdo a las técnicas y métodos de gestión de proyectos.

#### **Referencias**

[1] PNE 166000. *Gestión de la I+D+I. Terminología y definiciones de las actividades de I+D+I*. AENOR.

[2] PNE 166001. *Gestión de la I+D+I: Requisitos de los proyectos de I+D+I*. AENOR.

[3] PNE 166002. *Gestión de la I+D+I: Requisitos del sistema de gestión de la I+D+I*. AENOR.

[4] RODRIGUEZ MONTEQUIN, V.; ORTEGA FERNANDEZ, F.; MARTINEZ HUERTA, G.; GONZALEZ RODRIGUEZ, J.A. *Adaptación de la gestión de proyectos y departamentos de I+D+I según la norma UNE 166.000*. Actas del VI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO, Barcelona 2002.

[5] Project Management Body of Knowledge. PMI, 2000.

[6] CONCEPCIÓN, R.; ORTEGA, F.; RODRÍGUEZ, V.; VILLANUEVA, J. *Desarrollo de una metodología para la gestión de proyectos informáticos según ISO 10006 en las Administraciones Públicas*. VII Jornadas sobre Innovación y Calidad del Software. Mallorca, 2002.

[7] RODRÍGUEZ, V.; ORTEGA, F.; GONZÁLEZ, J. A.; ÁLVAREZ, J. V. *Sistema de gestión de grandes proyectos industriales aplicado a una línea de decapado*. XVII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos. Murcia, 2001.

[8] MONES BAYO, A.; RODRIGUEZ MONTEQUIN, V. *La importancia de la Gestión del Conocimiento en una empresa internacional de carácter familiar*. Revista ENTEMU, UNED Centro Asociado de Asturias, 2002.

[9] BOISOT, Max H. *Information Space*. Routledge 1995.

[10] BOISOT, Max H. *Knowledge Assets*. Oxford 1998.

## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

---

### **APLICACIÓN DEL MODELADO PARAMÉTRICO AL DISEÑO INDUSTRIAL**

**LÓPEZ SOTO, Jaime (1); RAMÍREZ LÓPEZ-PARA, Pilar (2);  
CARO RODRÍGUEZ, José Luis (3)**

<sup>(1)</sup>Universidad del País Vasco  
Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
Correo electrónico: epplosoj@lg.ehu.es

<sup>(2)</sup> Universidad del País Vasco  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Correo electrónico: impralop@lg.ehu.es

<sup>(3)</sup> Universidad del País Vasco  
Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
Correo electrónico: eppcaroj@lg.ehu.es

### **RESUMEN**

En este proyecto se ha planteado, como objetivo, optimizar la utilización del diseño paramétrico.

Para aprovechar el modelizado paramétrico se debe comenzar la sesión de diseño de forma diferente, hay que entender cómo usarlo. Si se intenta utilizar un sistema CAD/CAM de la forma tradicional, no se aprovechan plenamente todas sus ventajas.

Cuando se genera un modelo explícito, el método de construcción no es importante, pero cuando se crea un modelo paramétrico el orden y el método de construcción de la geometría es muy importante, ya que las entidades geométricas quedan relacionadas y/o dependientes con otras entidades.

La construcción y las relaciones de las entidades se almacenan en el llamado fichero de historial. Al incorporar los cambios en el modelo se ejecuta el fichero de historial, regenerado la geometría y manteniendo las relaciones.

El diseñador que utiliza el sistema, debe conocer las posibilidades de modelizado paramétrico. Por ello son precisos unos conocimientos específicos y una planificación previa a la aplicación del sistema.

La publicidad comercial induce a creer que al adquirir un sistema CAD/CAM se va a disponer, sin más, de un producto inmejorable, cuando el éxito de la aplicación está en considerar el factor humano y su preparación técnica.

**Palabras clave:** optimización de modelado paramétrico.

## **1. Introducción**

El objetivo a alcanzar es optimizar la utilización del diseño paramétrico. Se pretende con este proyecto encontrar un equilibrio entre la facilidad de aprendizaje y comprensión del diseño paramétrico, y el ofertar la suficiente información del mismo como para poder desenvolverse en actuaciones de tipo docente y profesional, sin que por ello se llegue a una excesiva extensión.

La rápida extensión de las telecomunicaciones ha hecho que las economías se internacionalicen, siendo la innovación, y más concretamente el desarrollo de nuevos productos, uno de los retos más comprometidos.

Las empresas, están en un mercado fuertemente competitivo. Se precisa disponer de mejores productos, con mayores prestaciones y menor coste. Es necesario, en resumen, mejorar la productividad, por lo que la incorporación de nuevas tecnologías se demuestra como un medio efectivo de conseguirlo.

La demanda es cada vez más selectiva al tiempo que los fabricantes amplían la gama de sus productos, y disminuye el tamaño de las series de fabricación. Todo ello hace necesario disponer de un diseño y una fabricación más flexible, más sencilla de cambiar y adaptar a otros modelos.

El ordenador se ha introducido en el área del diseño hasta tal punto, que está cambiando las formas, hábitos y procesos de trabajo de las ingenierías; desde el primer momento se ha utilizado en los centros de diseño, aprovechando su potencia de proceso y cálculo.

Es decir, la misma mente creativa del diseñador, dispone y utiliza una herramienta mucho más potente para su trabajo, que le permite visualizar perfectamente su diseño, hasta el más mínimo detalle, sin necesidad de fabricar ningún prototipo. Puede analizar, estudiar, calcular y comprobar. En una palabra, optimizar su proyecto y dejarlo perfectamente definido, sin posibilidad de error al interpretar los planos.

Pero, ¿puede realmente el ordenador aplicarse en un área especialmente creativa como es el diseño?. Estudios recientes entre varias empresas de ingeniería han puesto de manifiesto que de todo el trabajo de un proyectista, sólo entre un 5 a un 10%, según especialidades, es trabajo creativo; el restante 90 a 95% de su trabajo, es de tipo mecánico y repetitivo, en cuyo caso un ordenador puede prestarle gran ayuda.

## **2. La diferencia del modelado paramétrico**

Cuando se crea un modelo explícito el método de construcción no es importante, pero cuando se crea un modelo paramétrico el orden y el método de construcción de la geometría es muy importante, ya que las entidades quedan relacionadas o dependientes con otras entidades. La construcción y las relaciones de las entidades se almacenan en el llamado fichero de historial. Este fichero de historial es el que se ejecuta cada vez que se realiza un cambio en la geometría, para incorporar los cambios en el modelo regenerado.



El paramétrico tiene muchas mejoras respecto a los métodos explícitos tradicionales, como una asociatividad completamente detallada, escenificación y herramientas de dibujo, que se actualizarán automáticamente cuando se realice un cambio en el modelo paramétrico.

También es muy fácil crear familias de componentes, como modelo base, que pueden ser cambiados fácilmente para reflejar un nuevo estándar de ahorro de la gran cantidad de tiempo empleado en la recreación geométrica.

## **El diseño desde el punto de vista paramétrico**

Para aprovechar el modelizado paramétrico se debe comenzar la sesión de diseño de forma diferente. Se debe entender cómo usar el modelizado paramétrico.

Un concepto clave del modelizado paramétrico es que un fichero del historial paramétrico se guarda con el fichero de su geometría. El historial paramétrico capta, principalmente, dos tipos de información de forma automática:

- Los valores de los parámetros, como longitudes, radios, diámetros, etc. Se pueden cambiar los valores de los parámetros, mientras las relaciones geométricas permanecen fijas.
- Las relaciones geométricas, como tangencias y posiciones relativas. Se pueden relacionar entre sí todo tipo de geometrías (alambre, superficies y sólidos), así como sistemas de referencia (planos de construcción).

## **Captación del propósito del diseño**

La clave de la potencia del modelizado paramétrico es la capacidad de captar el propósito del diseño. El historial paramétrico capta el propósito del diseño registrando lo que se hace durante el proceso de modelado. Es muy importante planificar el desarrollo del modelizado para maximizar la flexibilidad en el propósito del diseño.

Con el modelizado paramétrico, casi todo lo que se hace, bien sea crear geometría o definir un nuevo sistema de referencia, se hace relacionándolo a un paso previo o a geometría existente. Por ejemplo, se deben establecer relaciones geométricas usando localizaciones en entidades y opciones de sistemas de referencia para captar y mantener el propósito.

Las relaciones geométricas y las dependencias establecidas por las operaciones con los sistemas de referencia también son captadas en el historial paramétrico del modelo. Normalmente, se relaciona un sistema de referencia a geometría existente y después se añade nueva geometría desde ese sistema de referencia. Así, se establece una relación entre el sistema de referencia, la geometría existente con la que se relaciona y la geometría añadida con ese sistema de referencia.

## **Sistema funcional del modelado paramétrico**

El modelizado paramétrico trabaja en cualquier tipo de representación, alambre, superficies y sólidos, y tiene el siguiente funcionamiento:

- Creación del perfil: junto con el modelador paramétrico, se puede utilizar el entorno 2D para obtener fácilmente perfiles con formas libres.
- Creación del boceto: para crear sólidos o superficies a partir de perfiles. El perfil puede haber sido creado en entorno 2D o extraído de geometría creada anteriormente. El historial paramétrico mantiene la asociación entre el boceto creado y el perfil de partida.
- Gestión de restricciones: esta característica permite definir relaciones entre parámetros a través de ecuaciones algebraicas. Por ejemplo, se puede especificar que una cara de un objeto sea siempre idéntica en dimensiones a otra cara. Cuando se cambia la dimensión de una de las caras, la otra se ajusta automáticamente para satisfacer la restricción.
- Modelado de elementos básicos: el modelizado paramétrico permite insertar geometría inteligente, o elementos (como agujeros, cajas, o ranuras) en el modelo, utilizando la metodología objeto-orientado.

## **3. Estrategias de modelado paramétrico**

### **Análisis del modelo**

En el método de modelizado paramétrico los pasos seguidos para crear la geometría son tan importantes como sus características físicas. Hay que analizar que se quiere hacer con el modelo. Considerar qué y cómo cambiarán las dimensiones y las características del diseño. Hacer una parametrización flexible, anticipándose a los cambios que puedan producirse.

El procedimiento básico para crear un modelo paramétrico es:

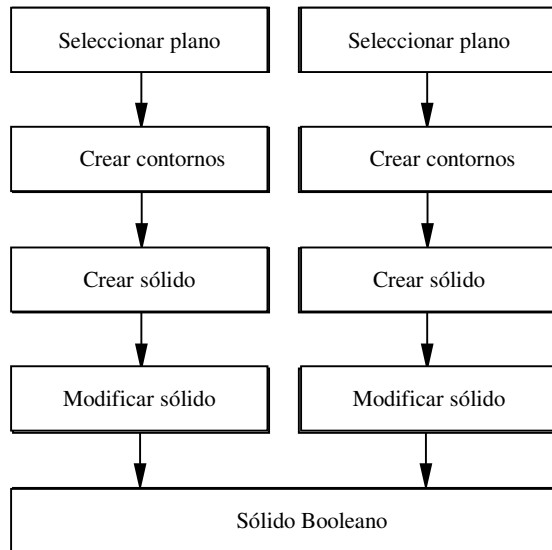
- 1.- Situar un plano de trabajo.
- 2.- Crear líneas y contornos.
- 3.- Crear sólido.
- 4.- Hacer los requerimientos del sólido: chaflanes, operaciones Booleanas, etc.

En cada zona del modelo se repiten estos pasos básicos. La tarea se registra secuencialmente en el fichero del historial. El resultado es una pieza depurada que puede ser ensamblada a otras.

## Abordaje paralelo del modelo

El abordaje paralelo del modelo es más práctico que el lineal. Cada zona del modelo es construida de forma independiente de las otras.

Usando este método, se parte el modelado en bloques funcionales separados. Se construye cada bloque independientemente, de forma que no se referencia ninguna geometría a otro bloque funcional.



Si la geometría de uno de los bloques funcionales se modifica, los otros bloques funcionales permanecen intactos. Solamente se necesita rehacer alguna de las operaciones Booleanas o redondeos de los pasos finales.

Diversas técnicas serán de ayuda en el abordaje del modelado en paralelo:

- Demorar los comandos de unir bloques funcionales hasta el final del modelado. En general, algunas operaciones como las Booleanas y los redondeos no pueden realizarse independientemente, por tanto, conviene retrasar estos comandos hasta la fase final del modelado.
- Si es necesario crear dependencias entre bloques funcionales, usar restricciones variable y ecuaciones.
- Comenzar el modelado con un trazado de construcción geométrica que sirva de referencia para el resto de la geometría.
- Si se necesita hacer referencia a geometría existente, hacer un paso intermedio: crear una construcción geométrica encima de la existente y referenciar esta construcción geométrica a la existente.

- El plano de construcción activo se registra con el comando en el historial. Si se elimina el comando en el que se creó el plano de trabajo de usuario, el sistema eliminará todos los comandos que hayan sido ejecutados mientras este plano de construcción estaba activo.
- Se pueden especificar parámetros dentro del mismo comando para obtener variables independientes. Esto permite cambios posteriores en uno de los redondeos sin propagar el cambio al resto de redondeos insertados en el mismo comando. También se puede dar valores iguales a esos redondeos usando variables y ecuaciones, y posteriormente desasociarlos.
- Evitar usar localizaciones libres, ya que estas no cambian con el resto del modelo, es mejor referenciar a construcciones geométricas.
- Tener cuidado con los vectores o especificaciones de dirección utilizando los ejes del sólido, es mejor referenciarlos a construcciones geométricas. También se pueden dar dos localizaciones para definir el vector de dirección.
- Si un comando produce entidades múltiples que no interesan, en lugar de borrarlas, es mejor emplazarlas en otra capa.
- Utilizar el comando deshacer en lugar del de borrar entidad.

## **Método de las mínimas dependencias**

El Método de las Mínimas Dependencias es una forma totalmente diferente de modelizar en paramétrico que rompe con algunas reglas clásicas. El término “Least Dependency” (Mínimas Dependencias) es usado para describir un método de modelizado desarrollado y usado por Rolls Royce Aerospace Group para la construcción de sus modelos paramétricos.

Esta metodología implica la creación de entidades paramétricas que dependen del menor número posible de entidades. Limitando la dependencia, las modificaciones futuras del modelo tendrán impactos menores sobre el resto de entidades.

Ventajas del Método de las Mínimas Dependencias:

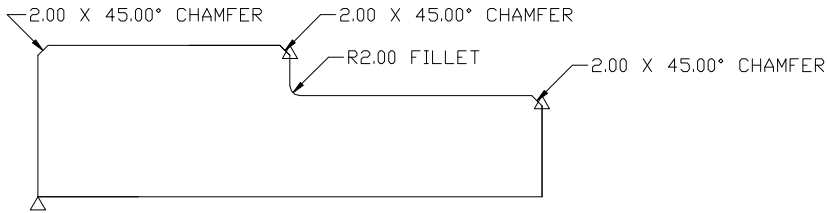
- Creación de modelos robustos.
- Facilidad de cambios en la geometría durante el proceso de diseño.
- Apoyo a la ingeniería concurrente.
- Ahorros en tiempo / coste, con mejor calidad.
- Proceso de aprendizaje sencillo y funcional.

El Método de las Mínimas Dependencias establece un enfoque lógico del modelado paramétrico. Esto permite que el modelo pueda ser entendido fácilmente por otra persona que no lo halla creado, utilizando, además, menos tiempo al ejecutar “Replay History” para un entendimiento completo de cómo ha sido construido el modelo.

## Construcción básica usando vértices

Se basa, fundamentalmente, en el principio de que, en la mayoría de las ocasiones, la geometría puede ser controlada a través de sus vértices. Este método de insertar geometría es tanto mejor en cuanto que reduce la probabilidad de fallo en la regeneración del modelo y establece un enfoque lógico del modelado. El resultado de “modelar vértices” es que el número de parámetros se reduce.

Para entenderlo se realizará el modelo que se representa en la figura siguiente:



Si la posición de un vértice se establece por un símbolo de localización (triángulo), entonces actúa como vértice principal, del cual parten líneas dando una longitud cualquiera. Otro tipo de operaciones sobre este vértice deben ser realizadas en este momento, antes de unirlo al otra geometría. El vértice está terminado. El siguiente vértice se construye utilizando las mismas reglas.

Una vez que el vértice no requiere más operaciones, se unen al resto de la geometría del modelo utilizando comandos como: ‘Fillet’, ‘Chamfer’, ‘Trim corner’, etc. Así se generan los vértices secundarios.

Puede verse que el modelo se controla con los símbolos de localización de tres vértices estratégicamente situados, así el modelo es mucho más claro y permite modificarlo por completo.

## Eliminar geometría

Si es necesario borrar una entidad, no debería haber sido creada. Durante la creación de geometría el comando ‘Delete’ no debería ser usado o, ya que se elimina también del fichero del historial y por eso no puede ser editada.

Se puede eliminar un solo comando del historial o eliminar además todas las entidades que dependen de él. Cuando se elimina un solo comando y se intenta regenerar el modelo, se producirá un fallo si no se corrigen las dependencias que tenía el comando eliminado.

El mejor método para eliminar la geometría innecesaria es usar el comando ‘Undo’ o ‘Remove Operation’ según las circunstancias.

## Limitaciones del paramétrico

El modelado paramétrico no es capaz de obtener cualquier cosa que a veces se requiere, como por ejemplo algunas superficies complejas (nurbs aerofoil = nurbs de láminas de chapa). Para solventar esto, se pueden crear estos tipos de superficies en modo explícito y después unirlos al sólido, se convierten así en entidades que el paramétrico pueden utilizar.

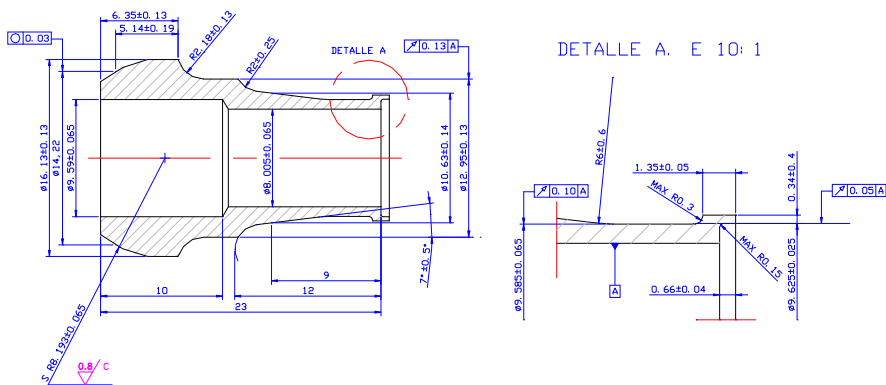
Si es necesario modificar una entidad explícita que ha sido insertada en un fichero paramétrico, se recurre la línea del historial paramétrico donde aparece el comando ‘Insert Explicit’ y se reemplaza por la entidad explícita modificada.

## 4. Reducer

### Análisis funcional

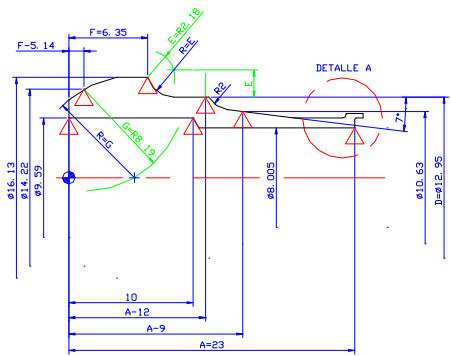
Es un elemento de reducción de la sección de un racord, a la vez que de protección del extremo. Unido por soldadura al racord mediante una soldadura por fusión de material de la pieza y, mediante una superficie esférica, con otro elemento.

Su descripción detallada se observa en la figura siguiente:

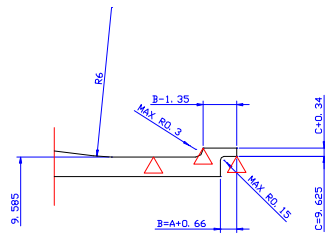


### Propuesta de digitalización

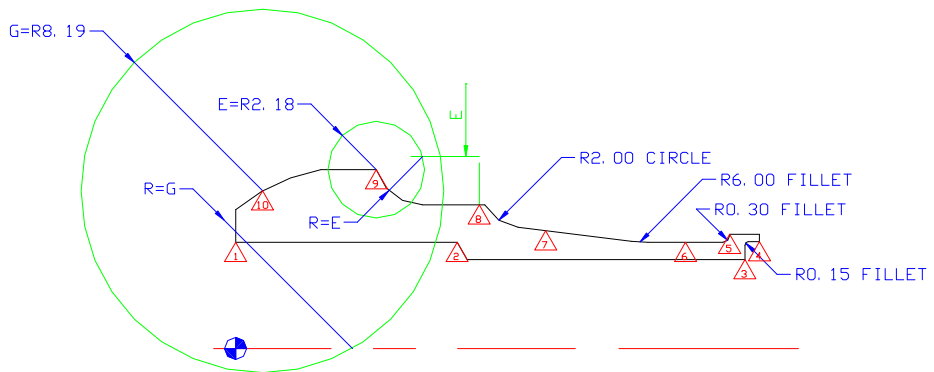
Para digitalizarlo se ha realizado una transferencia de cotas del perfil a revolucionar, refiriendo todas a un punto de partida. De esta forma, algunas cotas son necesarias para realizar construcciones auxiliares previas, y por tanto, otras cotas quedan expresadas por ecuaciones, como puede verse en la figura siguiente:



DETALLE A. E 10: 1



El resultado es que el perfil del elemento puede ser controlado completamente mediante las coordenadas de los símbolos de localización de diez vértices estratégicamente situados. El resto de vértices son secundarios y se han creado utilizando comandos como: “Fillet”, “Chamfer”, “Trim corner”, etc. Ver figura siguiente:



Puede verse que el modelo así creado es mucho más claro y permite modificarlo por completo.

## Historial paramétrico

El historial paramétrico queda:

### Command History

- 1: Insert Line
- 2: Insert Line
- 3: Insert Line
- 4: Insert Line
- 5: Trim Curve

### Comment History

- Eje  
Loc 1  
Loc 1  
Loc 2; 60°

```
6: Insert Line
7: Insert Line
8: Trim Curve
9: Insert Line
10: Insert Line
11: Insert Fillet
12: Insert Line
13: Insert Line
14: Trim Curve
15: Insert Line
16: Insert Fillet
17: Insert Line
18: Insert Fillet
19: Insert Line
20: Insert Line
21: Insert Circle
22: Trim Curve
23: Insert Line
24: Insert Circle
25: Insert Offset Curve
26: Insert Circle
27: Trim Curve
28: Insert Circle
29: Insert Circle
30: Trim Curve
31: Rotational Sweep
```

```
Loc 3
Loc 3; A=23

Loc 4; B=A+0.66
Loc 4; C=9.625
R0.15
Loc 5; B-1.35
Loc 5; C+0.34

Loc 6
R0.3
Loc 7; A-9; 7°
R6
Loc 8; D=12.95
Loc 8; A-12
R2

Loc 9; F=6.35
Loc 9; E=R2.18
Equidistancia E
R=E

Loc 10; F-5.14, G=R8.19
R=G
```

## 5. Conclusiones o Consideraciones Finales

La aplicación correcta del CAD permite obtener importantes aumentos de productividad, mejor calidad del diseño y un tiempo más corto. La experiencia obtenida sobre la amplia base instalada es la mejor garantía de estas mejoras.

Pero para su correcta aplicación hay que considerar también el aspecto técnico. El personal de la empresa que debe utilizar el sistema, debe conocer las posibilidades de CAD. Es necesario que en la planificación previa a la adquisición del sistema se considere el factor humano y su preparación técnica, como base para una aplicación con éxito de esta tecnología.

Y sobre todo, a pesar de que, a veces, la publicidad comercial induce a creerlo, no pensar, ni por un momento, que al adquirir un sistema se va a disponer, sin más, de un producto diseñado por un ordenador, y por tanto inmejorable.

El proyectista, el creador, continuará siendo la persona, que dispondrá de una herramienta que le va a ayudar mucho, pero que, por si sola, es incapaz de hacer algo.

Dedicar más tiempo en preparar la forma de digitalizar un elemento conlleva un ahorro de tiempo mayor en las posteriores interpretaciones y modificaciones.





**INGEGRAF**



## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

### **LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE UNA CUÁDRICA CO- MO SISTEMA DE REPRESENTACIÓN (I): FUNDAMENTOS Y DE- FINICIÓN**

**PASCUAL ALBARRACÍN, M<sup>a</sup> Esther**

Universidad Politécnica de Madrid, España

E.T.S.I. Aeronáuticos, Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos

Correo electrónico: epascual@aero.upm.es

### **RESUMEN**

La proyección estereográfica de una cuádrica sobre un plano se puede estudiar bajo diversos puntos de vista, entre ellos como espacio proyectivo no convencional y como sistema de representación. Este último enfoque es el objetivo de este trabajo.

En esta ponencia pretendemos describir cuales son los elementos del plano del cuadro que podemos tomar como "datos de partida" de forma que definan completamente la cuádrica y permitan su restitución en el espacio. Es decir, buscamos que datos se deben añadir al punto principal y al círculo de distancia de la proyección central para definir completamente la cuádrica de partida.

**Palabras clave:** Proyección Estereográfica – Cuádrica – Sistemas de Representación.

## 1. Introducción

La proyección estereográfica se sigue utilizando ampliamente en todos aquellos campos en los que se necesitan hacer barridos dentro de medios continuos o semicontinuos. En determinadas condiciones de anisotropía o de falta de simetría parece indicado disponer de un modelo de proyección estereográfica que no sea el clásico edificado sobre la esfera. Hemos encontrado el concepto de proyección estereográfica de los puntos de una cuádrica simplemente definido o parcialmente tratado como, por ejemplo, en las referencias [1], [2] y [3], pero no desarrollado de forma sistemática o como sistema de representación. Tal vez las limitaciones gráficas del pasado, que hoy no tenemos, hicieron que no se estudiasen con profundidad tales modelos y quedaran abandonados. En [4] y [5] hemos estudiado las cónicas proyecciones estereográficas de las secciones planas de una cuádrica como espacio proyectivo.

El objetivo de la proyección estereográfica es la representación de una superficie cuádrica sobre un plano (llamado *plano del cuadro*) mediante la proyección desde un punto  $V$  de la misma que denominaremos *punto de vista o de proyección*. A cada punto  $Q$  de la cuádrica le corresponde un único punto  $Q'$  del plano del cuadro, exceptuando el punto de vista  $V$ , al que corresponden todos los puntos de la recta  $t_V$ , intersección del plano tangente a la cuádrica en él con el plano del cuadro (Figura 1).

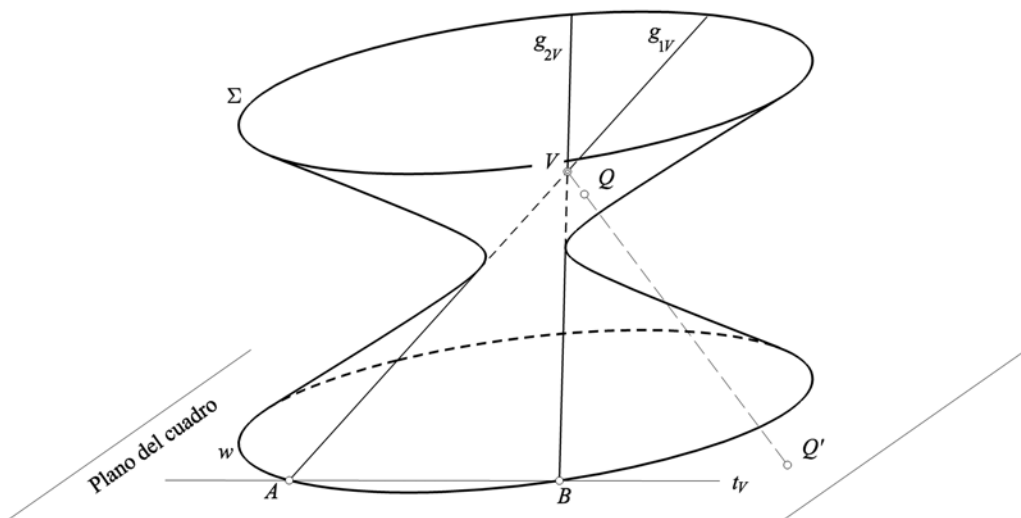


Figura 1

Como sistema de representación, es un caso particular de proyección cónica o central aplicada a una superficie cuádrica, con propiedades particulares debido a la figura proyectada y a la posición particular del punto de vista. A su vez, es una generalización de la proyección estereográfica tradicional que estudia la representación plana de la esfera.

## 2. Nomenclatura

- Elementos en el espacio: emplearemos letras latinas mayúsculas para designar puntos, letras latinas minúsculas para rectas o curvas, letras griegas minúsculas para planos y letras griegas mayúsculas para superficies
- Proyección estereográfica de un elemento: lo indicaremos mediante la nomenclatura anterior añadiendo un apóstrofo ' excepto la proyección estereográfica de  $V$  que denotaremos como  $t_V$
- Proyección ortogonal de un elemento sobre el plano del cuadro: lo indicaremos añadiendo dos apóstrofes '' al elemento
- Los vectores se indicarán en negrita

## 3. Teorema de Chasles y corolario

Sea  $\Sigma$  una superficie reglada, que admitirá una ecuación paramétrica del tipo

$$\mathbf{r}(u, v) = \mathbf{a}(u) + v\mathbf{b}(u)$$

Para un valor constante de  $u = u_0$  se describe una generatriz  $g_0$  de la superficie:

$$\mathbf{r}_0(v) = \mathbf{a}(u_0) + v\mathbf{b}(u_0) = \mathbf{a}_0 + v\mathbf{b}_0$$

El vector normal  $\mathbf{N}$  en un punto cualquiera de la superficie es

$$\mathbf{N}(u, v) = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u} \wedge \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v} = [\mathbf{a}'(u) + v\mathbf{b}'(u)] \wedge \mathbf{b}(u)$$

Así, el vector normal  $\mathbf{N}(v)$  en cada punto  $P$  de la generatriz  $g_0$  es

$$\mathbf{N}(v) = [\mathbf{a}'(u_0) \wedge \mathbf{b}(u_0)] + v[\mathbf{b}'(u_0) \wedge \mathbf{b}(u_0)] = \mathbf{c}_0 + v\mathbf{d}_0$$

El extremo  $Q$  del vector  $\mathbf{N}(v)$  describe una recta  $q_0$  que viene dada por:

$$\mathbf{s}_0(v) = \mathbf{r}_0(v) + \mathbf{N}(v) = (\mathbf{a}_0 + \mathbf{c}_0) + v(\mathbf{b}_0 + \mathbf{d}_0)$$

Además la relación entre los puntos  $P$  de la generatriz  $g_0$  y  $Q$  de la recta  $q_0$  es una semejanza, ya que podemos considerar que provienen de cortar las rectas  $g_0$  y  $q_0$  con el haz de planos paralelos a los vectores  $\mathbf{c}_0 - \mathbf{d}_0$  (Figura 2).

Existe una proyectividad elemental entre los puntos  $Q$  y el haz de planos que resulta de proyectar los puntos  $Q$  de  $q_0$  desde la recta  $g_0$ . Y, por último, estos planos y los planos tangentes en cada punto  $P$  a lo largo de la generatriz  $g_0$  se corresponden en una involución rectangular.

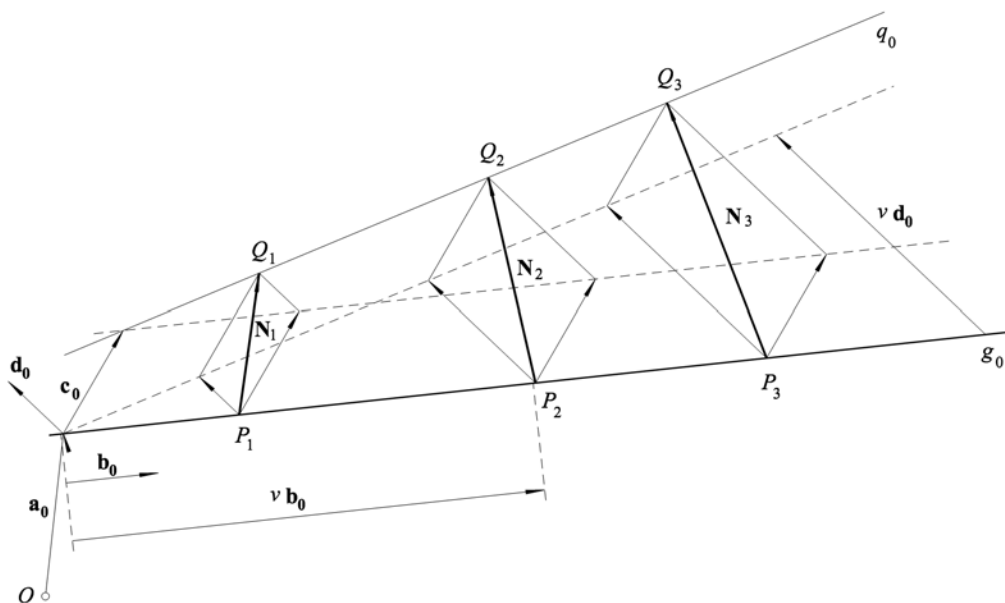


Figura 2

Como las proyectividades forman grupo, existe una correlación<sup>1</sup> entre los puntos de una generatriz de una superficie reglada y los planos tangentes en cada punto a lo largo de ella.

### Corolario

Existe una correlación entre los puntos obtenidos como proyección ortogonal sobre un plano  $\pi$  de los puntos de una generatriz de una superficie reglada y las trazas de los planos tangentes en cada punto de dicha generatriz sobre el plano  $\pi$ .

## 4. Definición del sistema de representación

En primer lugar es necesario fijar la posición en el espacio del punto de vista  $V$ . Ésta queda determinada por el *punto principal*, que es la proyección ortogonal  $V''$  del punto de proyección sobre el plano del cuadro y por la distancia  $d$  del punto de vista a dicho plano. Este dato lo representaremos mediante el *círculo de distancia*, que es la circunferencia de centro  $V''$  y radio  $d = VV''$ . Estos datos son suficientes para definir el sistema de representación por proyección central.

---

<sup>1</sup> En todo el texto, se entenderá por *correlación* su significado desde el punto de vista proyectivo, es decir, una proyectividad definida entre elementos de espacios proyectivos duales.

Sin embargo, nuestro objetivo es representar la superficie cuádrica  $\Sigma$ , por lo que debemos incluir entre los datos de partida una serie de elementos que definan la cuádrica y permitan su restitución. Así, supongamos conocidos los datos siguientes (Figura 3):

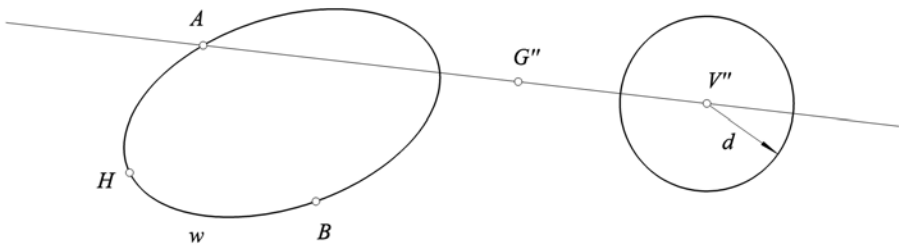


Figura 3

- Cónica  $w$  de intersección de la cuádrica con el plano del cuadro
- Puntos  $A$  y  $B$  de intersección de las generatrices que pasan por el punto  $V$  de  $\Sigma$  con el plano del cuadro (estos puntos, obviamente, pertenecen a la cónica  $w$ )
- Punto  $G''$  proyección ortogonal de un punto cualquiera  $G$  de la generatriz  $VA$  y punto  $H$  intersección de la segunda generatriz que pasa por  $G$  con el plano del cuadro (de nuevo, este punto pertenece a  $w$ )

Con estos datos la cuádrica  $\Sigma$  está completamente definida (Figura 4):

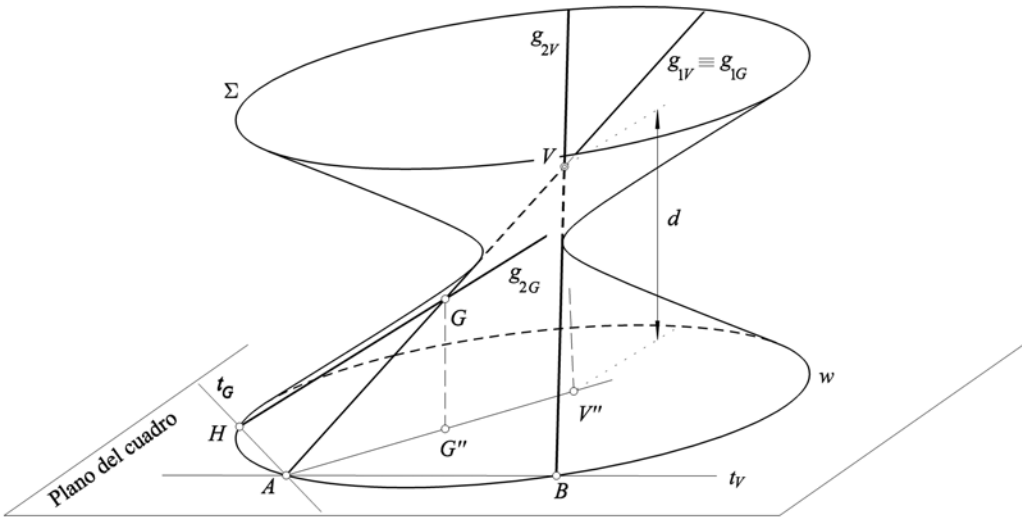


Figura 4

1.- Con el punto principal  $V''$  y el círculo de distancia situamos  $V$  en el espacio.

2.- Al conocer los puntos  $A$  y  $B$  se obtienen las generatrices por  $V$  como las rectas  $g_{1V} \equiv VA$  y  $g_{2V} \equiv VB$

3.- El punto  $G$  pertenece a  $g_{1V}$  y conocemos su proyección ortogonal  $G''$  sobre el plano del cuadro, por lo que también lo podemos restituir y obtener el punto  $G$  en el espacio.

4.- La segunda generatriz  $g_{2G}$  que pasa por el punto  $G$  viene dada en el espacio por la recta  $g_{2G} \equiv GH$ .

5.- Por último, vamos a ver que podemos obtener la segunda familia de generatrices en los puntos de la generatriz  $g_{1V}$  y, por tanto, la cuádrica está completamente definida.

5.- Por último, vamos a ver que podemos obtener la segunda familia de generatrices en los puntos de la generatriz  $g_{1V}$  y, por tanto, la cuádrica está completamente definida.

Tomemos un punto cualquiera  $R$  de la generatriz  $g_{1V} \equiv VA$ . El plano tangente a la cuádrica  $\Sigma$  en el punto  $R$  cortará al plano del cuadro en una recta  $t_R$  que contiene al punto  $A$ . Al recorrer el punto  $R$  la generatriz, las trazas de sus planos tangentes  $t_R$  describirán un haz de rectas de vértice  $A$  y sus proyecciones ortogonales  $R''$  recorrerán la recta  $AV''$  (Figura 5).

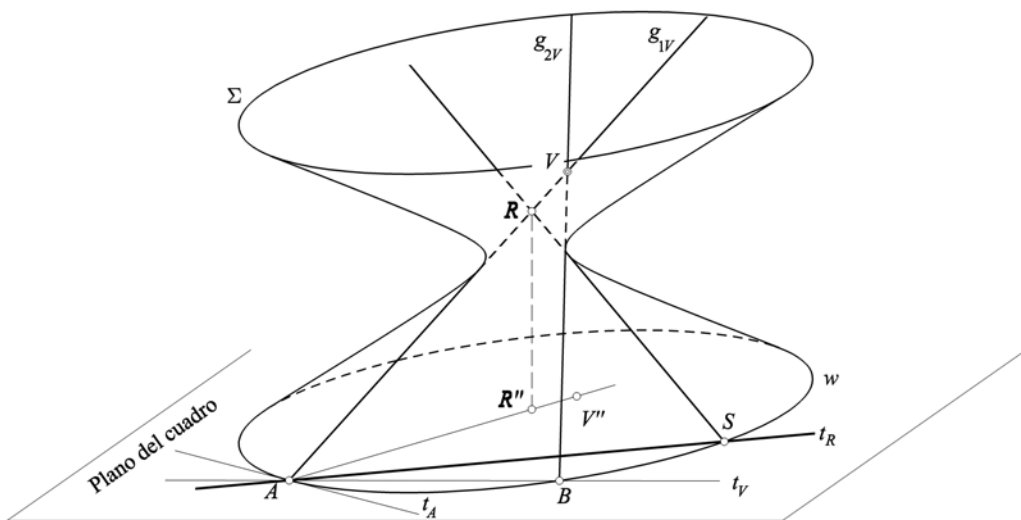


Figura 5

Aplicemos ahora el corolario del teorema de Chasles: sabemos que existe una correlación entre las proyecciones ortogonales sobre un plano de los puntos de una cuádrica pertenecientes a una generatriz y las trazas sobre ese plano de los planos tan-

gentes en cada punto de la generatriz. Por tanto entre las trazas  $t_R$  de los planos tangentes y las proyecciones ortogonales  $R''$  existe una correlación.

La proyectividad está definida si conocemos tres parejas de homólogos. Al punto  $V''$  le corresponde la recta  $t_V \equiv AB$ , al punto  $A'' \equiv A$  le corresponde la recta  $t_A$  tangente a la cónica  $w$  en el punto  $A$  y el punto  $G''$  tiene por homóloga la recta  $t_G \equiv AH$  (Figura 6). Así, para cada punto  $R''$  podemos calcular la traza del plano tangente  $t_R$  como la recta homóloga en la correlación anterior.

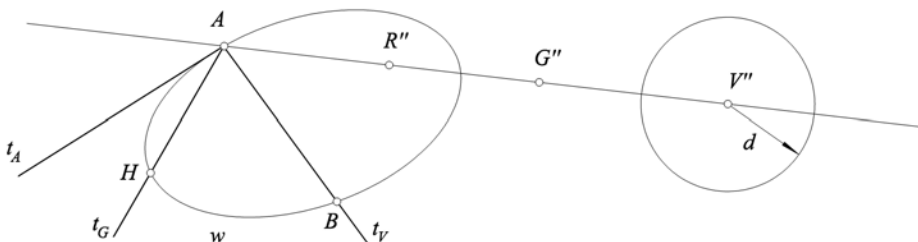


Figura 6

Para cada punto  $R''$  de la recta  $AV''$  podemos obtener de qué punto  $R$  de la cuádrica procede, sin más que imponer que  $R''$  es la proyección ortogonal de un punto de la generatriz  $AV$ . Como además sabemos que el punto  $S$  de intersección de la traza  $t_R$  con la cónica  $w$  pertenece a la segunda generatriz que pasa por  $R$ , la generatriz que buscamos es la recta  $RS$ .

Puede parecer que imponer como dato de partida la cónica  $w$  produzca una redundancia o un exceso de información. Sin embargo, no es así. Una cónica queda definida por cinco puntos, cinco tangentes o sus casos degenerados. De la cónica  $w$  conocemos a priori tres puntos de paso ( $A$ ,  $B$  y  $H$ ). A estos datos de partida podemos añadir la recta  $t_A$  tangente en  $A$ , ya que hemos visto que era necesaria en el punto 5. Es suficiente un único punto más de paso para que esté definida. Vamos a comprobar que sin este dato existen infinitas cuádricas que responderían a los datos de partida.

Aplicando el teorema de Chasles, podemos definir la correlación entre las proyecciones ortogonales de los puntos  $R$  de la generatriz  $AV$  y las trazas de sus planos tangentes, con lo que a cada punto  $R$  de la generatriz  $AV$  le puedo asignar su plano tangente. Sin embargo, no le puedo asociar la segunda generatriz que pasa por  $R$ . Veamos que, efectivamente, existen infinitas cuádricas que admiten esta sucesión de planos tangentes a lo largo de una generatriz y cumplen el resto de las condiciones impuestas.

Con los datos de partida conocemos el plano tangente en  $V$  y las generatrices que pasan por él, las generatrices y el plano tangente en  $G$  y el plano tangente en  $A$  como el definido por  $A$  y  $t_A$ . Por el teorema de Chasles, obtenemos la sucesión de planos tangentes en los puntos a lo largo de  $g_{1V} \equiv AV$ .

Tomemos ahora una recta cualquiera  $g_{2A}$  que pase por  $A$ , que esté contenida en su plano tangente y que no corte a  $g_{2G}$  ni a  $g_{2V}$ . Podemos entonces definir una única cuádrica cuyas reglas se apoyen en  $g_{2A}$ ,  $g_{2G}$  y  $g_{2V}$ . Ahora bien, las rectas  $g_{2A}$  forman un haz de rectas sobre el plano tangente en  $A$ , por lo que existe una familia de cuádricas de dimensión uno que cumplen las condiciones iniciales.

Por tanto la cónica  $w$  debe estar completamente definida. Así, necesitamos un punto de paso más o la recta tangente a la cónica en  $B$  o en  $H$ . Por tanto, es válido como quinto dato:

- El punto  $J$  de corte de una generatriz cualquiera con el plano del cuadro o, lo que es lo mismo, un punto cualquiera de la cuádrica que pertenezca al plano del cuadro. Este punto será de paso de la cónica  $w$ .
- La traza  $t_H$  del plano tangente en  $H$  a la cuádrica. Esta recta será tangente en  $H$  a  $w$ .
- La traza  $t_B$  del plano tangente en  $B$  a la cuádrica. Esta recta será tangente en  $B$  a  $w$ . Sin pérdida de generalidad, esta será la opción que escogeremos ya que siempre podemos llegar a ella mediante el teorema de Pascal partiendo de las anteriores y tiene la ventaja de proporcionar una equivalencia prácticamente completa entre las generatrices  $VA$  y  $VB$ .

## 5. Conclusiones

En resumen, para definir el sistema de representación se pueden tomar como datos de partida (Figura 7):

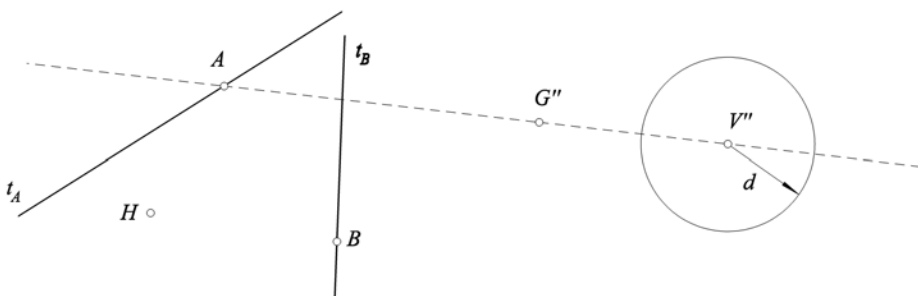


Figura 7

- El punto principal  $V''$ , proyección ortogonal del punto de vista  $V$  sobre el plano del cuadro
- El círculo de distancias, cuyo centro es el punto principal y su radio es la distancia  $d$  entre el punto de vista y el plano del cuadro



- Los puntos  $A$  y  $B$  de intersección de las generatrices por el punto de vista  $V$  con el plano del cuadro
- Las trazas  $t_A$  y  $t_B$  de los planos tangentes en  $A$  y  $B$  sobre el plano del cuadro
- La proyección ortogonal  $G''$  de un punto cualquiera de la generatriz  $VA$  y el punto  $H$  intersección de la segunda generatriz que pasa por ese punto con el plano del cuadro

Conceptualmente, la definición de los elementos de partida de la proyección estereográfica como sistema de representación es válida para cualquier cuádrica. Sin embargo, desde el punto de vista operativo, sólo las cuádricas regladas pueden ser tratadas con comodidad ya que en este caso tanto la cónica  $w$  como los puntos  $A$  y  $B$  son reales. Desarrollaremos en un futuro métodos paralelos al descrito para las cuádricas no regladas.

Por último, nos gustaría comentar un problema de indefinición. A cada punto  $Q$  de la cuádrica le corresponde un único punto  $Q'$  que es su proyección estereográfica. Y viceversa, a cada punto  $Q'$  del plano del cuadro le corresponde un único punto  $Q$  de la cuádrica, con la excepción de los puntos  $A$  y  $B$ . Efectivamente, cualquier punto  $R$  de la generatriz  $VA$  admite como proyección estereográfica al punto  $R' \equiv A$  (análogamente ocurre con  $VB$  y  $B$ ). Para salvar este problema, identificaremos cada punto  $R$  de estas generatrices no mediante su proyección estereográfica sino con su proyección ortogonal  $R''$  sobre el plano del cuadro que sí lo identifica completamente y permite su restitución. Veremos en [6] que estos puntos también pueden ser definidos mediante la traza de su plano tangente de forma inequívoca.

## Referencias

- [1] CHASLES, Michel. *Memoire sur les projections stéréographiques et sur les coniques homothétiques*. Annales de Mathématiques (1827 – 1828), Vol 18, pp. 305 – 320.
- [2] CHASLES, Michel. *Recherches sur les projections stéréographiques et sur diverses propriétés générales des surfaces du second ordre*. Annales de Mathématiques (1828 – 1829), Vol 19, pp 157 – 175.
- [3] DUPORCQ, E. *Premiers principes de Géométrie moderne*. 2ª edición. París: Éditions Jacques Gabay, 1995 (e.o. 1912), 173 pp.
- [4] PASCUAL ALBARRACÍN, Mª Esther.; PRIETO ALBERCA, Manuel. *Proyección estereográfica de cónicas pertenecientes a una cuádrica*. XV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica – XIII Congreso de ADM sobre Herramientas y Métodos de Diseño en Ingeniería. Nápoles: ADM, 2003.
- [5] PASCUAL ALBARRACÍN, Mª Esther.; PRIETO ALBERCA, Manuel. *Nueva demostración de una propiedad de las homologías*. XV Congreso Internacional de Ingeniería

ría Gráfica – XIII Congreso de ADM sobre Herramientas y Métodos de Diseño en Ingeniería. Nápoles: ADM, 2003.

[6] PASCUAL ALBARRACÍN, M<sup>a</sup> Esther. La proyección estereográfica de una cuádrica como sistema de representación (I): fundamentos y definición. XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Zaragoza: INGEGRAF, 2004.



**INGEGRAF**



## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

---

### **LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE UNA CUÁDRICA COMO SISTEMA DE REPRESENTACIÓN (II): RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS FUNDAMENTALES**

**PASCUAL ALBARRACÍN, M<sup>a</sup> Esther**

Universidad Politécnica de Madrid, España

E.T.S.I. Aeronáuticos, Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos

Correo electrónico: epascual@aero.upm.es

### **RESUMEN**

Habiendo definido en [6] los elementos que permiten manejar la proyección estereográfica de una cuádrica sobre un plano como sistema de representación, el objetivo de este trabajo es resolver los problemas que podríamos denominar como fundamentales: cálculo de generatrices y de planos tangentes en puntos de la cuádrica y cálculo de la distancia de un punto de la superficie al plano del cuadro.

**Palabras clave:** Proyección Estereográfica – Cuádrica – Sistemas de Representación.

## 1. Introducción

Para definir el sistema de representación se pueden tomar como datos de partida, tal y como hemos visto en [6] (Figura 1):

- El punto principal  $V''$ , proyección ortogonal del punto de vista  $V$  sobre el plano del cuadro
- El círculo de distancias, cuyo centro es el punto principal y su radio es la distancia  $d$  entre el punto de vista y el plano del cuadro
- Los puntos  $A$  y  $B$  de intersección de las generatrices por el punto de vista  $V$  con el plano del cuadro
- Las trazas  $t_A$  y  $t_B$  de los planos tangentes en  $A$  y  $B$  sobre el plano del cuadro
- La proyección ortogonal  $G''$  de un punto cualquiera de la generatriz  $VA$  y el punto  $H$  intersección de la segunda generatriz que pasa por ese punto con el plano del cuadro

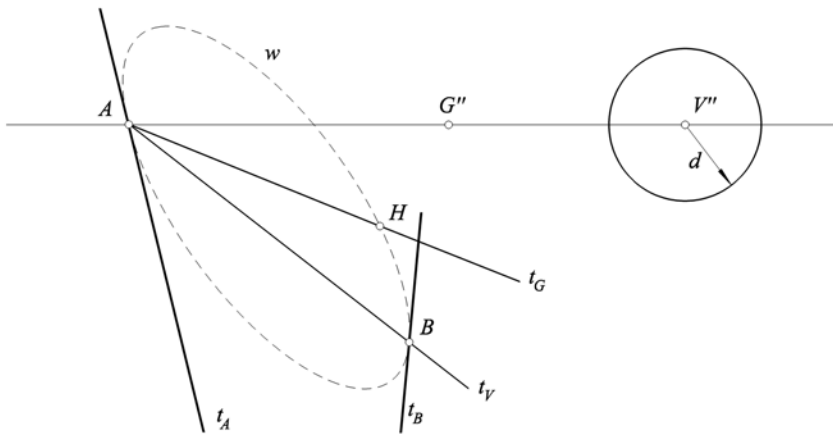


Figura 1

La nomenclatura que emplearemos es:

- Elementos en el espacio: emplearemos letras latinas mayúsculas para designar puntos, letras latinas minúsculas para rectas o curvas, letras griegas minúsculas para planos y letras griegas mayúsculas para superficies
- Proyección estereográfica de un elemento: lo indicaremos mediante la nomenclatura anterior añadiendo un apóstrofo ' excepto la proyección estereográfica de  $V$  que denotaremos como  $t_V$

- Proyección ortogonal de un elemento sobre el plano del cuadro: lo indicaremos añadiendo dos apóstrofes " al elemento
- Elementos abatidos sobre el plano del cuadro: se indicarán entre paréntesis ( )

## 2. Obtención de la traza del plano tangente y de la segunda generatriz en un punto de $AV$ y su problema inverso

Los puntos  $R$  de las generatrices  $VA$  y  $VB$  no están determinados mediante su proyección estereográfica ya que coinciden, respectivamente con  $A$  y  $B$ , pero sí se pueden definir mediante su proyección ortogonal  $R''$ .

Tal y como hemos demostrado en [6] existe una correlación<sup>1</sup> entre las proyecciones ortogonales de los puntos de una generatriz de la cuádrica y las trazas de sus planos tangentes sobre el plano del cuadro. En esta correlación al punto  $V''$  le corresponde la recta  $t_V \equiv AB$ , al punto  $A'' \equiv A$  le corresponde la recta  $t_A$  tangente a la cónica  $w$  en el punto  $A$  y el punto  $G''$  tiene por homóloga la recta  $t_G \equiv AH$ . Suponiendo conocida la proyección ortogonal  $R''$ , comenzaremos por obtener la traza  $t_R$  del plano tangente en el punto  $R$  de la generatriz  $AV$  como homóloga en la correlación anterior del punto  $R''$ .

Para resolverlo, seccionemos el haz de rayos  $\{t_A, t_V, t_G \dots\}$  cuyo vértice es  $A$  con la recta  $BV''$ . La serie de puntos  $\{A''', V''' \equiv B, G''' \dots\}$  así obtenida es proyectiva con la serie  $\{A'' \equiv A, V'', G'' \dots\}$ . Calculemos  $R'''$  como el homólogo de  $R''$  en esta proyectividad. La traza  $t_R$  es entonces la recta  $AR'''$  (Figura 2).

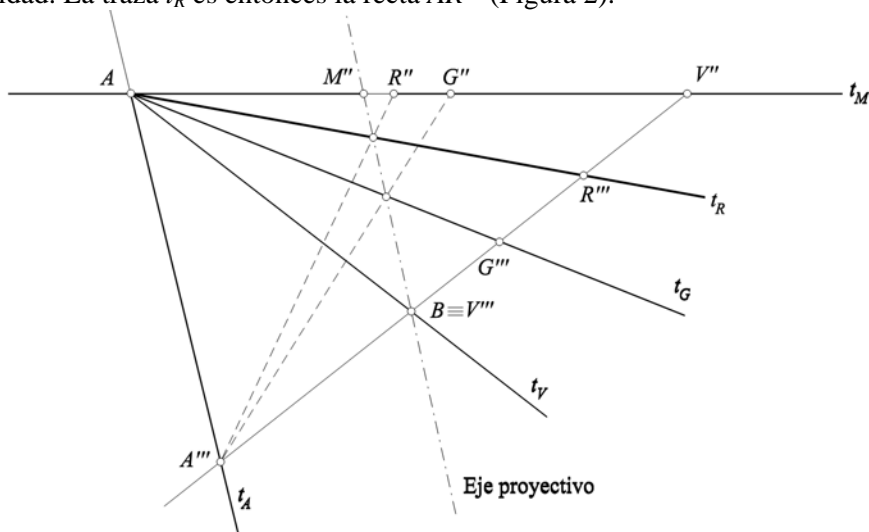
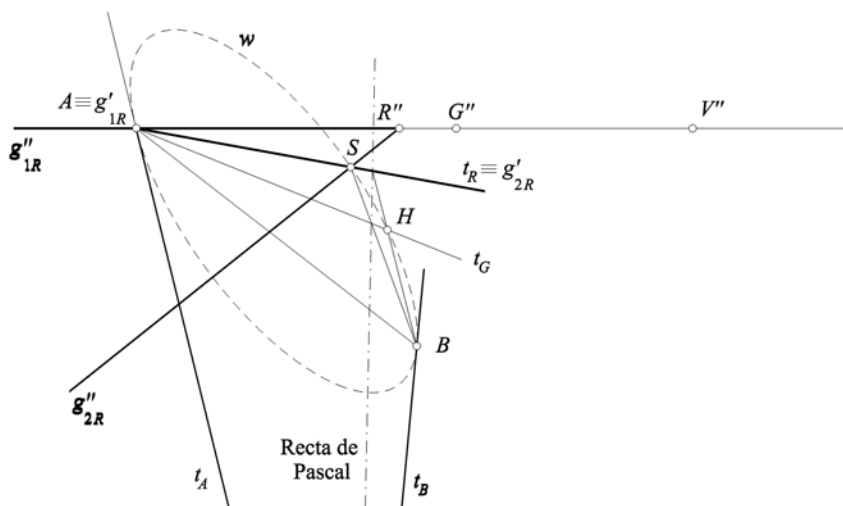


Figura 2

<sup>1</sup> En todo el texto, se entenderá por *correlación* su significado desde el punto de vista proyectivo, es decir, una proyectividad definida entre elementos de espacios proyectivos duales.

El problema inverso sería el siguiente: dada la traza  $t_R$  del plano tangente en un punto  $R$  de la generatriz  $AV$ , se desea obtener la proyección ortogonal  $R''$  del punto de tangencia. En este caso conocemos  $R'''$ , ya que es el punto de intersección de  $t_R$  con la recta  $BV''$  y su homólogo  $R''$  es el punto buscado.

La proyección estereográfica  $g'_{2R}$  de esta generatriz será la recta que une las proyecciones estereográficas de  $R$  y  $S$ , es decir, la traza  $t_R \equiv AS$ . La proyección ortogonal  $g''_{2R}$  es la recta que une las proyecciones ortogonales de  $R$  y  $S$  y por tanto es la recta  $R''S$  (Figura 3).



El problema inverso consistiría en calcular la traza  $t_R$  del plano tangente en un punto  $R$  de la generatriz  $AV$  conociendo la proyección estereográfica  $g'_{2R}$  u ortogonal  $g''_{2R}$  de la segunda generatriz por dicho punto. El primer caso es inmediato, ya que la traza y la proyección estereográfica coinciden. En el segundo, de nuevo, sólo es necesario hallar el punto  $S$  de intersección de la proyección ortogonal de la generatriz con la cónica  $w$  y se obtiene la traza  $t_R$  del plano como la recta  $AS$ .

Vemos así que definir el punto  $R$  mediante su proyección ortogonal  $R''$  o mediante la traza  $t_R$  de su plano tangente es completamente equivalente.

### 3. Obtención de la traza del plano tangente y de la segunda generatriz en un punto de $BV$ y su problema inverso

En este caso no podemos aplicar directamente la correlación entre proyecciones ortogonales y trazas de planos tangentes, ya que no tenemos datos suficientes para definir la proyectividad. Sólo conocemos dos parejas de homólogos: al punto  $V''$  le corresponde la recta  $t_V \equiv AB$ , al punto  $B'' \equiv B$  le corresponde la recta  $t_B$  tangente a la cónica  $w$  en el punto  $B$ . De forma que lo primero que necesitamos es obtener la proyección ortogonal y la traza del plano tangente asociados a un punto cualquiera de la generatriz  $BV$  y en ese momento, hemos convertido el problema en el caso anterior.

Para ello, vamos a comenzar resolviendo el problema inverso: dada la traza  $t_R$  (que debe contener al punto  $B$ ) del plano tangente en un punto  $R$  de la generatriz  $BV$ , obtener la proyección ortogonal  $R''$  del punto de tangencia (Figura 4).

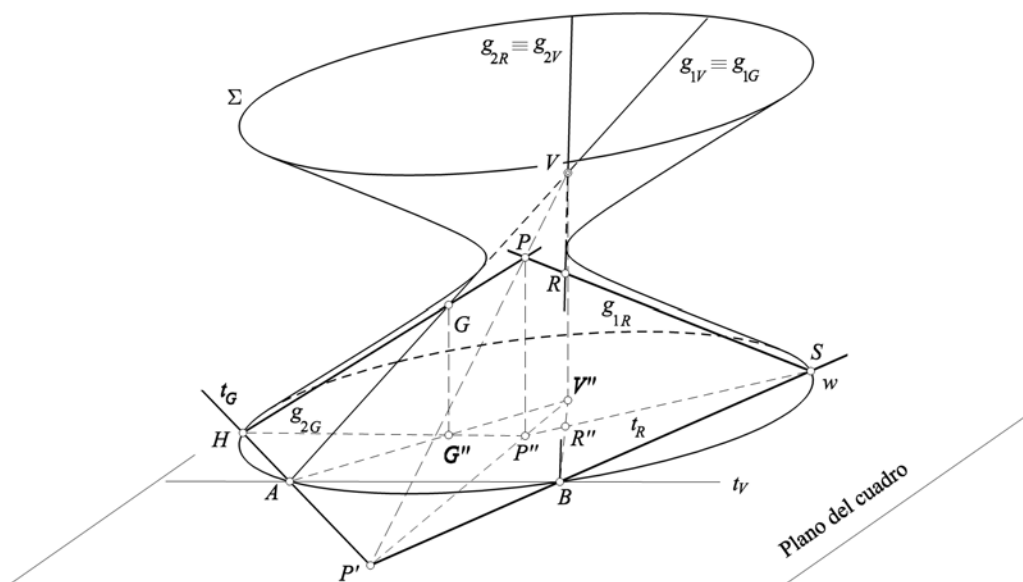


Figura 4

Por el punto  $R$  pasarán dos generatrices, la regla  $g_{2V} \equiv BV$  y una recta de la otra familia  $g_{1R}$ . Esta última cortará a la generatriz  $g_{2G}$  en un punto  $P$  de la cuádrica. Los planos tangentes en  $G$  y  $R$  se intersecan en la recta  $VP$ , ya que los dos puntos pertenecen a ambos planos. Entonces, la proyección estereográfica  $P'$  debe ser el punto de intersección de las trazas de los planos  $t_G$  y  $t_R$  tangentes a la cuádrica en  $G$  y  $R$ .

Por otro lado, al estar alineados los puntos  $P'$ ,  $P$  y  $V$  también lo estarán  $P'$ ,  $P''$  y  $V''$ . Además el punto  $P$  pertenece a la generatriz  $g_{2G}$ , luego su proyección ortogonal  $P''$  pertenecerá a  $g''_{2G} \equiv HG''$ . Podemos entonces obtener el punto  $P''$  como la intersección de  $P'V''$  con  $HG''$ .

La recta  $t_P$  cortará a la cónica  $w$  en un punto  $S$  que podemos calcular mediante el teorema de Pascal y que es el punto de corte con el plano del cuadro de la generatriz  $g_{1R}$ . Como en dicha generatriz se encuentran los puntos  $S$ ,  $P$  y  $R$ , sus proyecciones ortogonales  $S$ ,  $P''$  y  $R''$  también estarán alineadas. Podemos entonces calcular el punto  $R''$  como el de intersección de  $SP''$  y  $BV''$  (Figura 5).

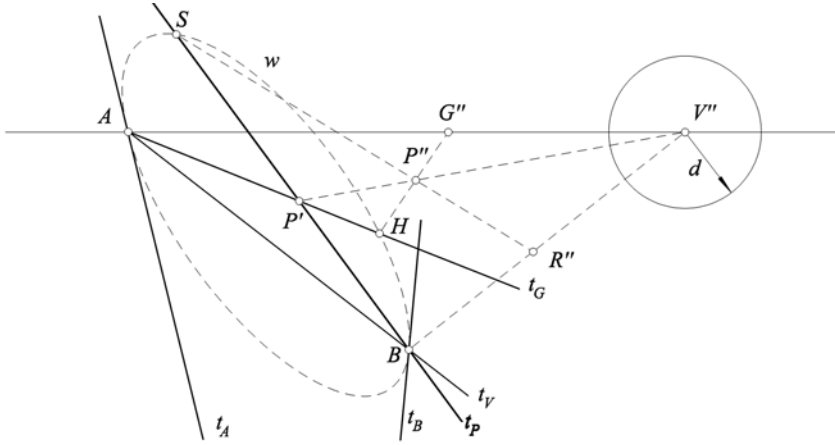


Figura 5

Resuelto el problema inverso, podemos resolver el directo. En primer lugar, tomemos una recta  $t_I$  cualquiera que pase por el punto  $B$  y consideremos que es la traza de un plano tangente en un punto  $I$  de la generatriz  $BV$ . Calculemos de la forma descrita la proyección ortogonal  $I''$  de dicho punto. Ahora ya tenemos datos suficientes para definir la correspondencia entre proyecciones ortogonales y planos tangentes: al punto  $V''$  le corresponde la recta  $t_V \equiv AB$ , al punto  $B'' \equiv B$  le corresponde la recta  $t_B$  tangente a la cónica  $w$  en el punto  $B$  y a la recta  $t_I$  le corresponde el punto  $I''$ . El problema directo se resolvería entonces igual que en el apartado 2, cuando el punto pertenecía a la generatriz  $AV$ . Con esto hemos demostrado la completa equivalencia entre ambas generatrices, tal y como comentamos en [6].

#### 4. Obtención de las generatrices y de la traza del plano tangente en un punto cualquiera de la cuádrica y su problema inverso

Las generatrices  $g_{1Q}$  y  $g_{2Q}$  que pasan por el punto  $Q$  de la cuádrica cortan, respectivamente, a las generatrices  $g_{2V}$  y  $g_{1V}$ . Por tanto, sus proyecciones estereográficas  $g'_{1Q}$  y  $g'_{2Q}$  pasarán por  $B$  y  $A$ , respectivamente. Además deben pasar por la proyección estereográfica del punto  $Q$ , por lo que  $g'_{1Q} \equiv BQ'$  y  $g'_{2Q} \equiv AQ'$ . El problema inverso es inmediato, ya que dadas las proyecciones estereográficas de dos generatrices  $g'_{1Q}$  y  $g'_{2Q}$ , el punto de intersección de ambas es la proyección estereográfica  $Q'$  del punto  $Q$  de la cuádrica que contiene a ambas (Figura 6).





$C$  y  $g_{1D}$  y  $g_{2D}$  a las generatrices que pasan por  $D$ . Sus proyecciones estereográficas serán entonces  $g'_{1C} \equiv BC$ ,  $g'_{2C} \equiv AC$ ,  $g'_{1D} \equiv BD$  y  $g'_{2D} \equiv AD$ . Los planos tangentes que admiten a  $t$  como traza son los formados por  $g_{1C}$  y  $g_{2D}$  por un lado y por  $g_{1D}$  y  $g_{2C}$  por otro. El primero es tangente a la superficie cuádrica en el punto  $P$  de corte de ambas generatrices y cuya proyección estereográfica es el punto  $P'$  de corte de  $g'_{1C}$  y  $g'_{2D}$ . Análogamente, la proyección estereográfica  $Q'$  del punto de contacto del segundo plano es el de corte de las rectas  $g'_{1D}$  y  $g'_{2C}$ .

El problema radica en hallar los puntos  $C$  y  $D$  de intersección de  $t$  con la cónica  $w$ . Para resolverlo, debemos definir la cónica  $w$  como intersección de rayos homólogos en una proyectividad. Si tomamos  $A$  y  $B$  como vértices de los haces, las parejas de homólogos que definen esta proyectividad son  $AH - BH$ ,  $AB - t_B$  y  $t_A - BA$ . Si cortamos estos dos haces con la recta  $t$  obtendremos dos serie de puntos superpuestas y proyectivas. Los puntos dobles de esta última proyectividad son los puntos  $C$  y  $D$  de intersección de la recta  $t$  con la cónica  $w$  (Figura 8).

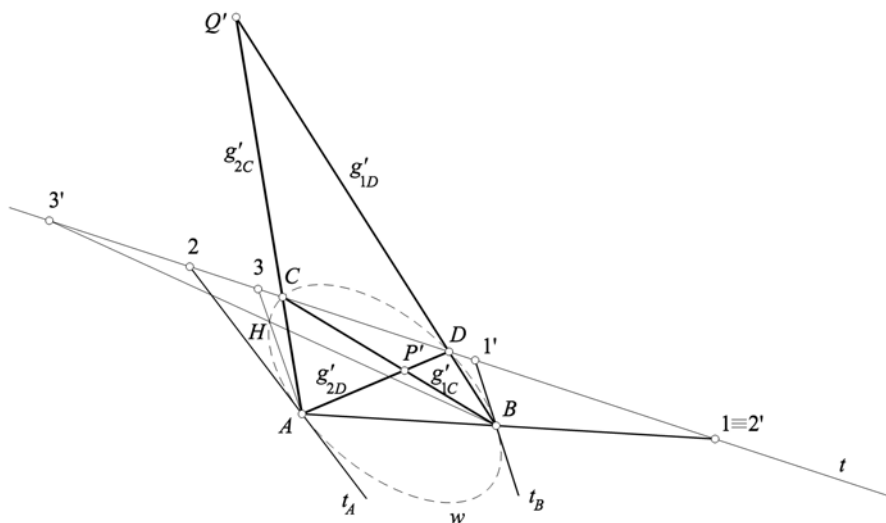


Figura 8

## 5. Obtención de la recta límite del plano tangente en un punto de la cuádrica y de los puntos límites de las generatrices que pasan por él

Como la proyección estereográfica de una cuádrica es un caso particular de proyección central conviene poder calcular los elementos que habitualmente definen las rectas y los planos en proyección cónica. Supongamos conocidas las proyecciones estereográficas del punto  $Q$  de la cuádrica, de las generatrices  $g_{1Q}$  y  $g_{2Q}$  que pasan por él, los puntos  $C$  y  $D$  donde estas generatrices cortan al plano del cuadro y, por tanto, la traza del plano tangente  $t_Q$ . Llamaremos  $L_{1\infty}$  al punto impropio de la generatriz  $g_{1Q}$  y  $L'_1$  a su punto límite. Análogamente  $L_{2\infty}$  será el punto impropio de la generatriz  $g_{2Q}$  y  $L'_2$  su punto límite. A la recta límite del plano tangente la denominaremos  $l'_Q$ . Sea  $P$  el punto de intersección de  $g_{1Q}$  y  $g_{2Q}$  (Figura 9).

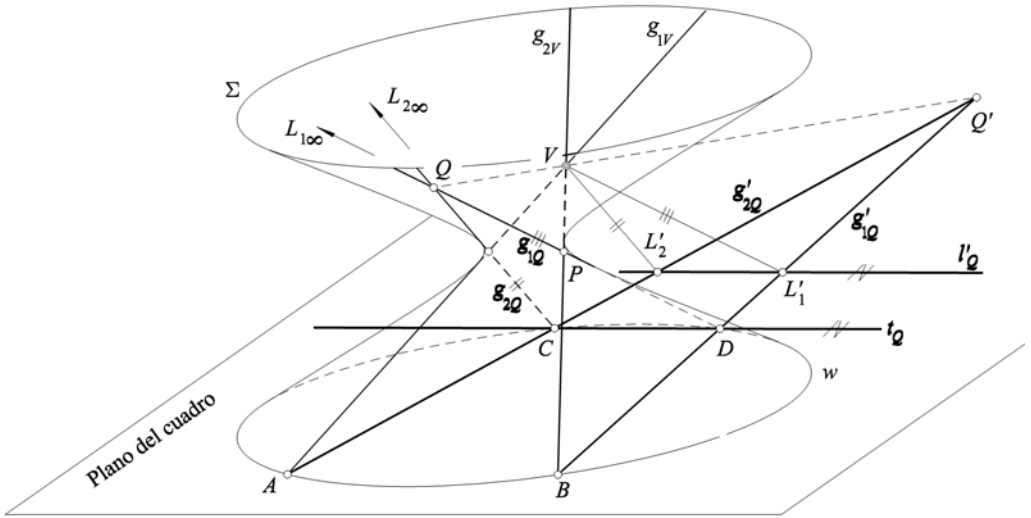


Figura 9

Tomemos el plano que forman las generatrices  $g_{1Q}$  y  $g_{2V}$ , cuya traza es la recta  $g'_{1Q}$ . Sobre las rectas  $g_{1Q}$  y  $g'_{1Q}$  existe una perspectividad cuyo centro es el punto  $V$ . En ella las parejas  $Q - Q'$ ,  $P - B$  y  $L_{1\infty} - L'_1$  son homólogas entre sí. Abatamos dicho plano sobre el plano del cuadro, tomando como charnela su traza. Esta perspectividad se mantiene en el plano abatido admitiendo como homólogos  $(Q) - Q'$ ,  $(P) - B$  y  $(L_{1\infty}) - L'_1$  (Figura 10).

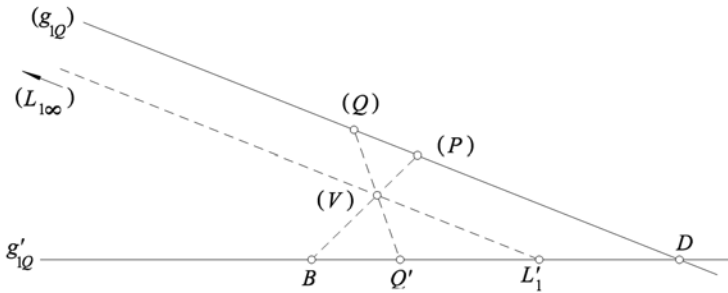


Figura 10

De esta perspectividad solo conocemos a priori la recta  $g'_{1Q}$ , y los puntos  $Q'$ ,  $B$  y  $D$  (punto de intersección de  $g_{1Q}$  y  $g'_{1Q}$ ). El abatido del punto de vista es prácticamente inmediato ya que conocemos su distancia  $d$  al plano del cuadro y su proyección ortogonal  $V''$ .

El punto  $P$  pertenece a la generatriz  $g_{2V}$  y hemos visto que este tipo de puntos están definidos mediante su proyección ortogonal o mediante la traza de su plano tangente. Como el plano tangente en  $P$  está definido por las generatrices  $g_{1Q}$  y  $g_{2V}$ , la traza  $t_P$  de su plano tangente es la recta  $BD$ . Apoyándonos en el segundo problema fundamental que hemos resuelto (apartado 3 de este trabajo), podemos calcular su proyección ortogonal  $P''$ . El punto  $(P)$  pertenece a la recta  $(g_{2V})$ , que pasa por  $B$  y  $(V)$  y

está situado en una ortogonal a la charnela por  $P''$ . Esta construcción, además de darnos ( $P$ ), nos facilita el cálculo de la distancia  $d_P$  del punto  $P$  al plano del cuadro.

La perspectiva ahora está completamente definida y sólo tenemos que calcular el punto  $L'_1$  que buscábamos como el homólogo de  $L_{1\infty}$ . Para finalizar, la recta límite  $l'_Q$  del plano tangente es paralela a  $t_Q$  por el punto  $L'_1$ . Hallamos el punto límite  $L'_2$  de  $g_{2Q}$  imponiendo que esta recta se encuentra en el plano tangente y, por tanto, su punto límite está en la recta límite del plano. Así, el punto límite  $L'_2$  es la intersección de las rectas  $l_Q$  y  $g'_{2Q} \equiv AC$  (Figura 11).

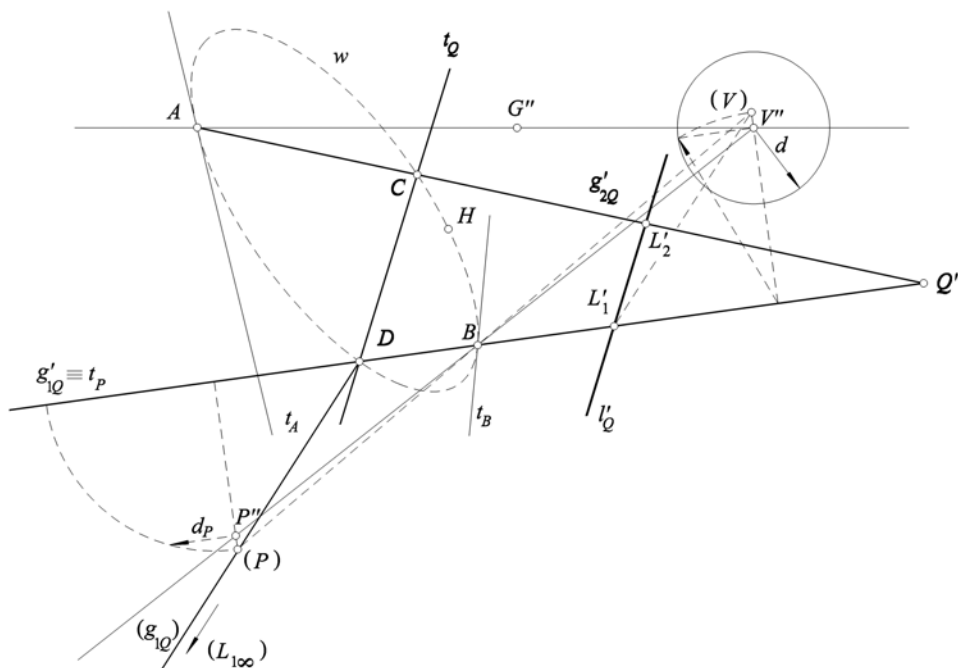


Figura 11

## 6. Obtención de la proyección ortogonal de un punto de la cuádrica y de su distancia al plano del cuadro

Es una continuación del problema anterior. En la perspectiva definida sobre  $(g_{1Q})$  y  $g'_{1Q}$  cuyo centro es  $(V)$  al punto  $Q'$  le corresponde  $(Q)$ . En este abatimiento obtenemos la distancia en verdadera magnitud entre el punto de vista y el punto  $Q$  y entre el punto  $Q$  y su proyección estereográfica  $Q'$ . Sólo es necesaria un homotecia sobre el plano  $QVV''$  que podemos abatir para obtener  $Q''$ . También obtenemos en este segundo abatimiento la distancia en el espacio entre el punto  $Q$  y el plano del cuadro (Figura 12).

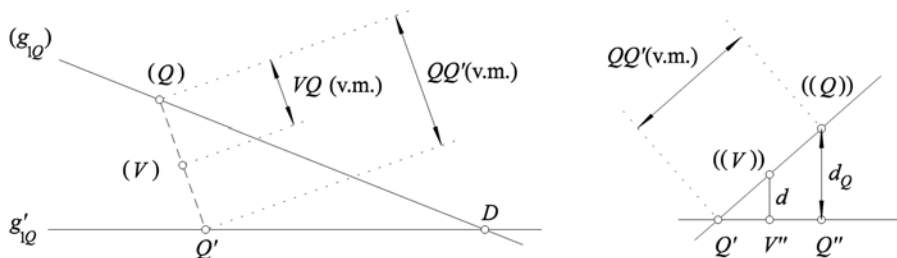


Figura 12

## Referencias

- [1] CHASLES, Michel. *Memoire sur les projections stéréographiques et sur les coniques homothétiques*. Annales de Mathématiques (1827 – 1828), Vol 18, pp. 305 – 320.
- [2] CHASLES, Michel. *Recherches sur les projections stéréographiques et sur diverses propriétés générales des surfaces du second ordre*. Annales de Mathématiques (1828 – 1829), Vol 19, pp 157 – 175.
- [3] DUPORCQ, E. *Premiers principes de Géométrie moderne*. 2ª edición. París: Éditions Jacques Gabay, 1995 (e.o. 1912), 173 pp.
- [4] PASCUAL ALBARRACÍN, Mª Esther.; PRIETO ALBERCA, Manuel. *Proyección estereográfica de cónicas pertenecientes a una cuádrica*. XV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica – XIII Congreso de ADM sobre Herramientas y Métodos de Diseño en Ingeniería. Nápoles: ADM, 2003.
- [5] PASCUAL ALBARRACÍN, Mª Esther.; PRIETO ALBERCA, Manuel. *Nueva demostración de una propiedad de las homologías*. XV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica – XIII Congreso de ADM sobre Herramientas y Métodos de Diseño en Ingeniería. Nápoles: ADM, 2003.
- [6] PASCUAL ALBARRACÍN, Mª Esther. *La proyección estereográfica de una cuádrica como sistema de representación (I): fundamentos y definición*. XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Zaragoza: INGEGRAF, 2004.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CURVED PHOTON MAPPING: BEYOND THE CURVED RAY TRACING ALGORITHM

MUÑOZ ORBAÑANOS, Adolfo; GUTIERREZ PEREZ, Diego; JIMENEZ  
CHAPRESTO, Eduardo; SERON ARBELOA, Francisco José;

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón  
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas  
Universidad de Zaragoza, España  
Grupo de Informática Gráfica Avanzada  
Correo electrónico: diegog@unizar.es

### RESUMEN

Algunos fenómenos naturales, como los espejismos, se deben a medios no homogéneos en los que el índice de refracción no es constante, y consecuentemente la luz sigue un camino curvo. Un método para simular Iluminación Global en medios no homogéneos es utilizando el algoritmo de trazado de rayos curvos, pero esta aproximación presenta varios problemas que deben ser resueltos. Este artículo presenta un algoritmo de trazado de rayos curvos así como una nueva aproximación para superar sus deficiencias, basado en técnicas de mapas de fotones. El resultado es un algoritmo al que llamamos mapa de fotones curvo, capaz de dar una solución completa al problema de la Iluminación Global.

**Palabras clave:** Renderizado, Iluminación Global, trazado de rayos curvos, mapa de fotones, fenómenos naturales, medios no homogéneos, realismo.

### ABSTRACT

Several natural phenomena, such as mirages, are owed to inhomogeneous media in which the index of refraction is not constant, and therefore light travels a curved path. One way to simulate Global Illumination in inhomogeneous media is using a curved ray tracing algorithm, but this approach presents some problems that need to be solved. This paper introduces both a curved ray tracing algorithm plus a new approach to overcome its shortcomings, based on photon mapping techniques. The result is an algorithm that we call curved photon mapping, capable of providing a full solution to the Global Illumination problem.

**Key words:** Rendering, Global Illumination, curved ray tracing, photon mapping, natural phenomena, inhomogeneous media, realism.

# 1. Introduction

Most of ray tracing algorithms make the assumption that light travels following a straight path. This approach works correctly when considering only homogeneous media (or no media, as outer space), although most of the media are in fact inhomogeneous to one degree or another. However, despite the fact that the medium that is being simulated might be inhomogeneous, most of the times the path of the light can be approximated by a straight path, but this imposes several restrictions on the effects that can be computed.

There are some natural phenomena, as mirages or the green flash, that are owed to media in which properties such as the temperature or the humidity are not constant, and therefore the refraction index varies from point to point. According to Fermat's principle, light traveling through a medium gets curved towards the areas with greater refraction index, so when traveling through inhomogeneous media light paths get invariably curved.

In order to render said phenomena a characterization of the atmosphere is needed, from which the refraction index at every point can be obtained. This paper deals with such atmospheric description.

In order to simulate the curved paths that a light travels, traditional ray tracing algorithms have been adapted using different approaches. All said approaches provide a solution for the problem of locating the intersection of a curved ray being cast from a point in any direction with the geometry of a scene, but none of them solves the problem of finding a curved path which is coherent with the medium and goes from one point to another in an efficient way. This is an important shortcoming because all ray tracing based algorithms need to cast shadow rays (or any similar calculations) which inherently need a path between two given points to be found, and consequently these are not full solutions for Global Illumination in inhomogeneous media.

This paper describes a Global Illumination solution, which completely supports inhomogeneous media and overcomes the deficiencies of curved ray tracing, by combining one of said approaches with photon mapping techniques.

# 2. Bibliographic revision

There are several examples that simulate the interaction of light in the atmosphere, such as the works of Musgrave [2] or Nishita [3]. There is also some previous work on curved ray tracing in inhomogeneous media. Berger and Trout [4] recreate mirages by subdividing the medium into various homogeneous layers, with a different index of refraction for each one. Musgrave [5] proposes a purely reflective model as the means of forming mirages, while Groeller [6] uses sources of nonlinearity such as gravity centers, gravity lines, chaotic systems and parametric curved rays. Stam and Languenou [7] propose a solution by obtaining the differential equation that describes the trajectory of the ray from the equation of the light wave. Finally, Serón et al. [8] describe a more general method, free of the restrictions that appear in the above papers, regarding the dependences of the index of refraction, and

solve the problem using the general equation, based on Fermat's principle, that describes the phenomenon.

### 3. Work development

Our work consisted on three main research fields. First of all, in order to apply Euler's method to solve the equation given by Fermat's principle as shown next, the index of refraction of the media should be completely defined at every point which is going to be checked by the numeric method. Nevertheless and obviously, those points are not known in advance, before applying Euler's method, so the index of refraction should be known at all the continuum of the media. Although simple approaches can be given, the goal is to simulate atmospheric effects, so the media that needs to be characterized is the atmosphere. We then need to come up with a way of calculating how light traverses this inhomogeneous atmosphere; we rely on Fermat's principle for that purpose.

Finally, the last goal of our work was to find a full solution to the Global Illumination problem at inhomogeneous media. As shown before all the previous solutions find important limitations at applying Fermat's principle for inhomogeneous media. We introduce here the curved photon mapping algorithm, which is a possible biased but consistent way of fully calculating Global Illumination in inhomogeneous media.

#### Atmosphere characterization

The atmosphere's properties are not static; they vary not only through space but also through time. Temperature and pressure obviously change; that is why some optic effects, such as mirages, can be seen only under certain conditions, and different phenomena are due to different values of the properties of the atmosphere.

Our approach to obtain an atmospheric profile starts from the USA Standard Atmosphere. It defines the pressure and temperature at different heights, through empiric graphs and tables. In order to obtain results that could provide useful for applying Fermat's principle, a continuous function is needed, so when some values at different heights have been set a function is obtained through lineal interpolation. The possibility of using some other kind of interpolation (maybe quadratic) is being considered, because some numeric methods to solve differential equations need not only the function to be continuous but also its derivate [16]. The density of the atmosphere is obtained directly from temperature and pressure from the perfect gas law, as said in [15]:

$$\rho = \frac{PM}{RT}$$

*Equation 1*

where  $\rho$  is the density we want to obtain,  $T$  is the temperature,  $P$  is the pressure,  $M$  is the mean mass of the molecules of a mixed atmosphere ( $28.96 \cdot 10^{-3}$  kg/mol typically) and  $R$  is the gas constant, 8.314510 J/mol·K.



To include also the wavelength factor, we use the Cauchy's approach:

$$n(\lambda) = a \cdot (1 + \frac{b}{\lambda^2}) + 1$$

*Equation 2*

where  $a$  and  $b$  are constants which depend on the medium. In case of air  $a = 28,79 \cdot 10^{-5}$  and  $b = 5,67 \cdot 10^{-5}$ .

Now we have density as a function of height (equation 1) and also refraction index as a function of wavelength (equation 2). To obtain the refraction index at any height and any wavelength we should combine both functions. We can do so applying Glastone-Dale principle, which says that refractivity (refraction index minus 1) is proportional to density, or, basically:

$$n(h, \lambda) = \rho(h) \cdot (n(\lambda) - 1) + 1$$

*Equation 3*

All the steps which have lead to equation 3 are based on the USA Standard Atmosphere, and consequently do not provide the special atmospheric conditions under which some phenomena can be seen. Any other condition, though, can be reproduced if instead of taking the initial pressure and temperature values from the USA Standard Atmosphere we use the pressure and temperature conditions which lead to the phenomenon we want to reproduce. To modify the USA Standard Atmosphere, we use Fermi's approach [20], which provides alterations of the atmosphere from parameters as temperature inversion layers, which are much more related to the atmospheric effects. Consequently, we can modify our standard atmosphere in such a way that we can first think about the phenomena we want to simulate and then make the changes on the atmosphere which will lead to the effect we were looking for.

## **Light in inhomogeneous media**

Ray tracing is a well-documented technique for generating synthetic imagery [9], and the nuts and bolts of a ray tracer can be learnt elsewhere. Basically, in backward ray tracing, a ray is shot from the eye into the scene until it reaches an object, and from that intersection point more rays are shot towards the lights to find the color of the pixel.

This works well for homogeneous media, where the light rays travel in a straight path. But the situation changes when using curved ray tracing: curving the eye ray until it reaches an object in the scene is conceptually simple. We do not know where each ray is going to end up after being curved by the medium, but we do not care either, since it will eventually hit some object or be lost in infinity, just as with straight ray tracing.

The problem arises when shooting additional rays from the intersection point to the lights. Even though we know both the start and end points of the ray, it is difficult to find a curve that passes through those two points while also obeying the nonlinearity caused by the inhomogeneous medium. Just shooting rays hoping one

will eventually hit the light is obviously very ineffective. This is a problem similar to computing caustics by using path tracing or any other backward ray tracing method. Caustics are concentrated light reflections on diffuse surfaces caused by refraction through transparent surfaces, and to simulate them in the image it would be necessary to trace a random ray from a diffuse surface, and have the ray interact with several specular surfaces and then hit the light. Arvo [10] first introduced forward ray tracing to simulate caustics, while bidirectional path tracing [11] [12] combines both backward and forward ray tracing by generating some path vertices starting from the light sources and from the eye.

However, all these techniques would fail again (or be too computationally expensive) in an inhomogeneous media. Shooting rays from the objects to the eye in forward ray tracing, or obtaining shadow rays in bidirectional path tracing would face the same basic problem as with backward ray tracing: to find a curve that passes through two given points while obeying the nonlinearities of the medium.

Groeller proposes several solutions to this problem in [6]: the first one supposes that the light rays are only curved from the eye to the intersection point, but travel in a straight line from the intersection point to the light source. The second solution consists in assigning color to the intersection point regardless of the light sources, for instance by using textures with the illumination already pre-calculated. These are obvious simplifications that will work well for general image synthesis, but do not reflect the physics of the system. Another idea is to voxelize the space and get the approximate direction of incoming light by shooting light rays through the voxels from each light, saving the results in a pre-computed structure. As far as the authors know, there is not much more literature regarding this problem.

As a starting point to implement our curved ray tracer, we use the same approach as Serón et al. [8], so we take Fermat's principle [13], which can be formulated as "light, in going between two points, traverses the route  $l$  having the smallest optical path length  $L$ ". The optical path  $L$  is defined as the index of refraction times the traveled path. In its differential form, it can be written as  $dL=ndl$ . According to Fermat's principle, the optical path along a light ray trajectory must be a minimum, therefore  $\delta L=0$ , where  $\delta L$  is given by:

$$\delta L = \delta \int_A^B n dl = \int_A^B \delta n dl + \int_A^B n \delta(dl) = \int_A^B \frac{\partial n}{\partial x_i} \delta x_i dl + \int_A^B n \delta(dl)$$

*Equation 4*

where  $x_i$  are the components of  $l$ . Given that  $dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ , considering  $dx_i$  as variables and taking increments we get:

$$\delta(dl) = \frac{dx_i}{dl} \delta(dx_i)$$

so that equation 4 results:

$$\int_A^B n \delta(dl) = n \frac{dx_i}{dl} \delta x_i \Big|_A^B - \int_A^B \delta x_i \frac{d}{dl} \left( n \frac{dx_i}{dl} \right) dl$$

*Equation 5*

Since the different considered trajectories start in the fixed points  $A$  and  $B$ ,  $\delta x_i(A) = 0$  and  $\delta x_i(B) = 0$ , so equation 5 results as follows:

$$\delta L = \int_A^B \left[ \frac{\partial n}{\partial x_i} - \frac{d}{dl} \left( n \frac{dx_i}{dl} \right) \right] \delta x_i dl = 0$$

*Equation 6*

This equation must be true for any value of  $\delta x_i$ , which lets us come up with the equation to obtain the trajectory of a light ray in an inhomogeneous medium with a known index of refraction, which is:

$$\frac{d}{dl} \left( n \frac{d\vec{r}}{dl} \right) - \nabla n = 0 \leftrightarrow \frac{d}{dl} \left( n \frac{dx_j}{dl} \right) - \frac{\partial n}{\partial x_j} = 0 \quad (j=1,2,3)$$

*Equation 7*

where  $l$  is the length of the arc,  $n$  is the index of refraction of the medium and  $\vec{r} = x_j$  with  $(j=1,2,3)$  are the coordinates of the point. If the index of refraction is known for every point of the medium, we first calculate that index and the slope of the curve at step  $i$ , advance  $\Delta l_i$  along the direction of the tangent to reach step  $i+1$ , and calculate the new index of refraction and tangent again. To calculate the direction of the tangent we first obtain a numerical approximation by discretizing the equation, effectively replacing differentials by increments. We then apply Euler's method [16] to the equation and the Richardson's extrapolation algorithm to select an optimum integration step for each instant, given an estimate of the tolerable error. The process ends when we get to the intersection point of the path of the ray with an object.

## **Curved photon mapping**

We have seen how curved ray tracing encounters a serious problem when shooting rays from the objects to the lights. The problem is inherent to backward ray tracing in inhomogeneous media. If we used forward ray tracing, curving rays from the lights to the objects would be feasible, but the symmetric problem would appear again when going from the objects to the eye. Since neither a pure backward nor forward ray tracing solution seems viable for inhomogeneous media where rays get curved, we sought a combined approach, based in photon mapping techniques.

Photon mapping is a two-pass algorithm [14]. In the first pass photons are shot from each light into the scene, and traced as they interact with the geometry. In each collision, the Russian roulette algorithm decides whether each photon is absorbed, reflected or transmitted. When the photon hits a diffuse material, it is stored. The data structure that stores all these photons is called the photon map. The second pass consists on a modified ray tracing algorithm, but instead of shooting shadow rays, radiance is estimated from the nearest stored photons around the intersection point.

Specular reflections are obtained by standard ray tracing, since the probabilities of a photon being reflected in the exact specular direction towards the eye are infinitesimal.

The photon mapping algorithm allows a full global illumination simulation, including color bleeding and caustic generation (neither of which can be obtained by traditional recursive ray tracing). Even though Monte Carlo path tracing is an unbiased algorithm that also allows to obtain a complete solution, the resulting images show artifacts in the form of high-frequency noise, due to the random directions chosen for the paths of the rays, and its convergence is slow: to halve the error we need to compute four times as many samples. Photon-mapping-based images are on the contrary free of high frequency noise, and are in general more efficiently obtained than path tracing or radiosity. The trade-off is that the method is no longer unbiased, but it is nevertheless consistent.

On the other hand, the direct illumination is more accurately computed through ray tracing, by sending shadow rays towards the lights and testing for occlusions by other objects in the scene. As a consequence, the practical approach proposed by Wann Jensen in [11] uses two maps, one for caustics and the second one for indirect illumination only.

Our solution to obtain a full global illumination solution in inhomogeneous media is based on exploiting this independency between light propagation (photon casting and tracing, first pass) and visibility determination (ray tracing, second pass). This idea is implemented by the curved photon-mapping algorithm. It works almost the same way than the standard photon-mapping algorithm, but by using Fermat's principle and solving equation 7 for both photons and ray tracing, it can handle inhomogeneous media as well. It is then also a two-pass algorithm: first, the path of each emitted photon is curved as it is being traced throughout the scene, using equation 7. Storing the photons (which paths have now been curved) on diffuse surfaces follows the same process as though the photons had not been curved. Two maps are used in the current version of this technique: a caustics photon map, to represent caustics in a more efficient way using projection maps, and a second photon map to represent both direct and indirect illumination, excluding caustics. We have named this second map the diffuse photon map.

During the second pass, the rays traced from the eye are also curved using again equation 7. To account for direct illumination, no shadow rays are shot towards the lights; instead, the total radiance is estimated by using the diffuse photon map where both direct and indirect hits have been stored. This way, we overcome the main shortcoming of the previous curved ray tracing algorithms: having to find the curved shadow ray that links the intersection point and the light while obeying the nonlinearities of the medium, which, as said before, is not possible to calculate in a reasonable time.

## Results

By combining curved ray tracing and curved photon mapping, we obtain a full global illumination algorithm that can reproduce effects like color bleeding or caustics in inhomogeneous media, solving the problem of having to shoot curved shadow rays. This is a step forward over traditional Monte Carlo or curved ray tracing, neither of which can simulate these effects, or at least not within reasonable computational limits.

In order to accelerate the computing of the photon map, a projection map has been used [14]. We, however, use a more conservative map. Instead of just casting rays from the lights through the centre of each cell of the projection map and see if it hits any surface, rays are cast through the corners of the cells. The cell will be active if any of the rays cast through each of its corners hits any surfaces. Note that this is equivalent to using a map with a smaller grid.

The atmosphere has been characterized, so its index of refraction can be obtained in any specific point. Also, wavelength is taken into consideration, as well as temperature and pressure, and consequently its properties can be changed to simulate some effects which only appear under special atmospheric conditions.

The next figures show the results obtained so far. Figures 1, 2 and 3 show different atmospheric phenomena simulated with curved ray tracing. Figure 4 shows illumination in a inhomogeneous medium in which there is an extremely hot layer on the ceiling of the room. Photon paths and rays are curved. The resulting curved photon map can be seen in Figure 5.



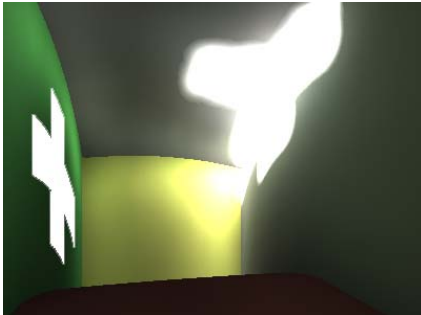
*Figure 1: Double sun*



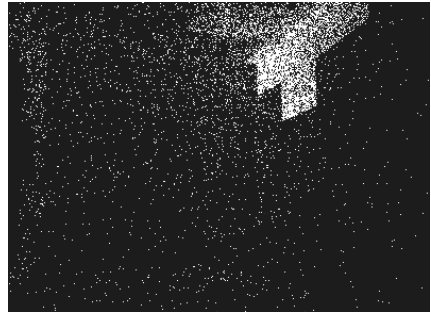
*Figure 2: Split sun*



*Figure 3: Flattened sun*



*Figure 4: Hot layer on the top.*



*Figure 5: Photon map corresponding to figure 4*

## 4. Conclusions

Curved photon mapping is a full Global Illumination algorithm that can handle homogeneous and inhomogeneous media. Both photons and rays are curved using Fermat's principle. To avoid having to find shadow rays, the direct illumination is computed from the diffuse photon map, which stores both direct and indirect diffuse hits.

The results obtained so far show the viability of the approach. The photon map makes this a biased solution, but on the other hand is consistent.

### Future work

As the system gets refined over time, we nevertheless plan to generate more complex images that mimic some natural phenomena impossible to simulate with standard ray tracing in homogeneous media. Also we want to render images in which the wavelength dependence in the atmosphere can be seen.

Regarding the curved ray tracer, we would like to use a more computationally efficient method to solve equation 7, such as using a pair of embedded Runge-Kutta methods instead of Euler's.

Curved photon mapping seems also easy to integrate with volume photon maps and ray marching for subsurface scattering and other effects involving participating media, again computing direct illumination using the diffuse map. Possible areas of interest are underwater imagery or driving simulators where the effects of fog need to be accounted for while simulating visibility.

Finally, given the fact that finding all the curved paths of both photons and rays is computationally very expensive, optimization strategies are specially important. Our current system only supports projection maps, although other standard optimisation techniques such as irradiance caching or importance sampling are also being developed. Another line of future work to reduce the rendering times implies the parallelization of the code to be run on a Beowulf system.

### Acknowledgements

The authors would like to thank Guillermo Gutiérrez, who wrote the original curved ray tracer from which this research has continued.

This research was partly done under the sponsorship of the Spanish Ministry of Education and Research through the projects TIC 2000--0426--P4--02, and TIC 2001--2392--C03--02.

### Bibliography

- [1] M. G. J. Minnaert, *Light and color in the outdoors*, Springer-Verlag, 1993.

- [2] F. K. Musgrave, *Methods for realistic landscape rendering*, PhD. Thesis, Yale University, 1993
- [3] T. Nishita, *Light scattering models for the realistic rendering of natural scenes*, Proceedings of rendering Techniques '98, pag. 1-10, 1998.
- [4] M. Berger, T. Trout. *Ray tracing mirages*, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 11(5):36-41, may 1990.
- [5] F. K. Musgrave. *A note on ray tracing mirages*, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 10(6):10-12, 1990.
- [6] E. Groeller. *Nonlinear ray tracing: visualizing strange worlds*, Visual Computer 11(5):263-274, Springer Verlag, 1995.
- [7] J. Stam, E. Languenou, *Ray tracing in non-constant media*, Proceedings of Rendering Techniques '96, pp. 225-234, 1996.
- [8] F.J. Serón, D. Gutiérrez, G. Gutiérrez, E. Cerezo, *An implementation of a curved ray tracer for inhomogeneous atmospheres*, submitted to ACM Transactions on Graphics, 2002.
- [9] A. S. Glassner, *An introduction to ray tracing*, Academic Press Inc., 1989.
- [10] J. Arvo, *Backward ray tracing*, in *Developments in ray tracing*, SIGGRAPH '86 Sseminar Notes, volume 12, 1986.
- [11] E. P. Lafortune, Y. D. Willems, *Bidirectional path tracing*, in *Compugraphics '93*, pp. 95-104, 1993
- [12] E. Veach, L. Guibas, *Bidirectional estimators for light transport*, in *Fifth Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 147-162, 1994.
- [13] S. A. Glassner, *Principles of digital image synthesis*. Morgan Kauffman Publishers, Inc. ISBN 1-55860-276-3. 1995.
- [14] H. W. Jensen, *Realistic image synthesis using photon mapping*, AK Peters, ISBN 1-56881-147-0. 2001
- [15] Dan Bruton, *Optical determination of atmospheric temperature profiles*, submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University, 1996.
- [16] Richard L. Burden, J. Douglas Faires, *Análisis numérico*, Grupo Editorial Iberoamericana, ISBN. 968-7270-09-8



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ESTABLECIMIENTO DE LA CADENA DE COTAS FUNCIONALES EN CONJUNTOS MECÁNICOS

SERRANO MIRA, Julio; ROMERO SUBIRÓN, Fernando; BRUSCAS BELLIDO, Gracia M<sup>a</sup>

Universidad Jaume I de Castellón, España  
Departamento de Tecnología  
Correo electrónico: jserrano@tec.uji.es

### RESUMEN

El acotado funcional de un mecanismo requiere de dos tareas principales: buscar la cadena de cotas para cada condición funcional (especificación de tolerancias) y repartir el campo de dimensiones y tolerancias de la condición entre esas cotas (distribución de tolerancias).

En este trabajo se propone una metodología aplicada al caso unidireccional, que, mediante el empleo de grafos, permite encontrar fácil y sistemáticamente la cadena de cotas funcionales sobre la que realizar la distribución de tolerancias dimensionales. Procedimiento que, al utilizar un método lógico y secuencial, es de fácil aprendizaje y de implementación sencilla en un programa informático, adaptable como módulo a un sistema CAD. Además, la metodología propuesta posibilita tratar ciertas tolerancias geométricas al utilizar el concepto de "zona de tolerancia" introducido en la informe ISO/TR 14638-1995 /GPS.

**Palabras clave:** Especificación y distribución de tolerancias, acotado funcional, zona de tolerancia

### ABSTRACT

Mechanism functional dimensioning and tolerancing requires two main tasks: find the dimension and tolerance chain for each functional requirement (tolerance specification) and distribute its available range among these dimensions (tolerance allocation).

In this work a methodology is proposed and applied to the unidirectional case. Through the use of graphs, the methodology allows to find, easily and systematically, the dimension chain in order to distribute the size tolerances. The procedure uses a logical and sequential method, so that it is easy to learn and implement in a software application adaptable to a CAD system. Furthermore, the proposed methodology allows the analysis of some geometric tolerances, since it uses the "tolerancing zones" concept introduced in ISO/TR14638-1995 /GPS report.

**Key words:** Tolerance specification, tolerance allocation, functional D&T, tolerancing zone.



# 1. Introducción

El funcionamiento de un mecanismo o conjunto mecánico depende del tamaño del ajuste de las uniones o juntas existentes entre las piezas. Sin embargo, durante mucho tiempo y aún hoy, el tratamiento de las tolerancias ha sido una de las actividades más difíciles y menos entendidas. Parece inexplicable que los Centros Educativos y las Asociaciones Profesionales no hayan dedicado a este tema ni la centésima parte de la atención que han merecido otras técnicas de la Ingeniería de análisis o síntesis (cinemático, resistente, tribológico, etc.), cuando es un tema tan trascendente para la puesta en mercado de productos o bienes de equipo competitivos.

Este déficit ha dado lugar a que la mayoría de las compañías españolas no tengan clara la metodología a utilizar para especificar tolerancias. Actualmente, casi todos los diseñadores todavía utilizan su intuición y experiencia y, sólo en contadas ocasiones, siguen reglas generales o procedimientos específicos. En consecuencia, la mayoría de los diseños no contienen todas las tolerancias funcionales relevantes, se asignan tolerancias estrechas y costosas e, incluso, pueden aparecer inconsistencias.

La actividad de especificar y asignar tolerancias a las piezas, de forma que se respete el contrato funcional del producto (acotado funcional), exige el dominio de técnicas de análisis y síntesis de tolerancias. Estas técnicas, apoyadas en el concepto de “cadenas de cotas y composición de tolerancias” y utilizando un tratamiento estadístico o del peor caso, permiten estudiar tanto el efecto de varias dimensiones en una holgura crítica, como transferir esta condición a las tolerancias de las cotas que la afectan. Normalmente, este tratamiento se aborda en una dimensión (“cadena lineal”) por ser un recurso que permite resolver problemas simplificados, que en realidad requerirían de un tratamiento en 2 ó 3D.

En este trabajo, con el propósito de mejorar la especificación y asignación de tolerancias funcionales, se propone un método manual, sistemático e intuitivo que permitirá acercarse a la resolución de estos problemas complejos sin necesidad de utilizar aparatos matemáticos complicados o extensos. El método, al expresar una condición funcional mediante una ecuación matemática, permite asignar (distribuir) tolerancias en función de criterios de costes de producción. Además, cabe destacar la facilidad de programación del procedimiento expuesto, característica que permitiría su incorporación como módulo en un sistema CAD, habiendo sido en la actualidad implementado como programa independiente.

# 2. Revisión Bibliográfica

En el campo de la acotación funcional destaca la labor de la escuela francesa, que permitió la elaboración de la única norma específica sobre acotación funcional (AFNOR [1]). Este interés se observa en la incorporación de bloques temáticos en los estudios universitarios de ingeniería y de postgrado y, sobre todo, en el hecho de que a finales de los 90 el Estado Francés lanzara un programa nacional de formación de profesores expertos en acotación funcional y tolerancias, dirigido a 17.000 docentes, que demuestra la importancia dada a estos temas.

Uno de los pioneros e importantes trabajos es el de Pasquet et al. [2] que establece conceptos relativos a la acotación geométrica, de definición, funcional, de fabricación, e introduce el acotado funcional en los dibujos de definición de las piezas. En 1971, Ropion [3], también francés, publica un libro sobre acotación funcional que hoy día es considerado como obligada referencia.

Trabajos más recientes son los de Scheneider y Remmy-Vincent [4], que modelando mecanismos mediante grafos plantean el establecimiento del acotado funcional de un modo sistemático para el caso unidireccional. La aplicación práctica del modelo la realiza Serrano [5] en LURPA de Cachan (París), uno de los centros de investigación más activos en estos temas y su relación con fabricación.

En España, la primera publicación importante en este tema es la de Brusola et al. [6] en 1986, que toma como punto de partida los trabajos franceses, al igual que el trabajo de Romero [7] orientado a la formación industrial. Un avance importante en la sistematización del proceso es el presentado por Serrano y Romero [8], en donde se realiza el acotado funcional de un mecanismo y, mediante la definición de su plan de fabricación, se obtiene el acotado de fabricación a partir del funcional con reparto optimizado de la variabilidad de la condición funcional, llevando a cabo una primera implementación. Ciurana [9] propone un algoritmo implementable en sistemas CAD que permite obtener la acotación funcional unidireccional de un mecanismo.

En el campo de la acotación funcional de mecanismos en 3D destacan los trabajos de Ballu y Mathieu [10], en donde presentan una metodología basada en grafos para la realización de la acotación funcional orientado a su utilización en docencia, enmarcado en el plan nacional francés mencionado anteriormente. Serrano et al. [11] proponen una formulación matricial de las cadenas de cotas funcionales y el establecimiento de reglas, mediante la cual se analiza la bondad de un acotado funcional: tanto a nivel de especificación de cotas como de asignación de tolerancias. El interés por la acotación funcional se refleja por la celebración en 2000 en Bilbao del "III Seminario Italo – Español de Diseño" un seminario exclusivamente dedicado a la acotación funcional, y organizado por INGEGRAF en colaboración con ADM.

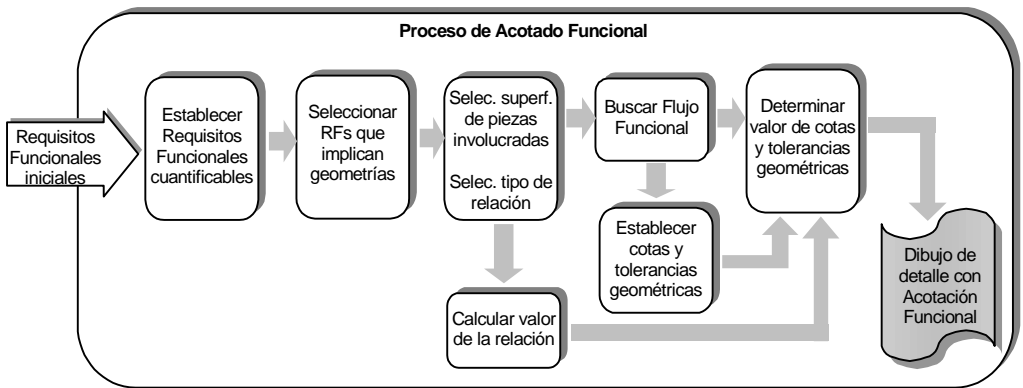
### **3. El Proceso de Acotado Funcional**

Acotar funcionalmente una pieza consiste en seleccionar de entre sus diversas dimensiones y características geométricas aquellas que expresan directamente las condiciones de aptitud del producto para la utilización prevista, asignándoles, de forma razonada, un valor nominal (cota dimensional o angular), unas tolerancias (dimensionales y geométricas) y una rugosidad. No establece a priori el procedimiento de fabricación, pero la asignación eficiente de las tolerancias se debe realizar valorando la dificultad de obtención de las diferentes características.

En el proceso de acotado funcional de un producto mecánico se pueden establecer las siguientes etapas, esquemáticamente mostradas en la Figura 1:

1. A partir de los requerimientos exigidos a un mecanismo en su concepción inicial, obtener las condiciones funcionales cuantificables en términos ingenieriles.

2. Para cada condición funcional, deben encontrarse las superficies de las piezas involucradas directamente en la condición, y establecer el tipo de relación entre ellas (ajustes, formas, orientaciones, rugosidad, etc.), a escala cualitativa.
3. Calcular el valor de los parámetros que definen las relaciones anteriores, para que el mecanismo tenga la máxima probabilidad de funcionar correctamente.
4. Buscar el flujo funcional, o sea, la secuencia de superficies y piezas que son activas para la condición. Partiendo de él, establecer las cotas y tolerancias geométricas a indicar sobre cada pieza (cotas y tolerancias funcionales).
5. A partir de los valores de las condiciones calculados en (3), y tomando los flujos funcionales obtenidos en (4), determinar los valores de las tolerancias y otras especificaciones que se han de imponer.



*Figura 1: Esquema del proceso de Acotado Funcional.*

Las tres primeras tareas resultan de capital importancia, pues de su correcta realización depende en gran medida la funcionalidad y el coste final: establecer erróneamente las restricciones geométricas o sus valores, puede provocar bien el no-funcionamiento del mecanismo, bien un coste excesivo al sobre-restringir la solución adoptada estableciendo limitaciones innecesarias o demasiado estrechas.

De las cinco tareas expuestas para este proceso, se propone una metodología que abarca las dos últimas, consistente en la búsqueda y escritura de la cadena funcional de cotas y características geométricas (especificación de tolerancias), y la asignación de valores basándose en criterios de fabricación-ensamblaje e inspección sobre todo.

#### **4. El Acotado Funcional de Mecanismos: Aplicación Unidireccional**

La metodología presentada a continuación permite obtener el acotado funcional unidireccional en un mecanismo a partir de las condiciones funcionales geométricas exigidas al mismo, establecidas como relaciones/restricciones entre pares de superficies. El procedimiento se aplica analizando posiciones extremas del mecanismo, esto es, cuando se analiza una condición el mecanismo debe de estar en una posición extrema que coincide con aquella configuración en la cual la condición presenta un estado crítico de incumplimiento.

## Modelo de tolerancias

Una tolerancia se define como "el margen de variabilidad aceptado en una especificación respecto a su valor objetivo". Es necesario modelar esta variabilidad de la geometría para realizar su tratamiento. Hay dos alternativas de especificación:

- Por dimensión: Se fijan los límites de una magnitud de tipo dimensional o angular respecto a un elemento ideal o entre elementos ideales, pudiéndose añadir posteriormente una limitación de la forma geométrica.
- Por zona de tolerancia: Se define un espacio denominado "zona de tolerancia" dentro del cual se debe encontrar el elemento especificado. Este espacio representa un volumen limitado por dos superficies o líneas ideales.

En la metodología propuesta, se utiliza la "Especificación por zona de tolerancia". Al realizarse en una única dirección de análisis, se supondrá como zona de tolerancia un intervalo lineal según esta dirección, y como variabilidad de un elemento (superficie, eje, recta) su proyección sobre la dirección de análisis. Así, esta zona de tolerancia engloba los errores dimensionales o de posición y los de forma.

## Relaciones entre piezas y condiciones funcionales

Las piezas que forman un mecanismo deberán montarse manteniendo una serie de relaciones entre pares de superficies. Estas relaciones determinarán la posición relativa de las piezas dentro del conjunto y limitarán tanto el montaje como el funcionamiento del mismo. En esta propuesta, las relaciones entre superficies se reducen a tres tipos:

- Relación de contacto posible (cp)*: Implica que las superficies involucradas pueden estar en contacto en alguna configuración del mecanismo. Esto ocurre en la condición funcional de montaje, que exige una condición de separación  $\geq 0$ .
- Relación de contacto impuesto (ci)* o contacto permanente: Exige que dos superficies de piezas diferentes permanezcan siempre en contacto. El *ci* se asegura tecnológicamente por: un montaje (tornillo, bulón, ...), un elemento deformable (resorte,...), o un fenómeno mecánico (acción de un fluido, fuerzas de inercia,...), magnético, etc.
- Relación de interferencia (ca)*: Se da entre dos piezas, una contenida en la otra, y supone el contacto permanente de los dos pares de superficies con un desplazamiento por deformación del material. Deriva de la condición de apriete, caracterizada por dos valores: apriete máximo y mínimo.

Las *cp*, *ci* y *ca* establecen relaciones entre piezas del mecanismo (contactos a nivel de superficie) que sirven para buscar los flujos funcionales, como se verá.

Sobre el mecanismo habrá impuestos un conjunto de requisitos funcionales, que definirán su funcionamiento. En general, un requisito funcional establecerá una *relación de separación* entre dos superficies en alguna de sus configuraciones, pertenecientes a una misma pieza o bien a diferentes piezas. Normalmente, cada requisito funcional se analizará en una de las posiciones extremas del mecanismo, que

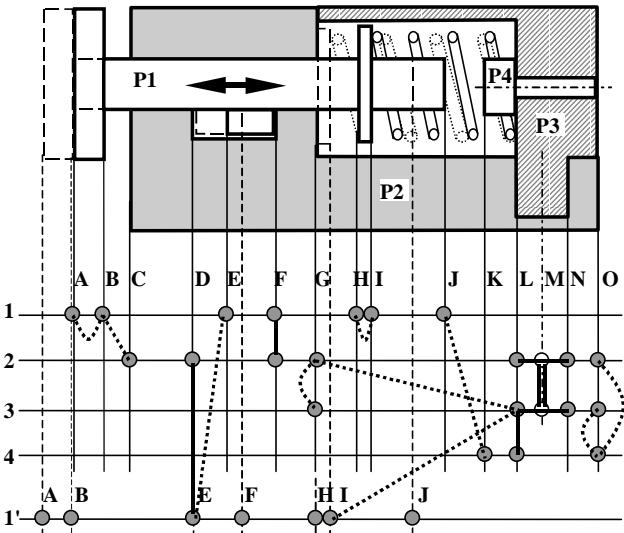
coincidirá con aquella configuración que es crítica para el cumplimiento de la condición funcional. Para el caso de los aprietes, habrá que tener en cuenta la posición relativa entre superficies antes del montaje y suponer que después del mismo, las piezas que forman el ajuste quedan centradas. El análisis del desplazamiento que el mecanismo realiza en una dirección puede reducirse a una relación de separación entre dos superficies, con la salvedad de que deberán tenerse presentes las configuraciones del mecanismo antes y después del desplazamiento.

A estos requisitos funcionales que gobiernan el funcionamiento del mecanismo, se añaden los posibles requisitos de montaje. Es más, todas las relaciones de contacto (posible o permanente) llevan implícitas una condición o requisito de montaje.

**Grafo mecanismo**

El denominado *grafo mecanismo* representa el modelo del mecanismo, incluyendo la geometría de las piezas, las relaciones entre ellas y las condiciones funcionales. En este trabajo, se propone la construcción del grafo siguiente (figura 2):

- El grafo es unidireccional, proyectándose las superficies siguiendo la dirección normal a la de análisis.
- A cada pieza se le asocia un referencial materializado por un eje paralelo a la dirección de estudio e identificado por el número de la pieza.
- Cada superficie se referencia por una línea vertical perpendicular a la dirección de estudio y se identifica mediante una letra mayúscula, que será la misma para aquellas superficies coincidentes en el dibujo. La pertenencia de una superficie a una pieza se representa con un punto en la intersección de la línea de superficie con el referencial de la pieza.



Elementos del grafo mecanismo:

- 5 líneas horizontales que representan las piezas del mecanismo. La pieza 1 tiene asignadas 2 líneas, cada una correspondiente a una configuración del mecanismo.
- Líneas verticales y letras mayúsculas representando las superficies de las piezas.
- 2 relaciones de cp entre las piezas P1 y P2 (según la configuración).
- 1 relación de ci entre las piezas P3 y P4.
- 1 relación de ca entre las piezas P2 y P3.
- 10 requisitos funcionales representados por las líneas a trazo discontinuo.

Figura 2: Grafo de un mecanismo con cuatro piezas y diez requisitos funcionales.

–Las relaciones entre piezas se representan del siguiente modo:

- Relaciones cp o ci, mediante una línea de trazo grueso vertical que une las dos superficies (las dos líneas horizontales) en contacto entre las piezas en cada una de las configuraciones del mecanismo.
- Relaciones ca, mediante un símbolo constituido por una línea de trazo doble dibujada en la vertical que coincide con el eje de las piezas que forman el apriete, y por dos líneas a trazo grueso horizontales que unen las superficies del extremo del apriete en ambas piezas.

–Los requisitos funcionales se representan por una línea a trazo discontinuo que une los puntos correspondientes de las superficies funcionales sobre el grafo mecanismo.

## **Flujo funcional y mecanismo de búsqueda**

Un *flujo funcional* (FF) es un camino cerrado entre las dos superficies funcionales sobre las que se establece una condición dada, constituyendo la secuencia de superficies y piezas implicadas. De él se obtiene la cadena de cotas y, al ser ésta una representación vectorial, el FF debe procesarse como un camino orientado.

El FF vincula la superficie de partida (la de la izquierda) con la superficie de llegada (la de la derecha) para una condición. Para buscar un FF ligado a una condición, se parte de la superficie de partida, buscando sobre el grafo mecanismo todos los caminos que permitan alcanzar la superficie de llegada, pasando de una pieza a otra (desplazamiento vertical en el grafo) a través superficies en contacto en la actual configuración del mecanismo y haciéndolo a lo sumo una vez por cada pieza. Los desplazamientos horizontales establecen el cambio de superficie en una misma pieza. En el caso de piezas de revolución, con su eje establecido, el paso se hace de la superficie en contacto hasta el eje de revolución.

Es de reseñar que para una misma condición funcional pueden darse varios flujos funcionales, lo que implica varias cadenas de cotas que se han de cumplir simultáneamente, aunque una de ellas suele ser más restrictiva. Además, pueden aparecer en el total flujos redundantes.

## **Cadena de cotas**

La formalización de las cadenas de cotas se realiza estableciendo las relaciones de cotas según las directrices de formación de la normativa AFNOR E04-550 [2]. La cadena de cotas es una relación entre la condición funcional y un conjunto de cotas, llamadas componentes, que permite el cumplimiento de la condición. La formación de la cadena de cotas es vectorial, por lo que las cotas tienen dirección y sentido. Estas se obtienen a partir de cada flujo funcional según se indica a continuación.

La cadena se escribe como una ecuación vectorial, colocando la condición en el término de la izquierda y las cotas en el de la derecha, cuyo signo es positivo si el desplazamiento sobre el grafo es de izquierda a derecha y negativo en caso contrario.

Ecuaciones funcionales

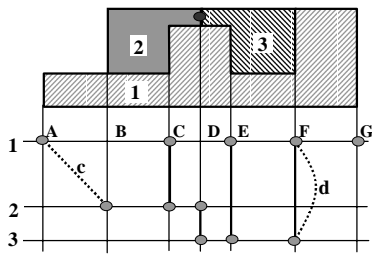
Para proceder a la asignación de los valores de las cotas funcionales (valores nominales y tolerancias) es necesario transformar las cadenas funcionales en inecuaciones funcionales. Estas inecuaciones se expresan mediante dimensiones máximas y mínimas de cada condición y cota, ya que lo que expresa cada condición es, en realidad, un caso límite. La escritura de las inecuaciones se realiza como sigue:

Como término independiente se coloca el valor de la condición ( $C_{máx}$  o  $C_{mín}$ ). En el otro lado se colocan las dimensiones con el mismo signo que en la cadena, siendo el tipo de dimensión (máxima o mínimo) el mismo que el de la condición para las dimensiones con signo positivo y contrario para las de signo negativo (p.e., en una condición de separación mínima las dimensiones con signo + son dimensiones mínimas y las de signo - son dimensiones máximas). El signo de la inecuación depende del tipo de condición ( $\leq C_{máx}$  o  $\geq C_{mín}$ ).

Esto permite asignar valores a las dimensiones de modo que se verifiquen todas las inecuaciones y, a partir de las dimensiones, obtener las cotas. Sin embargo, es más operativo trabajar con valores nominales y tolerancias, por lo que las inecuaciones anteriores se pueden transformar expresando cada dimensión como el valor nominal centrado más o menos la mitad de la tolerancia, según se trate de dimensiones máximas o mínimas respectivamente.

5. Ejemplo

A continuación se resuelve un ejemplo (Figura 3 y Tabla 1).



Grafo mecanismo:

- Tres relaciones de contacto posible: 1-3 en F, 1-2 en C y 1-3 en E
- Una relación de contacto impuesto entre las piezas 2 y 3 en D.
- Una relación de posición mínima de valor  $c$  entre las superficies A de 1 y B de 2.
- Una relación de posición máxima de valor  $d$  entre las superficies F de 1 y de 3.

Figura 3: Grafo mecanismo, relaciones entre piezas y condiciones funcionales.

Tabla 1: Flujos funcionales e inecuaciones funcionales del ejemplo.

Condic. Func.	Valor	Flujos Funcionales	Inecuaciones Funcionales
F3→F1 (montaje)	$\geq 0$	F3→E3→E1→F1	$-FE3_M + EF1_m \geq 0$ (1)
E1→E3 (montaje)	$\geq 0$	E1→F1→F3→E3	$+EF1_m - FE3_M \geq 0$ (2)
		E1→C1→C2→D2→D3→E3	$-CE1_M + CD2_m + DE3_m \geq 0$ (3)
C2→C1 (montaje)	$\geq 0$	C2→D2→D3→E3→E1→C1	$+CD2_m + DE3_m - CE1_M \geq 0$ (4)
A1→B2 ( $\geq$ )	$\geq c$	A1→E1→E3→D3→D2→B2	$+AE1_m - DE3_M - BD2_M \geq c$ (5)
F3→F1 ( $\leq$ )	$\leq d$	F3→E3→E1→F1	$-EF3_m + EF1_M \leq d$ (6)

Observando los resultados, se aprecia que la segunda condición da lugar a dos flujos funcionales, y que existen inecuaciones funcionales redundantes: (1 y 2) y (3 y 4), por lo que se deberá de tomar una de ellas en cada caso (en ocasiones la redundancia se puede dar porque una de ellas es más restrictiva que la otra).

Finalmente, se obtienen cuatro inecuaciones en dimensiones que se pueden transformar en las correspondientes en términos de valores nominales centrados y tolerancias (aplicando una ley de composición de tolerancias según el "peor caso" o el modelo estadístico), como se muestra a continuación:

<u>Inecuac. Funcionales en dimensiones</u>		<u>Inecuaciones Funcionales en tolerancias</u>
$+EF1_m - FE3_M \geq 0$ $-CE1_M + CD2_m + DE3_m \geq 0$ $+AE1_m - DE3_M - BD2_M \geq c$ $+EF1_M - EF3_m \leq d$	Modelo del "peor caso"	$+EF1 - EF3 - (t_{EF1} + t_{EF3})/2 \geq 0$ $-CE1 + CD2 + DE3 - (t_{CE1} + t_{CD2} + t_{DE3})/2 \geq 0$ $+AE1 - DE3 - BD2 - (t_{AE1} + t_{DE3} + t_{BD2})/2 \geq c$ $+EF1 - EF3 + (t_{EF1} + t_{EF3})/2 \leq d$
	Modelo estadístico	$+EF1 - EF3 - 0,5\sqrt{t_{EF1}^2 + t_{EF3}^2} \geq 0$ $-CE1 + CD2 + DE3 - 0,5\sqrt{t_{CE1}^2 + t_{CD2}^2 + t_{DE3}^2} \geq 0$ $+AE1 - BD2 - DE3 - 0,5\sqrt{t_{AE1}^2 + t_{BD2}^2 + t_{DE3}^2} \geq c$ $+EF1 - EF3 + 0,5\sqrt{t_{EF1}^2 + t_{EF3}^2} \leq d$

Siendo el acotado funcional de las piezas el mostrado en la Figura 4, acotado que está incompleto pues sólo se muestran las cotas resultantes del análisis funcional.

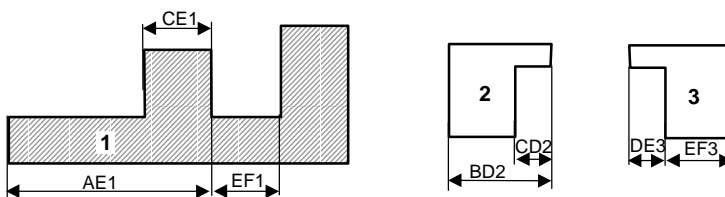


Figura 4: Acotado funcional de las piezas del mecanismo del ejemplo.

## 6. Conclusiones

El acotado funcional de un mecanismo es un proceso complejo que permite conocer su geometría de forma que las condiciones geométricas necesarias para su funcionamiento sean respetadas.

La propuesta representa un proceso de especificación de cotas y tolerancias, que permite la asignación de valores nominales y tolerancias de modo que se verifiquen las condiciones materializadas mediante las inecuaciones funcionales. Esta formulación matemática permite aplicar criterios de optimización mediante el uso de funciones de coste. Entre las principales ventajas que aportadas, cabe destacar:



- Permite obtener el acotado funcional para garantizar el correcto funcionamiento de un mecanismo.
- Permite obtener las ecuaciones funcionales, algunas de las cuales pueden no detectarse de una forma obvia.
- Utiliza conceptos trasladables a 2 y 3D, tales como el la clasificación de las condiciones funcionales, el modelado mediante grafos y búsquedas de FF.
- Fácil de implementar en una aplicación informática, lo que ha sido comprobado mediante el desarrollo de una aplicación prototipo.

## Referencias

Norme Française; *AFNOR E 04-550-1983, Cotation et Tolerancement Fonctionels*; AFNOR, Francia, 1983.

PASQUET, R. VACQUER, R. DEGOULANGE, F.; *La cotation fonctionnelle dans le desin de definition*; Dunod, París, 1965.

ROPION, R.; *La cotation fonctionnelle des dessins techniques, 2ª Edition*, Dunod, París, 1971.

REMMY-VINCENT, J.; SCHENAIDER, F; *De la Function à la Fabrication*; Mémoire de DEA en Productoin Automatissé, LURPA Cachan (Francia), 1990.

SERRANO, J.; *De la Función a la Fabricación. Aplicación Práctica: Acotación de Mecanismos Asistida por Ordenador. Modelización Unidireccional*, P.F.C., E.T.S.I.I., U.P. Valencia, 1993.

BRUSOLA, F.; CALANDÍN, E., et al.; *Acotación Funcional*; Ed. Tebar Flores, Madrid, ISBN 84-7360-076-2, 1986.

ROMERO, F.; *Curso de Acotado Funcional*; Convenio Univ. Politécnica de Valencia - Puzol Industrial, S.A.; dpto. Ing. Mecánica y de Materiales UPV, 1986.

SERRANO J., ROMERO F., et al.; *Obtención de una acotación de fabricación óptima a partir de las condiciones funcionales. Caso unidireccional*, Anales de Ingeniería Mecánica. XII Congreso, Vol 2, pp. 83-91, Valencia, 1994.

CIURANA, J.; *Contribución a las bases conceptuales para la implantación de la acotación funcional unidireccional en sistemas CAD*; Tesis doctoral, U.P. de Cataluña, 1997.

BALLU, A; MATHIEU, L.; *Choice of Functional Specification Using Graphs within the Framework of Education*; Global Consistency of Tolerances (Proceedings of the 6th CIRP Int. Seminar Computer-Aided Tolerancing – Enschede-Netherlands), Ed. Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-5654-3, pp. 197-206, 1999.

SERRANO, J.; CAPUTO, F.; LANZOTTI, A.; *A New Feature Based Approach to Functional Dimensioning and Optimum Tolerancing*; Proceedings of FEATS 2001, International IFIP Conference on Feature Modeling and Advanced Design-For-The-Life-Cycle Systems, Valenciennes (France), 2001.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### RILIEVI ANTROPOMETRICI TRAMITE TECNICHE DI REVERSE ENGINEERING PER LA PERSONALIZZAZIONE DI PRODOTTO

DE NAPOLI, Luigi; MUZZUPAPPA, Maurizio; TAVANO, Massimiliano

Università della Calabria, Arcavacata di Rende (CS), Italia

Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Meccanica

Correo electrónico: (ldenapoli, muzzupappa)@unical.it; massimilianotavano@libero.it

### RESUMEN

La corretta modellazione del corpo umano è un fattore sempre più determinante nello sviluppo di quei progetti nei quali risulta di fondamentale importanza l'interazione fra uomo, prodotto e ambiente. L'obiettivo del presente lavoro è quello di ottenere un modello virtuale tridimensionale di un soggetto umano attraverso la digitalizzazione della sua superficie esterna mediante l'impiego di uno scanner laser 3D. Viene descritta la tecnica di *reverse engineering* utilizzata per ottenere la nuvola di punti e il relativo modello geometrico della superficie esterna del soggetto. A partire dai dati antropometrici rilevati sul modello virtuale, viene inoltre riportato un esempio di personalizzazione di prodotto.

**Palabras clave:** Ingegneria Inversa, Antropometria, Ergonomia, Scansione Laser 3D.

### ABSTRACT

The correct modeling of the human body is a more and more determining factor in the design development, particularly when the interaction between man, product and environment is of fundamental importance. The aim of the present work is to obtain a three-dimensional virtual model of a human body by means of the digitalization of its external surface using a scanner laser 3D. We present the reverse engineering technique that has been used in order to obtain the entire cloud of points and the geometric model of the external surface of the human body. An example of customization of product from the anthropometric data extracted from the reconstructed model, is described.

**Key words:** Reverse Engineering, Anthropometry, Ergonomics, 3D Laser Scanning.

# 1. Introduzione

L'esigenza di avere a disposizione modelli virtuali tridimensionali di soggetti umani sempre più complessi e dettagliati è oggi particolarmente sentita in molteplici settori quali la biomedica, l'ergonomia, l'antropometria, la realtà virtuale, l'industria dei videogames e dell'abbigliamento [1], etc.. La possibilità di poter disporre di tali modelli virtuali, unitamente ai costi sempre più contenuti dei sistemi di acquisizione 3D, ha spinto molte attività di ricerca e molte aziende ad investire risorse sempre maggiori in questo settore. I dati che è possibile ricavare da tali modelli possono infatti essere importati e manipolati in qualsiasi ambiente virtuale per eseguire tutta una serie di analisi e di verifiche nei quali è fondamentale l'aspetto antropometrico [2].

Fino a qualche tempo fa le tecnologie di supporto al *Reverse Engineering* (RE) [3], in particolare quelle coinvolte nella fase di acquisizione dell'oggetto nella sua tridimensionalità, non consentivano di ottenere risultati soddisfacenti in termini qualitativi. I sistemi d'acquisizione tradizionali (a contatto e non), infatti, erano limitati da una scarsa precisione ed dagli ingenti tempi necessari per l'elaborazione dei dati acquisiti.

I miglioramenti delle tecniche di acquisizione mediante *laser scanning* hanno consentito di raggiungere, oggi, la precisione, la velocità e la flessibilità richiesta per la maggior parte delle applicazioni. Un ulteriore vantaggio offerto dagli attuali sistemi laser (come quello adottato in questo lavoro) è quello di poter conservare traccia non solo delle dimensioni dell'oggetto acquisito, ma anche delle sue proprietà superficiali, attraverso la memorizzazione della "*texture*". Tali strumenti permettono in pratica di registrare una foto digitale dell'oggetto inquadrato e di memorizzarla assieme alle coordinate dei punti campionati sulla superficie. Questo consente non solo di avere un maggiore realismo dell'oggetto acquisito, ma costituisce un aiuto essenziale nella fase di ricostruzione, soprattutto se risulta necessario rilevare ed acquisire l'oggetto da più punti di vista.

Nel presente lavoro viene descritta la metodologia utilizzata per la ricostruzione di un modello tridimensionale di un soggetto umano. Inoltre, vengono presentati i risultati ottenuti dai rilievi antropometrici sul soggetto digitalizzato. Infine, viene descritto un semplice esempio di *product customization*, a partire dalle informazioni contenute nel modello; in particolare, si è progettato un collare ortopedico "su misura", in un'ottica progettuale completamente personalizzata, mirata cioè alla *customer satisfaction*.

## 2. Reverse Engineering del Corpo Umano

La difficoltà principale riscontrata nella digitalizzazione di un soggetto umano è stata quella di dover eseguire un elevato numero di scansioni a causa del ridotto campo d'acquisizione dello strumento utilizzato, in rapporto alle dimensioni del soggetto da acquisire; questo ha comportato un considerevole dispendio di tempo durante la fase di ricostruzione del modello.

Questa difficoltà ci ha comunque permesso di mettere a punto una metodologia efficace per il rilievo e la ricostruzione di oggetti dalle dimensioni più grandi rispetto al campo di acquisizione dello scanner. D'altra parte, i sistemi in grado di rilevare oggetti molto grandi e nella loro interezza risultano ancora molto costosi e poco diffusi.

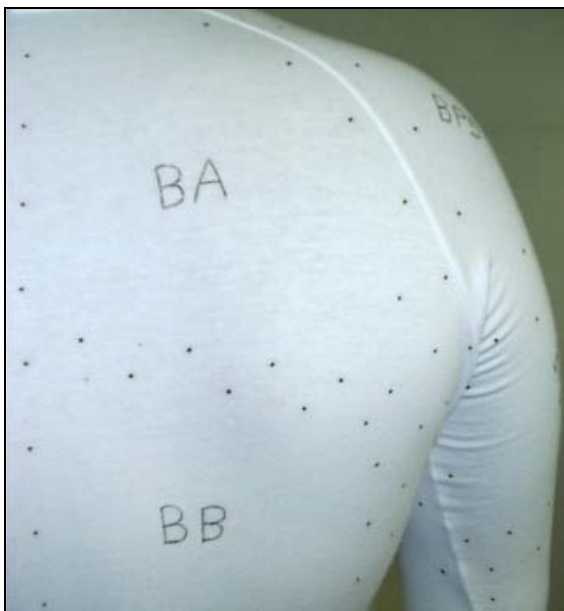
### **Set-up di Acquisizione e Modalità Operative**

Per la fase di acquisizione del soggetto è stato utilizzato uno scanner laser 3D a triangolazione, il Minolta VIVID 300 montato su un treppiede. Per quel che riguarda gli strumenti software, per la fase di acquisizione è stato adottato il software a corredo dello scanner, mentre per la successiva fase di editing delle singole nuvole di punti e per la giustaposizione delle stesse, è stato utilizzato “*RapidForm™ 2004*”, prodotto dalla Inus Technology, disponibile in versione “evaluation” presso il Dipartimento di Meccanica dell’Università della Calabria. Prima di procedere alla digitalizzazione del soggetto sono state condotte diverse scansioni di prova su parti umane in modo da valutare le condizioni che garantissero un risultato ottimale dal punto di vista qualitativo. In particolare si è riscontrato che le proprietà ottiche della pelle umana risultano particolarmente adatte ai rilievi mediante scansione laser. La pelle, infatti, riflette la luce in maniera prevalentemente diffusa, per cui non sono necessari trattamenti di opacizzazione della stessa prima dell’acquisizione. Anche gli indumenti in tessuto non sintetico danno ottimi risultati, in modo particolare quelli in cotone e di colore chiaro (fig. 1).



*Figura 1: Set-up di acquisizione e soggetto da rilevare.*

Come già detto, a causa del ridotto campo d'acquisizione dello scanner utilizzato, è stata eseguita una scansione multipla da più punti di vista. Per ricostruire l'intero modello è stato quindi necessario assemblare più nuvole di punti, ognuna corrispondente ad una differente porzione di corpo, al fine di ottenere un'unica nuvola di punti rappresentativa dell'intero soggetto. Per facilitare questa operazione si è reso necessario evidenziare, sulla superficie da rilevare, una serie di punti notevoli (di riferimento). Tali punti, che devono risultare ben contrastati e facilmente individuabili su ogni *patch* (la singola superficie digitalizzata), sono serviti come strumento guida per assemblare le nuvole registrate dai diversi punti di vista (lo scanner acquisisce, infatti, anche la "texture" della superficie). Inoltre, per organizzare in modo ottimale l'acquisizione, la superficie del soggetto è stata suddivisa in aree regolari contrassegnate con opportune sigle facilmente individuabili. E' stata creata, in pratica, una vera e propria "griglia" di riferimento sulle superfici da acquisire (figura 2).



*Figura 2: Marker sulla superficie da rilevare.*

Le fasi successive a quella d'acquisizione, ovvero il post-processing, l'editing e la segmentazione delle nuvole di punti, sono state condotte, come detto, con l'ausilio del software *RapidForm<sup>TM</sup>*. Una volta "ripulite" le singole acquisizioni (da punti non appartenenti alla superficie, da zone poco o molto riflettenti e perciò affette da errori troppo elevati), si è proceduto alla giustapposizione delle stesse, procedendo con il montaggio di due patch per volta. La metodologia più efficace, che ha permesso di ridurre l'errore sul modello ricostruito e che è risultata comunque più agevole, prevede una prima ricostruzione in macropatch, ad esempio la zona della testa, delle braccia, etc. (fig. 3), e, in un secondo momento, il montaggio delle macropatch stesse.



*Figura 3: Macropatch prima del montaggio finale.*

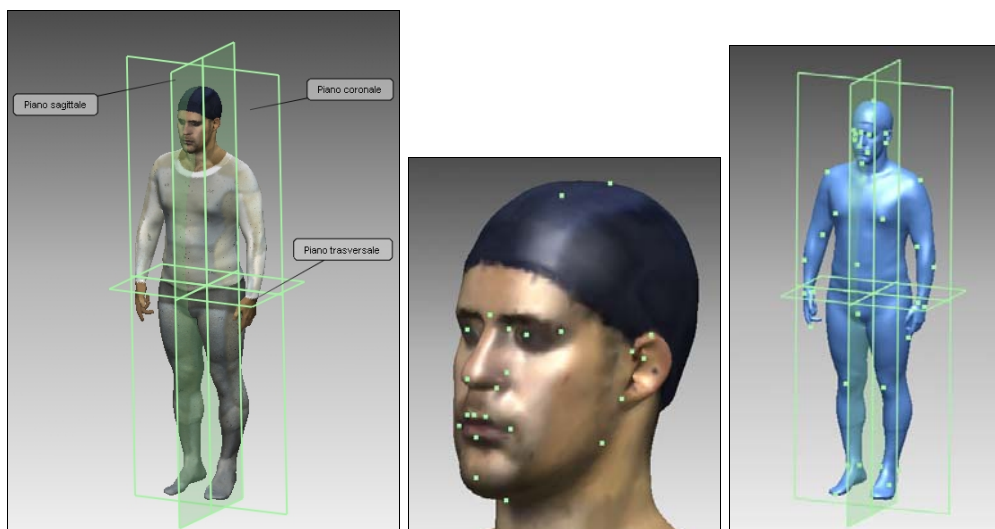
Dalla composizione delle varie macropatch si è infine ottenuta un'unica nuvola di punti rappresentativa del soggetto acquisito. Il risultato finale è illustrato in figura 4 dove il modello è rappresentato da una nuvola di punti, seppur triangolarizzata e con impressa la texture acquisita.



*Figura 4: Scansione completa.*

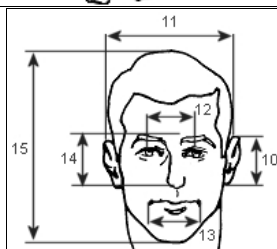
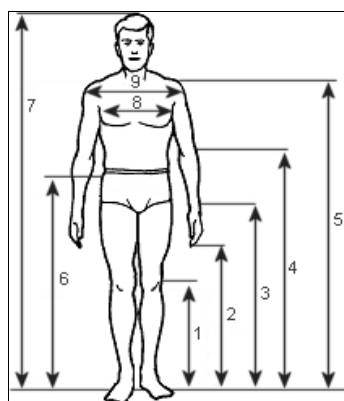
## Misure Antropometriche Computerizzate - Validazione dell'Acquisizione

La misura dei dati antropometrici dell'uomo con i metodi tradizionali comporta l'adozione di strumenti quali antropometri, calibri a spessore o nastri graduati, che per la loro natura presentano diverse limitazioni e disagi sia per il soggetto misurato che per il tecnico antropologo [4, 5]. Uno dei vantaggi maggiori che si hanno con le tecniche di misura non convenzionale, condotte cioè al calcolatore su un modello digitale, è senza dubbio quello dell'assenza di contatto fisico tra il soggetto da rilevare e i vari strumenti di misura, cosa inevitabile con le normali tecniche di misura antropometrica. La disponibilità del modello geometrico del soggetto, permette il rilievo agevole di un qualsiasi parametro antropometrico [6, 7, 8], oltre ad offrire la possibilità di effettuare ulteriori analisi utilizzando opportuni software di simulazione [9]. Mediante *RapidForm*, utilizzato per il montaggio della nuvola di punti, sono stati creati piani e punti di riferimento così come indicati dalla letteratura sull'antropometria (fig. 5).

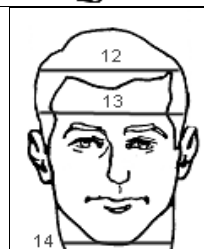
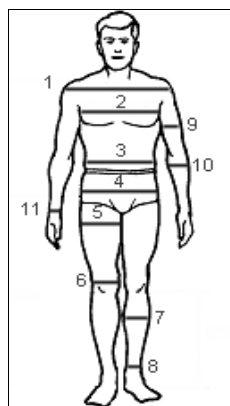


*Figura 5: Piani e punti di riferimento per i rilievi antropometrici.*

Questi riferimenti hanno permesso di rilevare i parametri antropometrici indicati in letteratura, sia come misure lineari che come misure circonferenziali. In tabella 1 e 2 vengono confrontati i risultati ottenuti mediante le misure acquisite con i metodi classici rispetto a quelle rilevate sul modello digitale: l'errore riscontrato per ciascuna delle misura risulta sempre inferiore al 2%. Dalla figura 6 è possibile evincere le misure prese in considerazione.



(a)



(b)

Figura 6: (a) Misure antropometriche lineari.  
(b) Misure antropometriche perimetrali.

Tabella 1: Confronto tra misure antropometriche lineari

Misure lineari [mm]				
Rif.	Mis. Comn.	Mis. Trad.	Diff.	Diff.   %
1	478	482	4	0,8
2	706	700	6	0,9
3	881	875	6	0,7
4	1123	1118	5	0,4
5	1427	1420	7	0,5
6	980	982	2	0,2
7	1765	1760	5	0,3
8	421	425	4	0,9
9	479	480	1	0,2
10	66	67	1	1,5
11	177	180	3	1,7
12	69	68	1	1,5
13	53	54	1	1,9
14	54	55	1	1,8
15	277	274	3	1,1
Valori Medi			3,33	0,96

Tabella 2: Confronto tra misure antropometriche perimetrali

Misure perimetrali [mm]				
Rif.	Mis. Comn.	Mis. Trad.	Diff.	Diff.   %
1	1226	1220	6	0,5
2	1098	1102	4	0,4
3	918	920	2	0,2
4	1075	1068	7	0,7
5	633	625	8	1,3
6	398	400	2	0,5
7	392	390	2	0,5
8	237	241	4	1,7
9	342	339	3	0,9
10	288	290	2	0,7
11	182	184	2	1,1
12	581	588	7	1,2
13	628	622	6	1,0
14	404	408	4	1,0
Valori Medi			4,21	0,82



### 3. Applicazione di Personalizzazione di Prodotto

Negli ultimi anni il mercato ha subito una radicale trasformazione: il consumatore moderno è divenuto sempre più attento nello scegliere un prodotto in base ai suoi gusti ed alle sue esigenze personali. Un contributo in tal senso è stato sicuramente dato dall'*e-commerce*, cioè degli scambi commerciali attraverso la rete internet, che hanno consentito al cliente sia di interagire in tempo reale ed in modo diretto con l'azienda produttrice, che di scegliere fra molte più opzioni. In virtù di queste nuove possibilità, buona parte delle richieste di prodotti *high-tech* si è spostata verso mercati di tipo personalizzato, in cui l'azienda produttrice cerca di venire incontro il più possibile alle richieste del cliente. Si sta assistendo, cioè, al passaggio dalla "*mass production*" (produzione di massa) alla "*product customization*" (personalizzazione del prodotto).

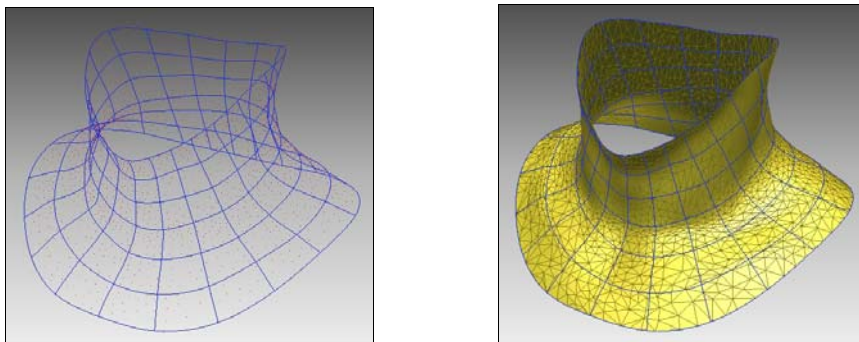
Come applicazione di product-customization si è scelto di progettare un collare ortopedico, un prodotto per cui può essere facilmente giustificabile un processo di produzione personalizzata, nonostante le maggiorazioni legate ai costi. Basti pensare all'impatto positivo che può comportare sulla qualità della vita di una persona disabile, la realizzazione di una protesi o di un ausilio ortopedico, pensati in modo da adattarsi perfettamente alle proprie caratteristiche dimensionali o alle proprie specifiche esigenze. In un'ottica progettuale di questo tipo non dovrà più essere il soggetto ad adattarsi al prodotto ma, al contrario, sarà il prodotto stesso ad essere concepito "su misura" in base alle reali necessità dell'utente.

Progettare un prodotto a partire dai dati ottenuti da un processo di RE non è però così immediato. E' importante sottolineare, infatti, che il modello ottenuto alla fine del processo di RE è costituito da una mesh triangolare, cioè una superficie discontinua, spesso costituita da un elevato numero di superfici piane (pari al numero di triangoli che costituiscono la mesh stessa). Se per alcune applicazioni, quali il rilievo di misure antropometriche, una superficie di questo tipo non comporta particolari inconvenienti, per altre applicazioni tale superficie non è direttamente utilizzabile. Nel caso in cui, ad esempio, occorra realizzare uno stampo sulla base dell'"impronta" del soggetto, il processo coinvolgerà l'utilizzo di macchine a controllo numerico, il cui funzionamento è basato sulla conoscenza dei percorsi utensile definibili solo se le superfici non presentano discontinuità.

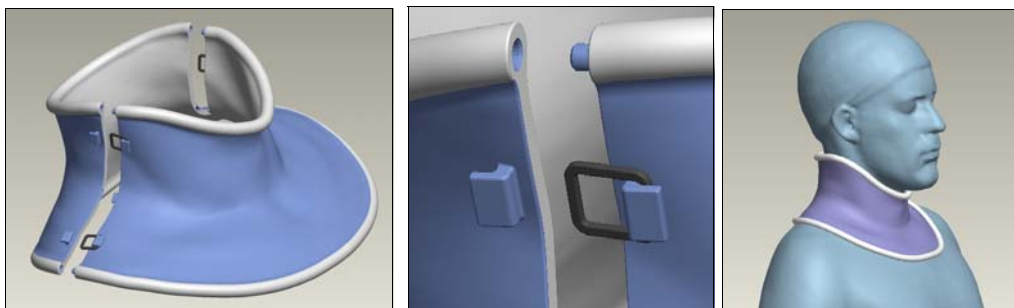
Dalla nuvola di punti triangolarizzata è stato necessario perciò isolare la zona di interesse dal quale estrarre le curve da utilizzare per la creazione della superficie parametrica ( $u,v$ ) della regione cervicale (fig. 7). L'operazione di estrazione delle curve è stata eseguita utilizzando *RapidForm*; tali curve sono state successivamente esportate in formato IGES verso *Pro/Engineer*, per la creazione della superficie di riferimento del collare e l'ingegnerizzazione del collare stesso. La superficie parametrica ottenuta è stata confrontata con la nuvola di partenza: l'adattamento è tale per cui il massimo errore misurato (distanza tra superficie e nuvola) è risultato essere di circa mezzo millimetro.

Per l'ingegnerizzazione del collare è stato effettuato un primo offset della superficie di 4 mm per la realizzazione di un rivestimento interno in spugna, in grado

di garantire un maggior comfort al soggetto durante l'utilizzo del collare. Un secondo offset di 5 mm è servito invece per generare il modello solido. Alla fine, è stato aggiunto il bordo del collare, è stato effettuato il taglio in due semigusci e sono state modellate le appendici per il bloccaggio. In fig. 8 viene mostrato il modello finale pronto per la produzione, che potrebbe essere realizzato, per esempio, mediante Prototipazione Rapida.



*Figura 7: Curve generatrici con sovrapposta la nuvola di punti (a sinistra) e la mesh triangolare (a destra).*



*Figura 8: Modello completo del collare (vista esplosa) e particolare dell'attaccatura*

## 4. Conclusioni

In questo articolo è stata presentata una metodologia per la ricostruzione virtuale tridimensionale di un soggetto umano mediante scanner laser 3D. A partire dal modello ricostruito sono stati ricavati i dati antropometrici e confrontati successivamente con i dati rilevati mediante tecniche tradizionali. La differenza tra le misure è tale da validare la tecnica utilizzata per l'acquisizione. Inoltre, i dati rilevati mediante RE sono stati utilizzati per progettare un prodotto "su misura": la procedura seguita apre interessanti prospettive alla *product customization*.

## Bibliografia

- [1] ISTOOK C., HWANG S. J., *3D Body Scanning Systems with Application to the Apparel Industry*, Journal of Fashion Marketing and Management (Apr 2001).
- [2] MOSS S., et al, *Anthropometry for WorldSID-A World-Harmonised Midsize Male Side Impact Crash Dummy*, SAE paper 2000-01-2202, Washington D.C., 2000.
- [3] VARADY T., MARTIN R. R., COX J., *Reverse Engineering of geometric models- an introduction*, Computer-Aided Design, Vol. 29, No. 4, 1997.
- [4] Normativa UNI EN ISO 7250, *Misurazioni di base del corpo umano per la progettazione tecnologica*, FEBBRAIO 2000.
- [5] ROEBUCK J.A., KROEMER K.H.E., THOMSON W.G., *Engineering anthropometry methods*, Wiley Series in human factors. Wiley, New York, 1975.
- [6] GODIL A., GROTH P., RESSLER S., *Human Identification from Body Shape*, proceedings of 4th International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, Banff, Canada, Oct 6-10-2003.
- [7] CAMBIAGHI D., VETTURI D., VILLA V., UBERTI S., MAGALINI A., BARONIO G., SANSONI G., *Identificazione dei parametri antropometrici mediante scansione tridimensionale del corpo umano*, AIMETA 2003 - XVI National Congress of the Italian Association for Theoretical and Applied Mechanics, Ferrara, 9-12 Settembre 2003, 2003.
- [8] ROBINETTE, K.M., DAANEN H., *Lessons Learned from CAESAR: a 3D Anthropometric Survey*, International Ergonomics Association, 2003.
- [9] ROBINETTE K.M., VANNIER M.W., RIOUX M., JONES P.R.M., *3D Surface Anthropometry : Review of Technologies (L'Anthropométrie de surface en trois dimensions: examen des technologies)*, Neuilly-sur-Seine: North Atlantic Treaty Organization Advisory Group for Aerospace Research & Development, Aerospace Medical Panel, 1997.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### S·E·K·E·R: TONE REPRODUCTION BASED ON THE HUMAN VISUAL SYSTEM

ANSON LOPEZ, Oscar; GUTIERREZ PEREZ, Diego; SERON ARBELOA, Francisco José

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón  
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas  
Universidad de Zaragoza, España  
Grupo de Informática Gráfica Avanzada  
Correo electrónico: diegog@unizar.es

### RESUMEN

Las técnicas existentes para generar imágenes sintéticas calculan la luminancia de las escenas. Está claro que el éxito de las imágenes fotorealistas depende tanto del cálculo correcto de las luminancias como de su mapeo al dispositivo de salida para provocar en el observador la misma sensación. Esta conversión de las luminancias reales a las luminancias del monitor se le llama reproducción de tono. Otro factor a tener en cuenta en la creación de imágenes sintéticas es el sistema visual humano (HVS). En esta comunicación presentamos S·E·K·E·R, una aplicación que mapea luminancias reales a luminancias de pantalla considerando, además, las limitaciones del sistema visual humano y sus efectos en las imágenes finales.

**Palabras clave:** Reproducción de tono, sistema visual humano, realismo, imágenes de Alto Rango Dinámico, metodologías y técnicas.

### ABSTRACT

The existing techniques to generate synthetic imagery calculate the luminances of the scenes. It is clear that the success of realistic images depends both on the correct calculation of the luminances and the correct mapping of those luminances to the display, in order to provoke in the observer the exact same response. This conversion from real luminances to display luminances is called tone reproduction. Another factor to bear in mind in the creation of synthetic imagery is the mechanisms of the Human Visual System (HVS). In this paper we present S·E·K·E·R, an application that correctly maps world luminances to display luminances while taking into account the limitations of the HVS and their effect on the final images.

**Key words:** Tone reproduction, human visual system, realism, High Dynamic Range imagery, methodologies and techniques.

# 1. Introduction

The objective of the synthetic photorealistic imagery is to exactly capture the visual appearance of the modeled scenes. Physical based rendering methods allow to calculate with accuracy the energy distribution in the scene, and lots of works have been directed to these problems. However, this exact calculation does not guarantee that the visual appearance of the displayed image matches the real scene. This fact is because of two reasons: first, the range of luminances in a real scene usually surpasses, in several magnitude orders, the usable range of the display device. Pictures in a newsletter have a maximum contrast of 30:1, CRT monitors have a standard range of 100:1, and only some high photographic quality printings have ranges of 1000:1. However, it is easy to found light contrasts of 100.000.000:1 in the real world. On the other hand, visualization conditions of the real scene and synthetic image rarely matches. In addition, studies in human visual mechanisms have not come to a definitive model [1][2].

The application of the human perception mechanisms to the generation of synthetic imagery also allows saving calculation times. Understanding how the mind is going to interpret the scene, solutions can be then calculated with lesser accuracy in physical metrics terms, but knowing that a more physical exact solution (and more time consuming) will contribute nothing to the final image as it is perceived by the observer. This fact is very interesting in knowledge areas, such as Virtual Reality, where images have to be calculated in real time. Some metrics based on perception to measure the quality of imagery can be found in [3].

It is important to highlight that the main problem of tone reproduction is the reduction of the contrasts in the image, maintaining its appearance. All the other effects, such as color sensitivity loss, visual acuity, chromatic adaptation and temporal responses directly depend on the selected solution to adapt the contrast. The diversity of methods suggest that it does not exist an only correct solution for the tone reproduction problem. Display devices only can suggest the sensations and contrasts that they can not reproduce, and they do it based on various elements. It is possible, therefore, that several combinations of these elements give a valid solution.

## 2. High Dynamic Range Imagery

Most of the graphic hardware works with a 24 bit (per pixel) RGB color space, setting 8 bit (1 byte, a range from 0 to 255) for each channel (red, green and blue). The advantage of this representation is that we do not need any tone reproduction technique to obtain reasonable results in any kind of CRT device, since every value within the range  $[0, 255]$  matches a luminance level of the monitor (also depending on a characteristic curve, called gamma curve) [4]. On the other hand, there is one disadvantage: all the colors that fall out of the RGB gammut can not be displayed. That is because of the fact that the dynamic range of a standard monitor is about 100:1 (approximately 2 orders of magnitude). Dynamic range is the ratio of maximum and minimum luminance. On the other hand, a human observer can perceive a dynamic range up to 4 or 5 log units through the adaptation process and up to 9 log units when he is totally adapted. Finally, luminance values in the real world can reach ranges of

10 log units. This means that RGB color space only covers a little range of the luminance range that can be perceived in the real world.

A simple solution is to work with floating values, allowing the use of values above the typical range of [0, 255]. That minimizes the loss of information if we use real luminance values. But on the other hand, this raw representation has an important disadvantage with the size it needs to be stored: 32 bits per floating value, a pixel size of 96 bits, in contrast to the 24 bits per pixel in the RGB color space. Fortunately there are many representations based on the human perception, which allow to work with 32 bit floating pixels, or less [5][6][7].

There are two general methods to generate High Dynamic Range (HDR) images: physical based rendering and taking photographs (with a common camera) with several exposure levels of a real scene [8]. It is expected that in a future, camera manufacturers will give support to the HDRI techniques and principles. Therefore, computer rendering is nowadays the more direct solution. If a rendering system is based on physical phenomena [9], it will calculate the real radiance values in each pixel of the image. These spectral values will have to be converted to displayable values, work done by the tone reproduction operator.

### 3. Human Visual System

Our visual system is able to adapt through a huge light range (Figure 1). We only have to think about the ratio a dark night and a sunny day (up to 10.000.000:1). The light goes into the eye and stimulates the two types of photoreceptors in the retina; they are called cones and rods. Rods are very sensitive to the light intensity and they are more active in scotopic light levels (from  $10^{-6}$  to  $10\text{ cd/m}^2$ ). Cones are less sensitive and give us chromatic vision in photopic light levels (from  $10^{-2}$  to  $10^8\text{ cd/m}^2$ ), where they are totally active. That is why we can not distinguish color in darkness, where we only can see in gray levels. Both systems are simultaneously active in the range from  $10^{-2}$  to  $10\text{ cd/m}^2$ . This range is called mesopic range and is the less known among the three and also the most important one.

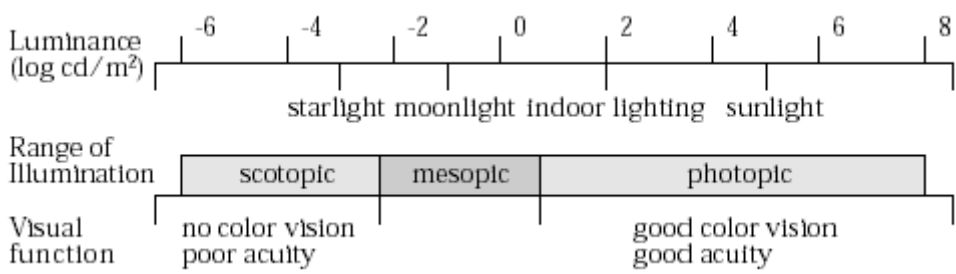


Figure 1: Real world range of luminances and associated visual parameters.

After stimulating photoreceptors, the signal generated by these photoreceptors goes to the brain, where the image is formed. While the eye can receive up to 14 log units of light, the optic nerve can only transmit 1.5 log units. That means that there is some kind of adaptation in our visual system. Once we are adapted to a luminance adaptation level we then can perceive data around this adaptation level [10]. Through this adaptation process, our visual system controls the effects of the illumination change in the visual response to provide the appropriate sensitivity in a wide range of environmental illumination levels.

Physiological mechanisms are the base for the psychophysical description of the adaptation process. The action of these mechanisms translates into several visual effects: glares, bleaching, color loss, visual acuity, temporal sensitivity.

#### **4. S·E·K·E·R**

S·E·K·E·R, the application that we present in this paper, is a tone reproducer that maps images from real luminances to display luminances and simulates several limitations of the human visual system. We have followed two criteria to do a reliable tone reproduction: on the one hand, it preserves visibility. That means that an object can be seen in the image if and only if it can be seen in the real scene. On the other hand, the image provokes the same subjective sensation in the observer. It reproduces the sensation of bright, acuity, contrast and color.

Our application is based on the work of [11]. S·E·K·E·R generates the adaptation luminances histogram of the HDR image and modifies it to discover clusters of adaptation levels. Afterwards, human visual limitation models are applied to simulate the effects of the human visual system. Finally the image is mapped to match the human contrast sensitivity.

#### **Adaptation histogram**

The generation of the histogram starts by filtering down the original image, getting a smaller image in which each pixel represents an area of  $1^\circ$  in the original image (a potential fixation point or foveal area). This image is also called the foveal image. The histogram is generated from the luminances of this foveal image. Once generated, S·E·K·E·R modifies it with a human contrast sensitivity function [10] to simulate the human response to contrast. With simpler methods (like histogram equalization), contrast could be exaggerated in highly populated zones of the histogram. Basically, the human contrast sensitivity function reduces contrast in dark zones of the image as our visual system does.

From the samples of the adaptation histogram a cumulative distribution function (CDF) is generated. The CDF will be used at the last stage to map the original luminances of image.

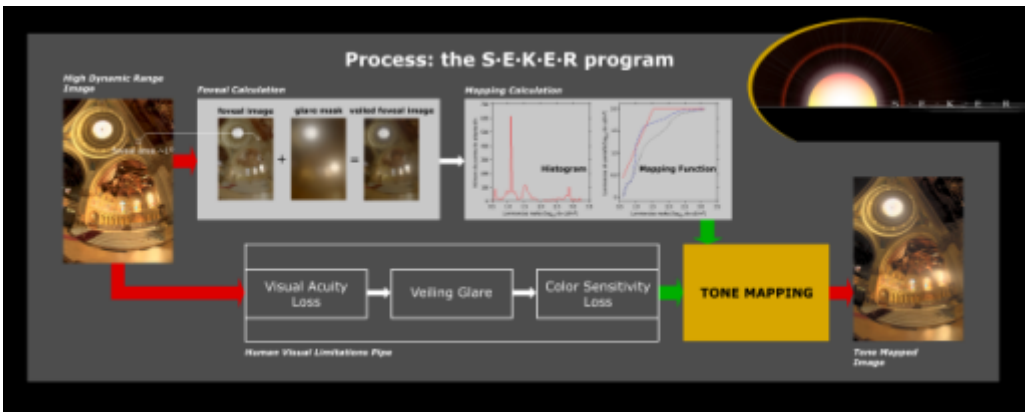


Figure 2: General work flow for the S-E-K-E-R application.

## The human visual system pipeline

As it can be seen in Figure 2, there are two different processes in S-E-K-E-R: the upper horizontal one is the generation of the foveal image, the adaptation histogram and the final mapping function. In the bottom of the figure appears the human visual system pipeline. This pipeline modifies the original image to add three different human limitations: visual acuity loss, veiling glare, color sensitivity loss and bleaching.

Bright sources in a scene reduce the perception of the global contrast in a scene, because the dispersion of light in the lens darkens the fovea (the main area of vision in the eye). S-E-K-E-R uses the methods of [12] and [13] that calculate effective adaptation luminance from the position of bright sources and luminances in the scene. Therefore, a veiling image is calculated from the foveal image. Afterwards we add this veiling mask to the original foveal image to obtain a new foveal veiled image, in which each pixel is the effective adaptation luminance. At this moment S-E-K-E-R can regenerate the new adaptation histogram to obtain the correct mapping function. On the other hand, the veiling image is used, by means of extrapolation, to add the veiling glare to the original image.

To simulate the color loss in dark environments, S-E-K-E-R uses the method described in [10]. This limitation is also applied in the original image and follows a simple operation: for each pixel in the original image, if its luminance falls in the scotopic range, the rods system is more sensitive than the cone system and we have color loss, so the pixel value is converted to a gray scale; if it falls in the photopic range, cones prevail and our visual system has full color vision, so the pixel value is maintained as it is. If the pixel luminance falls within the mesopic range, we use a lineal interpolation based on scotopic and photopic luminances.

As well as losing the capability of seeing the contrast and the color, human eye can not distinguish details in dim scenes. To simulate this visual limitation S-E-K-E-R uses data from [14] and a local blurring function that blurs those zones of the image with dim luminances. This blurring function is implemented as a filter of variable



resolution and works with a pyramidal image and parametric interpolation, based on the mip mapping works of [15].

## 5. Results

The image that we use as an example of what S-E-K-E-R can do has been obtained from [16]. Figure 3 (top) shows a false color map of the luminance levels in the image in log units. Red colors show a high level of light and blue colors, on the contrary, show the dark zones of the image. The scene is the interior of a cathedral. The main light sources in the image are the vault and three glass windows (all in red and yellow).

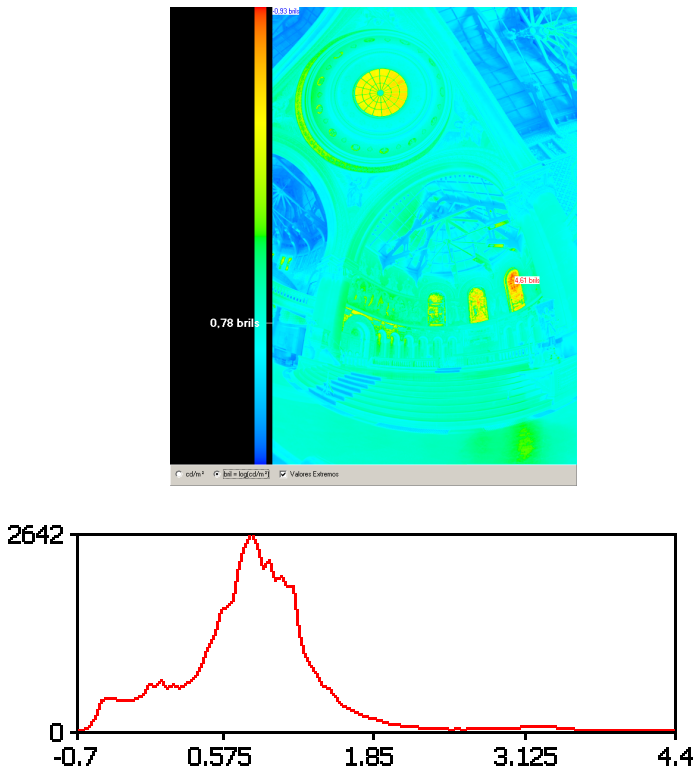


Figure 3: False color map of scene luminances (top) and its adaptation histogram (bottom)

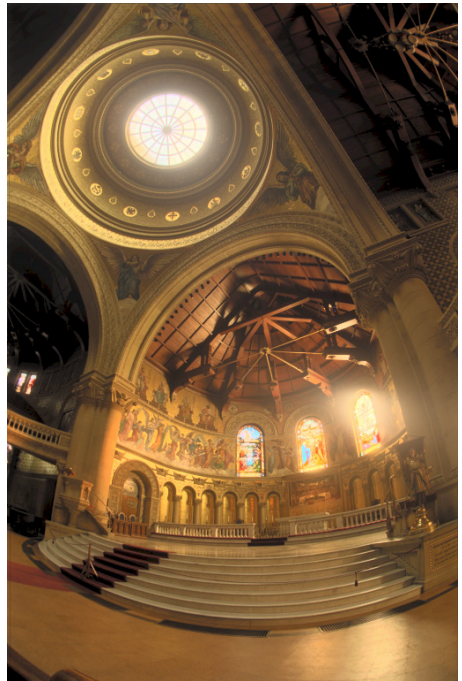
Figure 3 (bottom) shows the generated adaptation histogram. The horizontal axis shows the adaptation luminances in the scene in log units. The vertical axis shows the number of adaptation samples in the foveal image. The adaptation luminance range goes from  $0.2 \text{ cd/m}^2$  to  $25000 \text{ cd/m}^2$ .

Figure 4 shows the scene mapped with a linear mapping function. From top to bottom and from left to right, S-E-K-E-R-simulates larger and larger exposure times. So, the first image is under-exposed and the last one is over-exposed. This would be the simplest method to map a HDR image.



*Figure 4: Linear tone reproduction with several exposure times*

Finally, Figure 5 shows the difference between just a tone mapped image (left) and the same tone mapped scene also simulating all the human visual limitations (right): loss of color and visual acuity in dark areas and veiling glare in bright zones. It also simulates the human contrast perception.



*Figure 5: Comparison of a basic tone reproduction (left) with a full simulation of human visual limitations (right).*

## 6. Conclusions

While a great work has been done in the development and improvement of the physical based rendering algorithms, tone reproduction and spectral rendering techniques do not have the same level of evolution and they still have important opened questions to be interpreted and investigated.

Although the advance in the displaying technologies provides better and better devices, we still depend on tone reproduction operators to get a desired perceptual interpretation of the synthetic images. Even so, all the display devices in the market still have very narrow dynamic ranges and it is expected that the future of tone reproduction depends on the development of devices with broader dynamic ranges. Other important issues are the storage of the HDR images. Although there are existing techniques that manage real light values, size and accuracy are inversely proportional.

Finally we have the studies and knowledge of the HVS, which is quite limited, especially in its neural stage. Moreover, the accurate modeling of their features in the tone reproduction methods is complex and very time consuming. The lack of understandable and reliable metrics for the image analysis also limits the study.

## 7. Future work

The methods to calculate foveal samples for the fixation points of the observer can be extended by means of an interactive tracking system or a preplanned animation. The gaze theory of the eye could be applied (probable attention directions) to improve the initial adaptation histogram. Additional modifications could be done in sensitivity threshold, glare and visual acuity models to simulate the effects of the age in an observer.

Other factor that has not been treated is the temporal behavior of the adaptation process. It could be implemented as a new module that simulates the HVS when it has to adapt to light or darkness, based on [10] and [17] models. Other improvement refers to changes in the color sensitivity in the mesopic range. S-E-K-E-R implements this change as a linear interpolation between both response functions for the scotopic and photopic range [10], but a better approximation could be done. The influence of the luminous environment also should be regarded in the adaptation process of the observer. Finally, the implemented sensitivity color loss model does not consider the absolute perception of the color, strongly affected by the global adaptation and the color of the light sources.

The tone reproduction method could be extended to other application areas. S-E-K-E-R can be incorporated in global illumination calculations to make them more efficient.

The work that will be carried out in the future will be the application of the tone reproduction techniques to immersive environments. The goal of tone reproduction is to match synthetic imagery perceptual sensations to the real ones in a real environment. But monitors can not get a sense of immersion for the observer in the

synthetic scene. That is why we want to use these tone reproduction techniques in a immersive environment, as it is the CLS, designed by the GIGA [18] [19]. In this way, the observer, apart from feeling immersed in a virtual scene, can have a more real perception of the environment.

## Acknowledgements

This research was partly done under the sponsorship of the Spanish Ministry of Education and Research through the projects TIC 2000--0426--P4--02, and TIC 2001--2392--C03--02.

## References

- [1] ADELSON, E.H., “*Perceptual organization and the judgement of brightness*”. Science. Vol. 262, pp. 2042-2044. Diciembre 1993
- [2] FERWERDA, J.A., “*Elements of early vision for computer graphics*”. IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 22-33, Septiembre-Octubre 2001
- [3] MCNAMARA, A., CHALMERS, A., TROSCIANKO, T., GILCHRIST, I., “*Comparing real and synthetic scenes using human judgement of lightness*”. In Proceedings of Eurographics Workshop on Rendering. Springer-Verlag. 2000
- [4] POYNTON, C.A., “*Gamma and its Disguises, The Nonlinear Mappings, of Intensity in Perception, CRTs, Film and Video*”. SMPTE Journal, Diciembre, 1993.
- [5] “*Graphics Gems IV*”. Editado por James Arvo, Academic Press, 1994.
- [6] WARD, G., “*The LogLuv encoding for full gamut, high dynamic range images*”. Journal of Graphics Tools, 3(1):15-31 1998.
- [7] [www.openexr.org](http://www.openexr.org)
- [8] DEBEVEC, P., MALIK, J. “*Recovering high dynamic range radiance maps from photographs*”. 1997
- [9] SERON, F.J., MAGALLÓN, J.A., MELENDEZ, E., LATORRE, P., “*The ALEPH Project: imagesynthesis using illusion and physically based rendering*”. Visualization and Intelligent Design in Engineering and Architecture, pp.11-19, 1995.
- [10] FERWERDA, J.A., PATTANAIK, S.N., SHIRLEY, P., GREENBERG, D.P., “*A model of visual adaptation for realistic image synthesis*”. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 249-258. Siggraph 1996
- [11] WARD, G., RUSHMEIER, H., PIATKO, C., “*A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes*”. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 3(4), pp. 291-306. Octubre-noviembre 1997.

[12] HOLLADAY, L.L., Journal of the Optical Society of America, 12, 271, 1926

[13] MOON, P., SPENCER, D., “*The visual effect of non-uniform surrounds*”. Journal of the optical society of America. Vol. 35, No. 3, pp. 233-248. 1945

[14] SHALER, S., “*The relation between visual acuity and illumination*”. Journal of General Physiology, 21, pp.165-188, 1937

[15] WILLIAMS, L., “*Pyramidal parametrics*”. Computer Graphics, vol.17, no.3, Julio, 1983.

[16] <http://www.debevec.org/>

[17] PATTANAIK, S.N., TUMBLIN, J., YEE, H., GREENBERG, D.P., “*Time dependent visual adaptation for fast realistic image display*”. Proceedings of the 27<sup>th</sup> annual conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 47-54. 2000

[18] GUTIERREZ, D., SERÓN, F.J., MAGALLÓN, J., SOBREVIELA, E., GUTIERREZ, J.A., “*CLS: A low cost visualization environment for the train industry*”. International Conference Virtual Concept 2002. Ed. ESTIA. ISBN2-9514772-2-8. pp.122-127. Biarritz, Francia , 9 y 10 de octubre de 2002.

[19] SERÓN, F.J., GUTIERREZ, D., MAGALLÓN, J., SOBREVIELA, E., GUTIERREZ, J.A., “*Case study: full-size virtual models of trains*”. First Ibero-American Symposium in Computer Graphics SIACG 2002, ISBN 972-98464-1-3, pp. 49-58. Grupo Português de Computacao Gráfica (Eurographics Portuguese Chapter). 2-5 de julio de 2002. Guimaraes, Portugal.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### Aplicación de la informática en la actividad de proyectos. Una innovación tecnológica.

CORUGEDO MÉNDEZ, Ángel Alberto.

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría, Cuba  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Departamento de Gráfica de Ingeniería.  
Correo electrónico: corugedo@mecanica.cujae.edu.cu

### RESUMEN

“La aplicación de las tecnologías informáticas en el proceso de confección de los proyectos de Ingeniería, Arquitectura y productos industriales no es sólo la adquisición de equipos de computo avanzados y de sistemas informáticos de primer nivel. Ello es, además, cambiar la forma de actuación y el pensamiento profesional de los proyectistas. Esto es innovar una tecnología de producción introduciendo nuevos equipos, métodos de trabajo y organización de la actividad”.

El trabajo que se presenta es el resultado de la actividad desarrollada en Cuba por su autor, para la introducción de la informática en Oficinas de Proyectos, enfocada bajo los principios de una innovación tecnológica. En el mismo se describe una estrategia para concebir un Proyecto de Innovación Tecnológica que asegure que este proceso se lleve adelante con eficiencia, integralidad y coherencia.

**Palabras clave:** CAD, Innovación tecnológica, Informática de proyectos.

### 1.- Introducción

La aplicación práctica de las tecnologías informáticas en la actividad de proyectos de ingeniería, arquitectura y productos industriales ha puesto de manifiesto que se trata de un proceso complejo, compuesto por un importante número de factores de carácter objetivo y subjetivo que de no tratarse de forma integral pudieran convertirse en un freno a este proceso.

Cabría entonces plantearse la siguiente interrogante ¿Cuál debe ser el enfoque apropiado para aplicar la informática a la actividad de proyección y qué estrategia de trabajo debe aplicarse en el mismo?.

Este material toma como punto de partida los estudios teóricos y la experiencia práctica de su autor durante 20 años en el proceso de informatización de la actividad

de proyectos de arquitectura, ingeniería y productos industriales, así como en el trabajo de formación de los futuros profesionales y en la actualización de los que ya están en ejercicio. El mismo ha sido concebido de acuerdo a los siguientes objetivos generales:

Analizar la introducción de la informática en el desarrollo de los proyectos de ingeniería y arquitectura como una innovación de la tecnología de proyección.

Evaluar, a partir de las actividades integrantes de un proyecto, el grado de complejidad del proceso de informatización de las mismas y los resultados esperados con el mismo.

Proponer una estrategia de trabajo para aplicar la informática al proceso de proyección.

### **1.1.- Tecnología e innovación tecnológica.**

Generalmente se plantea que tecnología es la aplicación práctica de los descubrimientos científicos. Aunque la idea es cierta, esta formulación no recoge en toda su amplitud este concepto, por lo cual es conveniente comenzar este trabajo por precisar el alcance de un término que está siendo muy utilizado en los últimos tiempos y que tiene una gran incidencia en el desarrollo de la sociedad contemporánea.

Se realizó una búsqueda bibliográfica del concepto entre trabajos de otros especialistas, de forma tal que diera respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Qué es tecnología?. ¿Qué elementos componen la tecnología?. ¿Que fines persigue la tecnología?.

A partir de las ideas expuestas en esas publicaciones se extrajo que: ***Tecnología es el conjunto de términos, procedimientos, equipos, organización del trabajo, habilidades y experiencia resultantes del trabajo científico, ingenieril y empírico para contribuir al desarrollo y satisfacción de las necesidades de la sociedad. Esta compuesta por los aspectos culturales (lo ideológico, los objetivos a lograr en la sociedad, las costumbres que esta tiene, la identidad nacional, la conciencia social, la creatividad profesional, los valores humanos, etc.), los aspectos técnicos (los problemas que resuelve, los conocimientos que genera, capacitación y entrenamiento de la industria, la destreza técnica de la fuerza de trabajo, las máquinas y equipos que se utilizan, los recursos y deshechos materiales, el ámbito científico, etc.) y los aspectos organizacionales (la organización del trabajo, la normalización, la actividad económica y profesional, los usuarios y los consumidores). [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] y [8].***

Esta descripción general del concepto de tecnología puede ser aplicada tanto al procedimiento manual de hacer proyectos como al informatizado. Ambos procedimientos son tecnologías. Aplicando este esquema general a ambas surgen por comparación los cambios conceptuales y procedimentales al que ya se ha hecho referencia, y este cambio tecnológico en la confección de los proyectos no es mas que

una innovación tecnológica en la producción y como tal deben ser abordados por el sector empresarial.

*“La innovación está dada por el uso de herramientas ingenieriles sobre equipos y procesos tecnológicos para obtener mas y mejor producto con menos costo y precio, buscando la competitividad necesaria para comercializar nuevos productos”.*[9]. Es evidente como la introducción de la informática en las actividades de proyección es una innovación de la tecnología de producción de las empresas vinculadas al mismo. Se introduce un equipamiento diferente, se aplican sistemas informáticos, se cambian los métodos de trabajo, se organiza la actividad de forma diferente y se requiere del desarrollo de nuevas habilidades profesionales.

## **1.2.- Actividades componentes de un proyecto.**

Un proyecto de ingeniería, arquitectura o de un producto industrial no es mas que un “conjunto de documentos gráficos o de textos donde se recoge como ha de ser una vez construido un elemento de máquinas, una maquinaria, un equipo o una construcción civil” [10]. La informatización de un proyecto es por tanto su aplicación en los diferentes procesos que se llevan a cabo para confeccionar todos estos documentos.

A fin de poder aquilatar en toda su magnitud y alcance la innovación tecnológica que significa la aplicación de la informática en la actividad de proyección, es conveniente establecer por medio de un enfoque sistémico una visión de las mismas y de sus elementos componentes. Se considera entonces que la proyección es el resultado de un conjunto de acciones dentro de las cuales se pueden considerar como las mas relevantes las que siguen: diseñar, dibujar, consultar, calcular y hacer informes.

Con respecto a esta descripción es oportuno aclarar: Que en todos los proyectos no se ejecutan todas esas acciones, que no siempre estas acciones requieren del mismo tiempo y esfuerzo, que no existe un orden preestablecido en la ejecución de las mismas y que todas ellas están relacionadas entre sí.

Los factores mas significativos que pueden influir en el tiempo y esfuerzo de la acción “proyectar” son: La complejidad del proyecto objeto de trabajo y la experiencia de los especialistas para llevarlo adelante. De todo lo expuesto hasta ahora se deriva que la aplicación de la informática a la acción objeto de análisis (proyectar) implica su aplicación en todas las actividades componentes.

## **2.- El proceso de informatización.**

Para lograr que esta innovación tecnológica sea integral y coherente debe ser trabajada en cuatro direcciones principales: La implementación o automatización de todas las actividades a desarrollar dentro del proyecto, la capacitación de los profesionales y técnicos participantes, la reorganización del trabajo de proyección y la introducción de una nueva normalización empresarial.



## **2.1.- Automatización de las tareas de proyecto.**

Desde el epígrafe 4 de este trabajo fue planteado como alternativa principal de la informatización la necesidad de aplicar sistemas informáticos a las diferentes actividades que conforman un proyecto (figura No. 2). Bajo esta dirección de trabajo se incluye la selección de los sistemas ha utilizar en los proyectos objeto de trabajo y la personalización o adaptación de los mismos a las necesidades empresariales. Esto último es precisamente lo que mayor volumen de tiempo y esfuerzo consume.

Dentro de esta dirección de trabajo se deben alcanzar los siguientes resultados:

- ✓ La introducción de la modelación tridimensional como una herramienta para el diseño de productos.
- ✓ La aplicación de la simulación en la comprobación y/o determinación de las dimensiones u otros parámetros de un diseño.
- ✓ La utilización de sistemas de bases de datos para el tratamiento de toda la información complementaria al proyecto.
- ✓ La implementación de las técnicas de la Ofimática en el desarrollo de informes, memorias descriptivas, estudios de todo tipo, presentaciones, etc.
- ✓ La explotación de las redes y servidores de proyectos para el trabajo en grupos.
- ✓ El diseño y desarrollo de bibliotecas gráficas para incrementar la productividad del trabajo de diseño y dibujo.
- ✓ La aplicación de la relación o vinculación interdocumental para mantener actualizada toda la documentación de trabajo.
- ✓ La utilización de los medios de comunicación de Internet o INTRANET para la manipulación de la documentación de trabajo del proyecto.

## **2.2.- La capacitación de los proyectistas.**

En un segundo nivel de importancia de la formación tecnológica de la actividad de proyección se encuentran las acciones encaminadas a lograr una capacitación y/o actualización continua de los proyectistas. Sin un colectivo de especialistas debidamente preparado para el cambio sería imposible llevar adelante la tarea. Los resultados que se deben obtener en este sentido son:

- ✓ El desarrollo de una cultura general e integral sobre la formación que se está aplicando en el contexto empresarial.
- ✓ El entrenamiento de todos los proyectistas en la formación de los sistemas informáticos que son objetos de explotación en cada área.

- ✓ La preparación de los directivos de acuerdo con sus funciones para interpretar el cambio que se efectúa y la suficiente visión para prevenir el futuro de estas técnicas de trabajo.
- ✓ La formación de los especialistas encargados de la Gerencia Informática de los Proyectos en cada área objeto de trabajo.

### **2.3.- La organización del trabajo.**

El cambio tecnológico genera nuevas situaciones de carácter organizativo, por los cual es necesario introducir algunos cambios en este sentido. Los resultados que deben alcanzarse en esta dirección de trabajo son:

- ✓ La creación y formación del Gerente Informático de Proyectos como especialista encargado de llevar adelante todo lo relacionado con la organización, administración y control de la documentación digital del proyecto.
- ✓ Aplicar la tecnología PDM (product data management) en el control del flujo de la documentación de los proyectos.
- ✓ Establecer sistemas de trabajos en grupos con servidores de proyectos y niveles de acceso a la documentación de los proyectos y las bases de datos.
- ✓ La confección de plantillas de trabajo donde se materialicen los formatos para la presentación de la documentación de proyectos.

### **2.4. La normalización del trabajo.**

La informatización plantea también el desarrollo de acciones en el campo de la normalización empresarial. Bajo este aspecto se deben alcanzar los siguientes resultados:

- ✓ La confección de un sistema de normas empresariales donde se recojan las mediadas organizativas elaboradas y los aspectos conceptuales que se aplican en cada empresa.
- ✓ El desarrollo de los procedimientos de calidad relacionados con la actividad de proyección de cada área.

## **3.- Estrategia de trabajo para la informatización.**

Después de haber analizado el concepto de tecnología, las direcciones de trabajo que deben ejecutarse para llevar adelante el proceso de informatización de la actividad de proyección es el momento de exponer la principal idea derivada de todo este análisis:

***La informatización del proyecto de ingeniería, arquitectura y productos industriales, no es la adquisición de equipos de computo de última tecnología y de sistemas informáticos de primer nivel en el ámbito mundial. Ello es en realidad, una innovación de la tecnología de proyección, que originan una nueva forma de actuación laboral y un nuevo pensamiento profesional.***

Es esa la principal idea conceptual que debe servir de guía en este proceso, para lograr que el mismo sea integral y coherente. Es por tanto el momento oportuno de hacer la siguiente pregunta ¿Cómo debe ser concebido el proceso de innovación tecnológica de la actividad de proyección en una empresa?

Este proceso se concibe como un Proyecto de Informatización, que como cualquier otro proyecto transita por las etapas de: Estudio de factibilidad, Anteproyecto, Estrategia de Capacitación, Ejecución del proyecto.

#### **4.- Conclusiones.**

La concepción principal de este trabajo tal y como se expuso en la introducción, parte de su propia aplicación en el sector industrial y de este han salido las observaciones y consideraciones que lo originaron. Sin embargo, es oportuno relacionar algunas situaciones contextuales que están limitando en algunos casos y frenando en otro este proceso:

- ✓ En el sector empresarial no se identifica, o mejor dicho no se conceptualizan los procedimientos de trabajo aplicados para confeccionar un proyecto como una tecnología de producción. Por tal razón es más difícil reconocer en el proceso de informatización una innovación tecnológica.
- ✓ Aunque esta idea pueda aparecer algo repetitiva es oportuno enfatizar que la informatización de proyectos no es hacer lo mismo de otra forma. Es proyectar con una concepción y métodos nuevos de trabajo. Si en una empresa adquieren un equipo de computo y en el mismo instalan, por ejemplo, el sistema AutoCAD, y comienzan a dibujar con él de forma interactiva, sin dar un solo paso para su personalización, lo único que se ha hecho es cambiar una mesa de dibujo por la pantalla de una computadora, o sea, están haciendo lo mismo de otra forma. En esto radica la diferencia.
- ✓ El proceso de informatización de la actividad de proyectos no está creciendo de la misma forma que en el resto de las actividades de la sociedad. En esto incide esencialmente la resistencia al cambio que se observa entre algunos especialistas y directivos, ya que aún no han sentido la necesidad de modificar la “forma de hacer” en la actividad de proyección.
- ✓ Para finalizar esta exposición es oportuno retomar los objetivos de este trabajo expuesto al inicio del mismo. Se puso de manifiesto que este proceso es esencialmente una innovación tecnológica dentro de la actividad de proyección. También quedó evidenciado la complejidad del trabajo de

informatización de todo lo que se hace para confeccionar un proyecto, así como los resultados que de estos cambios se esperan y por último se propuso una síntesis de una estrategia de trabajo para llevar adelante estas ideas.

## **5.- Referencias bibliográficas.**

- [1]: Flores Corbelle, M. y otros: “Técnica y tecnología ¿Sinónimos?”, (citando a; Diccionario pequeño Larouse), Tecnología y Sociedad Tomo I, pág. 13, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [2]: Flores Corbelle, M. y otros: “Técnica y tecnología ¿Sinónimos?”, (citando a; Saenz, T. y E. Capote: Ciencia o innovación tecnológica, Ed. Academia de Ciencias, Cuba, 1993). Tecnología y Sociedad Tomo I, pág. 13, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [3]: Flores Corbelle, M. y otros: “Técnica y tecnología ¿Sinónimos?”, (citando a; Colectivo de autores: Problemas sociales de la Ciencia y la Tecnología, Ed. Feliz Varela, La Habana, 1994), Tecnología y Sociedad, Tomo I, pág. 13, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [4]: Flores Corbelle, M. y otros: “Técnica y tecnología ¿Sinónimos?”, (citando a; Arnold Pacey: La cultura de la tecnología), Tecnología y Sociedad Tomo I, pág. 13, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [5]: Saenz Sánchez, T.: “Ingenierización e innovación tecnológica”, Tecnología y Sociedad, Tomo I, pág. 44, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [6]: García Capote, E.: “Surgimiento, evolución y perspectiva de la política de ciencia y tecnología en Cuba”, Tecnología y Sociedad, Tomo I, pág. 72, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [7]: Armenteros Acosta, M. del C.: “Transferencia de Tecnología: ¿Dependencia o aprendizaje?”, Tecnología y Sociedad, Tomo I, pág. 100, Grupo de Investigaciones Sociales, Dpto. de Ediciones, ISPJAE. Cuba, 1998.
- [8]: Anónimo: “Glosario sobre: Planificación y Gestión de Ciencia y Tecnología”, Revista Ciencia y Sociedad, Vol. XVII, No. 2, págs. 202-212, UNESCO/STS, 1992.
- [9]: Anónimo: “Política y Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica del SIME”, Dirección de Ciencia y Tecnología, Ministerio de la Industria Sidero Mecánica, Cuba, 2000.

- [10]: Corugedo Méndez. A.: “Consideraciones para la estructuración de un sistema de habilidades para la enseñanza del CADD en la carrera de Ingeniería Mecánica”, Tesis defendida en opción al título de Master en Informática Aplicada, CREPIA, Ciudad de La Habana, 1997.

# DISEÑO DE PILARES TRENZADOS DE SECCIÓN VARIABLE

DELGADO OLMOS, Angel Humberto (1); MARQUEZ GARCIA, M. Luisa (2)

<sup>(1)</sup> Universidad de Granada, España  
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la  
Correo Electronico: [ahdolmos@ugr.es](mailto:ahdolmos@ugr.es)

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada, España  
E.T.S. Arquitectura, Departamento Matemática Aplicada  
Correo Electrónico: [mmarquez@ugr.es](mailto:mmarquez@ugr.es)

## RESUMEN

Los pilares de sección variable se adaptan mejor a las necesidades estructurales que a la función. Así un pilar cuya sección disminuye con la altura supone un mejor aprovechamiento de la materia con el que está fabricado.

Por otro lado los pilares compuestos permiten un mejor encauzamiento de las cargas que soportan el pilar y una mayor libertad de diseño en cuanto a la obra de fábrica que transmite su carga al pilar.

Por todas estas razones funcionales así como por el alto contenido estético de los pilares compuestos se usan cada vez mas sobre todo en obras en las que el componente estético es esencial.

En la presente ponencia se propone una metodología de diseño de pilares trenzados por cuatro elementos. Se aportan los algoritmos de generación de estos elementos y su implementación en ordenador.

**Palabras clave:** Diseño avanzado, pilares trenzados, modelado de superficies, análisis de elementos finitos, modelado, implementación de algoritmos.

## ABSTRACT

The pillars of variable section adapt better to the structural necessities than to the function. A pillar whose section diminishes with the height supposes this way a better use of the material with which is manufactured.

On the other hand the compound pillars allow a better orientation of the loads that support the pillar and a bigger design freedom as for the factory work that transmits their loads to the pillar.

For all these functional reasons as well as for the high aesthetic content the compound pillars are used every time but mainly in works in those that the aesthetic component is essential.

## 1. Introducción

El diseño de pilares trenzados requiere en primer lugar la definición de cada uno de los componentes o "hilos" que van a componer el trenzado.

En esta ponencia se ha partido de la idea de que el área de la sección de cada hilo disminuye a medida que se va subiendo por el pilar. Con ello se responde a las necesidades estructurales del pilar como es sabido.

También se ha pretendido dar una gran libertad en cuanto al tipo de sección geométrica, partiendo de seis puntos de control cuya posición relativa es susceptible de variarse lo que da lugar a infinitas posibilidades de diseño.

Cada hilo se forma a partir de dos superficies generadas según el algoritmo que se describe, el conjunto de los cuatro hilos conforma el pilar trenzado.

La observación de la metodología seguida muestra las infinitas soluciones de diseño que se puede llegar por este camino cambiando las posiciones de los puntos y su agrupamiento.

Se han incluido ejemplos de diseño de varios pilares con distintos posicionamientos de los hilos que lo forman para mostrar las posibilidades que ofrece el método.

## 2. Algoritmo de generación de la superficie

La curva (Figura 1) que pasa por dos puntos  $P_0$  y  $P_1$  tendrá una ecuación vectorial

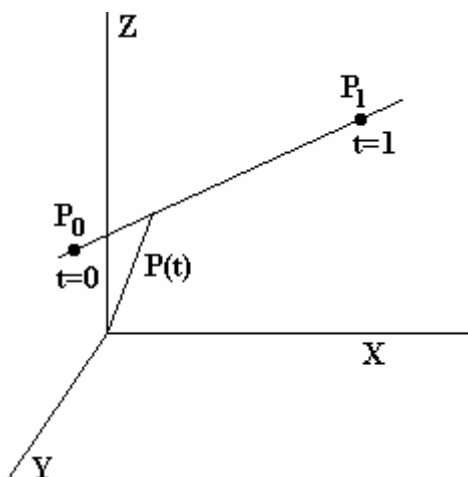


Figura 1

$$f_i(t) = \frac{\prod_{j=0, j \neq i}^1 (t - t_j)}{\prod_{j=0, j \neq i}^1 (t_i - t_j)} \quad (2)$$

que cumplen:

$$\left. \begin{aligned} f_i(t_j) &= 1 & \text{Si } i &= j \\ f_i(t_j) &= 0 & \text{Si } i &\neq j \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Entrando con los valores de (2) en (1) quedaría que la ecuación de  $\mathbf{P}(t)$  pues matricial sería:

$$\mathbf{P}(t) = (\mathbf{P}_0 \quad \mathbf{P}_1) \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Análogamente la curva (Figura 2) que pasa por tres puntos  $\mathbf{P}_0$ ,  $\mathbf{P}_1$  y  $\mathbf{P}_2$  tendrá un vectorial:

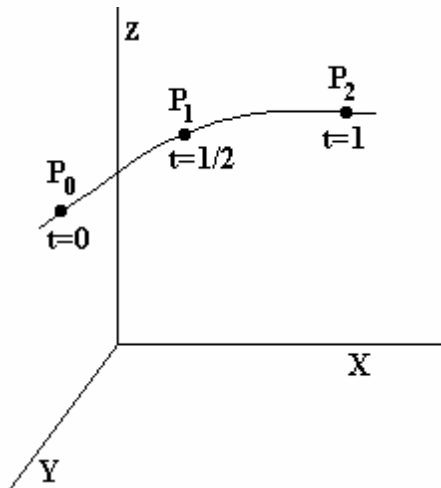


Figura 2

$$\mathbf{P}(t) = \sum_{i=0}^{i=2} f_i(t) \mathbf{P}_i \quad (5)$$



que cumplen (3)

Entrando con los valores de (6) en (5) quedaría que la ecuación de  $\mathbf{P}(t)$  pues matricial sería:

$$\mathbf{P}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{P}_0 & \mathbf{P}_1 & \mathbf{P}_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -3 & 2 \\ -2 & 4 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t^2 \\ t \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Si se efectúa el producto tensorial de la expresión (7) por la (4) se llega, después de operaciones y desglosar los vectores en sus componentes, a que:

$$\left. \begin{aligned} x &= acx_{00} + bcx_{10} + adx_{01} + bdx_{11} + aex_{02} + bex_{12} \\ y &= acy_{00} + bcy_{10} + ady_{01} + bdy_{11} + aey_{02} + bey_{12} \\ z &= acz_{00} + bcz_{10} + adz_{01} + bdz_{11} + aez_{02} + bez_{12} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Que son las ecuaciones paramétricas de la superficie (Figura 3) que pasa por los puntos  $\mathbf{P}_{ij}$   $i=0,1,2, j=0,1,2,3,4$  dados

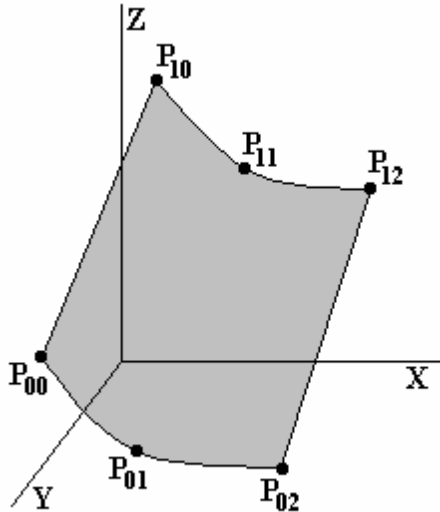
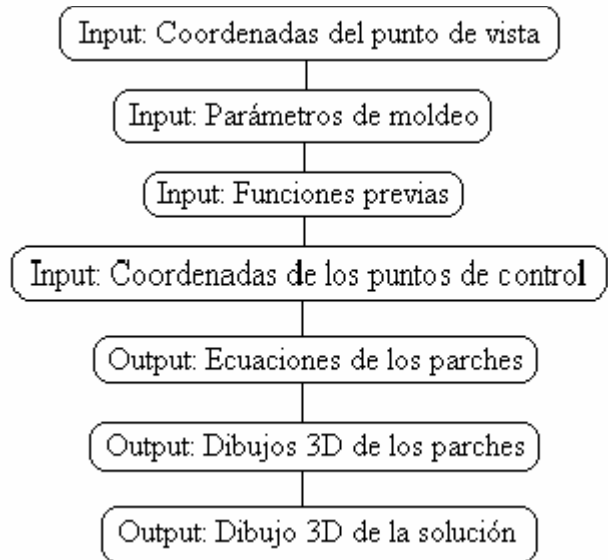


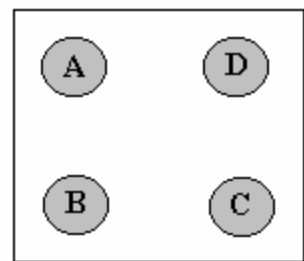
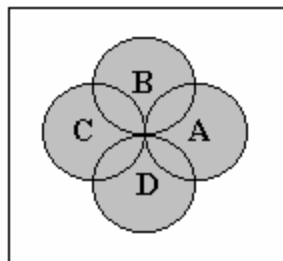
Figura 3

### 3. Implementación



#### 4. Ejemplo 1

En el presente ejemplo se diseñó un pilar trenzado de cuatro hilos en el que la base de los hilos en la base del pilar es la que muestra la Figura 4. En la parte superior del pilar 5) los hilos se abren para adoptar una forma cuadrada en cuanto a su posición relativa.



*Figura 4. Base del pilar*

*Figura 5. Parte superior del pilar*

La figura 6 muestra una perspectiva desde abajo del pilar con sus cuatro hilos. Se puede observar como los hilos se trenzan. En la base los hilos se solapan según el esquema de la figura 4 para irse despegando y abriéndose hasta llegar en la parte superior del pilar a una disposición sensiblemente cuadrada (Figura 5).

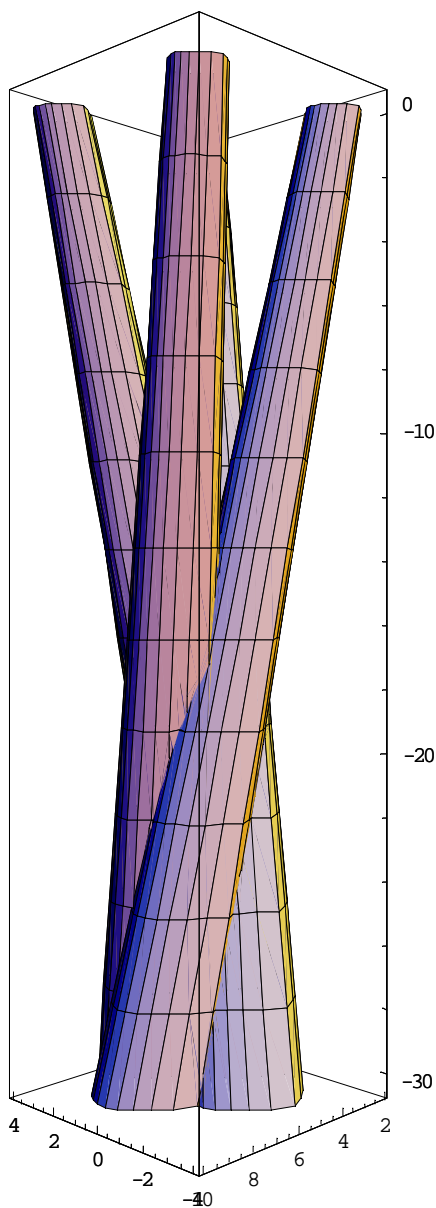


Figura 6 Vista desde abajo del pilar

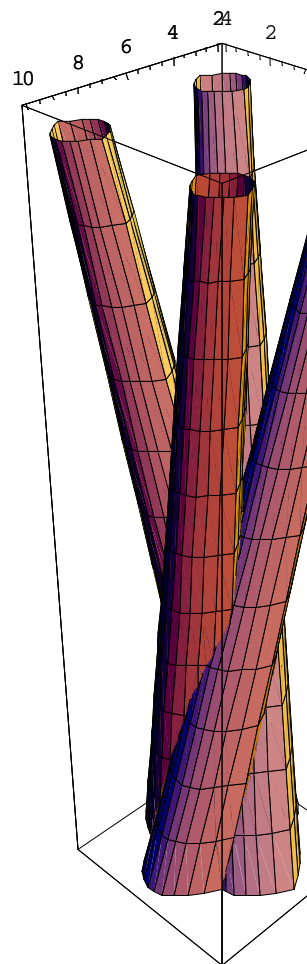
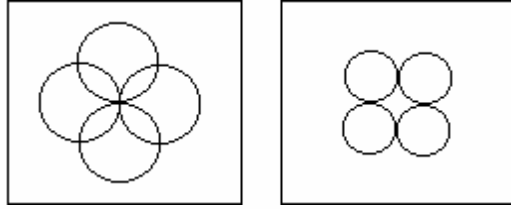


Figura 7 vista superior del pilar

## 5. Ejemplo 2

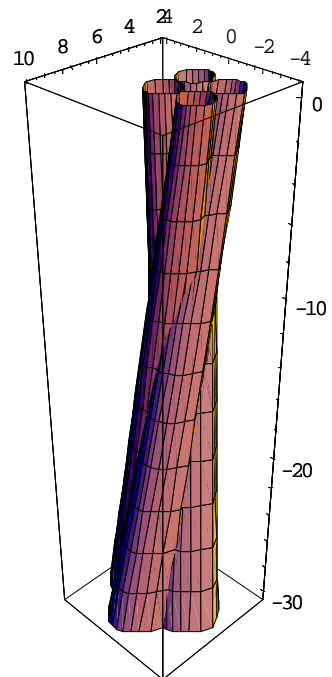
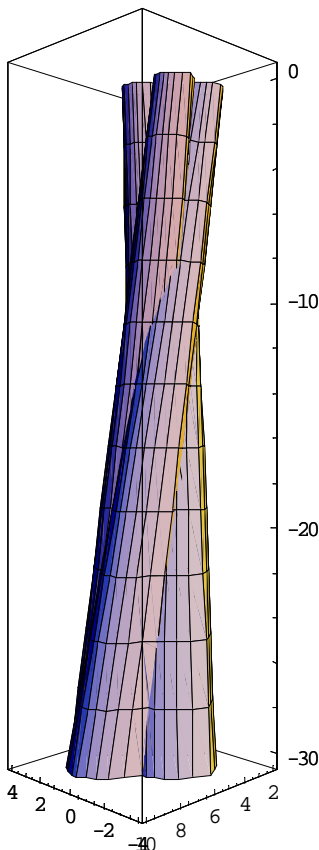
En el presente ejemplo se diseña un pilar trenzado de cuatro hilos en el que la forma de los hilos en la base del pilar es la que muestra la figura 8. En la parte superior del pilar (figura 9) los hilos se abren para adoptar una forma cuadrada en la que los hilos aparecen ad



*Figura 8 Base del pilar      Figura 9 Parte superior del pilar*

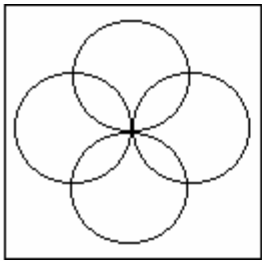
La figura 10 ofrece una vista desde abajo del pilar en la que se puede apreciar c Este tipo de vistas relejan bien los aspectos estéticos del pilar en cuanto están tomad observadores mirarian la obra.

La figura 11 da una vista superior del pilar en la que se ven como los hilo adosados muestran una disposición adecuada para soportar cargas concentradas en pequeña al contrario que en el ejemplo anterior.

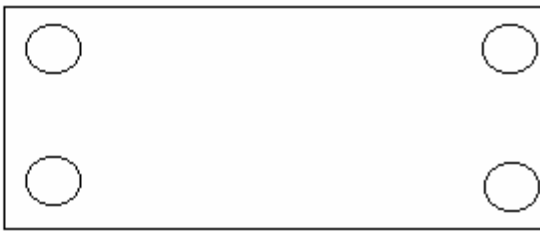


### 6. Ejemplo 3

En el presente ejemplo se diseñado un pilar trenzado de cuatro hilos en el que la los hilos en la base del pilar es la que muestra la figura 12. En la parte superior del p 13) los hilos se abren para adoptar una forma cuadrada en la que los hilos aparecen a

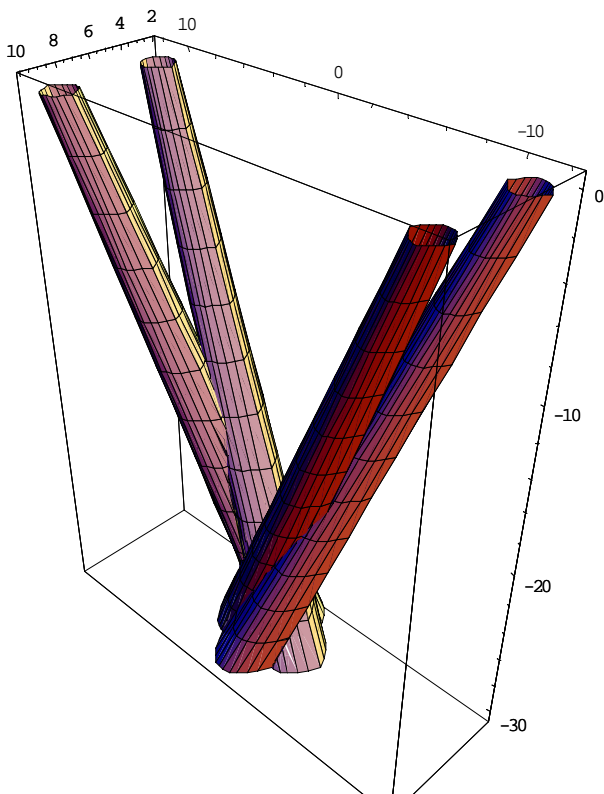


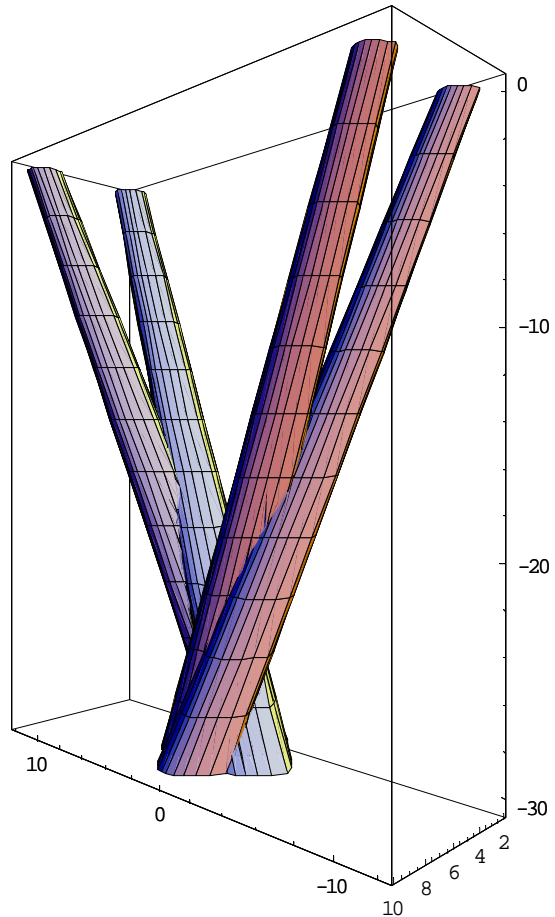
*Figura 12 Base del pilar*



*Figura 13 Parte superior del pilar*

La figura 14 muestra una vista superior del pilar en la que se puede apreciar la de los hilos del pilar idónea para servir de soporte a plataformas rectangulares. Esta resulta muy apropiada para su uso en pilares de puentes en los que la sección tr bastante menor que la longitudinal.





*Figura 15 Vista desde abajo del pilar*

## 7. Conclusiones

Los pilares compuestos se adaptan mejor a las necesidades estructurales que los simples al permitir unas posibilidades de apoyo muy variables. Si a esto se une la posibilidad de variar la sección resistente, de acuerdo con las cargas actuantes en cada altura del pilar, la metodología del modelo, para adaptarse a los distintos requerimientos, es extraordinaria.

Los pilares de formas trenzadas aportan grandes valores estéticos y están dotados de gran belleza.

La metodología que se expone en la ponencia permite generar pilares trenzados de cualquier forma. Los ejemplos que se han aportado son solo una pequeña muestra de las posibilidades del método. La variación en la posición de los puntos de control de la metodología, como su agrupamiento en grupos de seis puntos permite diseñar soluciones muy diversas.

## **Bibliografía**

- [1] Delgado Olmos, A. ; "Modelado de superficies polinomiales y su aplicación a..." Tesis Doctoral. Universidad de Granada 1995
- [2] Delgado Olmos, A. ; Cobos Gutiérrez; C; "Modelado de superficies polinomiales por una red de puntos fijos", Jaén (España) VIII Congreso Internacional de Ingeniería. Publicaciones de la Universidad de Jaén 1996. ISBN: 84-88942-71-0
- [3] Delgado Olmos, A. ; "Diseño de Superficies Regladas de Generatrices Equidistantes", Logroño-Pamplona (España) XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Secretaría del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.1999. ISBN: 84-699-0475-2
- [4] Delgado Olmos, A. ; "Obras lineales de formas singulares. Geometría de diseño", Jaén (España) XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Secretaría del XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.2000. ISBN: 84-8448-008-9
- [5] Delgado Olmos, A. ; "Diseño y análisis de formas arquitectónicas singulares y tecnologías para su realización", Barcelona (España) VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica Arquitectónica, Servei d'Informació, Imatge i Publicacions UPC 2000 . ISBN: 84-743-3
- [6] Delgado Olmos, A. ; "Formas de sección variable. Una metodología de diseño", Jaén (España) XIII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, Secretaría del XIII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos 1997 . ISBN: 84-88783-30-2
- [7] Delgado Olmos, A. ; "Carreteras-Obras de Fábrica. Diseño con Formas Singulares", Jaén (España) I Congreso Andaluz de Carreteras, R.S. Madrid 1998 . ISBN: 84-89875-01-1
- [8] Delgado Olmos, A. ; "Diseño de estructuras arbóreas", Granada (España) V Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Edificación, S.D.G.LI. Granada 2001 . ISBN: 84-6561-1
- [9] Blachman, N.; "Mathematica. Un enfoque práctico" Ariel Informatica, Barcelona 1998. ISBN:84-344-0478-8
- [10] Bohm, W. ; "Geometrics Concepts for Geometric Design A.K. Peters , Boston, Massachusetts.1994.
- [11] Farin, G.; "Curves and surfaces for computer aided geometric design" Academic Press INC.1988.
- [12] Gasca, M. ; "Calculo Numerico", UNED 1990

# SUPERFICIES REGLADAS CONTROLADAS POR PUNTOS. Y CONTRACCIÓN DEL MODELO. APLICACIÓN AL DISEÑO UNA CUBIERTA SINGULAR

DELGADO OLMOS, Ángel Humberto (1); MÁRQUEZ GARCÍA, M. Luisa (2)

<sup>(1)</sup> Universidad de Granada, España  
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Construcción  
Correo Electronico: [ahdolmos@ugr.es](mailto:ahdolmos@ugr.es)

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada, España  
E.T.S. Arquitectura, Departamento Matemática Aplicada  
Correo Electrónico: [mmarquez@ugr.es](mailto:mmarquez@ugr.es)

## RESUMEN

Las superficies regladas tienen una gran aplicación tanto en arquitectura como en ingeniería civil por su fácil cálculo estructural y construcción.

Una forma de generar estas superficies es mediante algoritmos que, a través de una serie de puntos de control, permiten obtener una gama de soluciones mas allá de las formas regladas.

A su vez estos algoritmos pueden presentar la posibilidad de, mediante la contracción de los puntos de control, sacar mas partido a sus posibilidades de diseño.

Por otro lado una especial disposición de los parches constitutivos de la forma total, coincidan en sus bordes rectos facilita la unión entre este tipo de superficies regladas.

En la presente ponencia se presenta el modelo de generación de estas superficies y su implementación en ordenador. Posteriormente se ha diseñado una cubierta usando este tipo de superficies y haciendo las operaciones de contracción y unión entre parches para lograr la solución final.

**Palabras clave:** superficies regladas, cubiertas, algoritmos de generación de superficies, implementación de algoritmos de diseño

## ABSTRACT

The ruled surfaces have a great application as much in architecture as in the works of civil engineering by their easy structural calculation and construction.

A form of generating these surfaces is by means of algorithms that, through a series of a set of control points, they allow to obtain a range of solutions but there in the ruled classic ways.

In turn these algorithms can present the possibility of, by means of the contraction of the control points, take out but party to their design possibilities.

On the other hand a special disposition of the constituent patches in the total way so that their right borders it facilitates the union among this type of ruled surfaces.



## 1. Introducción

El diseño de cubiertas de faldones no planos implica el diseño de una serie de superficies que formaran las distintas vertientes de la cubierta. Adjunto a este problema aparece la necesidad de determinar las distintas curvas de unión entre estas superficies curvas.

En esta ponencia se ha presentado una metodología de diseño, de este tipo de cubiertas, la que se generan las distintas vertientes curvas de la cubierta a través de unos algoritmos que posibilitan un diseño más operativo ya que permite generar estas superficies con gran flexibilidad de formas a la vez que permite que estas encajen entre sí cerrando total mente la cubierta.

La versatilidad del método permite ir generando soluciones a partir del cambio de los puntos de control con gran facilidad.

En el proceso expositivo de la ponencia se aportan los algoritmos que van a generar las distintas superficies que componen la cubierta y luego se indica el proceso de implementación.

Por ultimo se propone el diseño de una cubierta de planta sensiblemente cuadrada como ejemplo de aplicación de la metodología.

## 2. Algoritmo de generación de la superficie

La curva (Figura 1) que pasa por dos puntos  $P_0$ , y  $P_1$  tendrá una ecuación vectorial

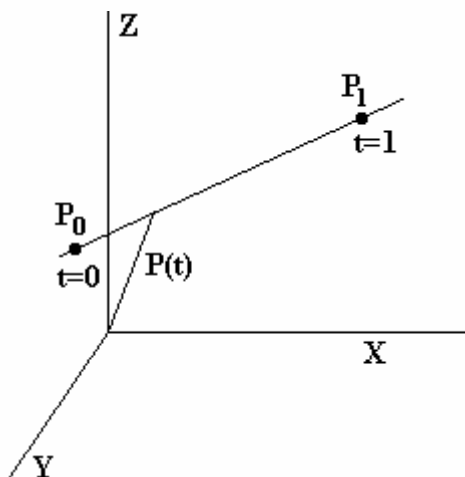


Figura 1. Curva controlada por dos puntos

$$P(t) = \sum_{i=1}^{i=1} f_i(t) P_i \quad (1)$$

$$f_i(t) = \frac{\prod_{j=0, j \neq i}^1 (t - t_j)}{\prod_{j=0, j \neq i}^1 (t_i - t_j)} \quad (2)$$

que cumplen:

$$\left. \begin{aligned} f_i(t_j) &= 1 & \text{Si } i &= j \\ f_i(t_j) &= 0 & \text{Si } i &\neq j \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Entrando con los valores de (2) en (1) quedaría que la ecuación de  $\mathbf{P}(t)$  pues matricial sería:

$$\mathbf{P}(t) = (\mathbf{P}_0 \quad \mathbf{P}_1) \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Análogamente la curva (Figura 2) que pasa por tres puntos  $\mathbf{P}_0$ ,  $\mathbf{P}_1$  y  $\mathbf{P}_2$  tendrá un vectorial:

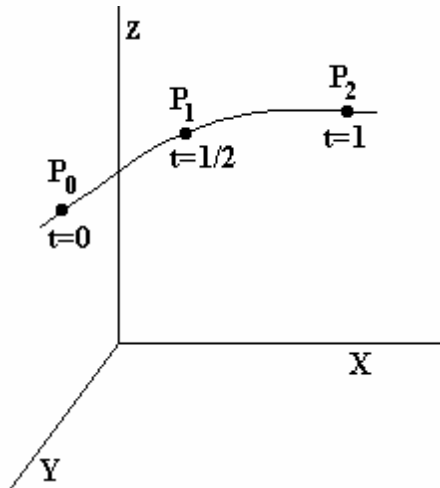


Figura 2. Curva controlada por tres puntos

$$\mathbf{P}(t) = \sum_{i=0}^{i=2} f_i(t) \mathbf{P}_i \quad (5)$$

donde las  $f_i(t)$  son polinomios de Lagrange cuya expresión sería:

que cumplen (3).

Entrando con los valores de (6) en (5) quedaría que la ecuación de  $\mathbf{P}(t)$  pues matricial sería:

$$\mathbf{P}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{P}_0 & \mathbf{P}_1 & \mathbf{P}_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -3 & 2 \\ -2 & 4 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t^2 \\ t \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Si se efectúa el producto tensorial de la expresión (7) por la (4) se llega, después de operaciones y desglosar los vectores en sus componentes, a que:

$$\left. \begin{aligned} x &= acx_{00} + bcx_{10} + adx_{01} + bdx_{10} + aex_{02} + bex_{10} \\ y &= acy_{00} + bcy_{10} + ady_{01} + bdy_{10} + aey_{02} + bey_{10} \\ z &= acz_{00} + bcz_{10} + adz_{01} + bdz_{10} + aez_{02} + bez_{10} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Que son las ecuaciones paramétricas de la superficie (Figura 3) que pasa por los puntos  $\mathbf{P}_{ij}$   $i=0,1,2$ ,  $j=0,1,2,3,4$  dados. Donde se ha hecho una contracción de tres en uno solo, es decir haciendo que  $\mathbf{P}_{10} = \mathbf{P}_{11} = \mathbf{P}_{12}$

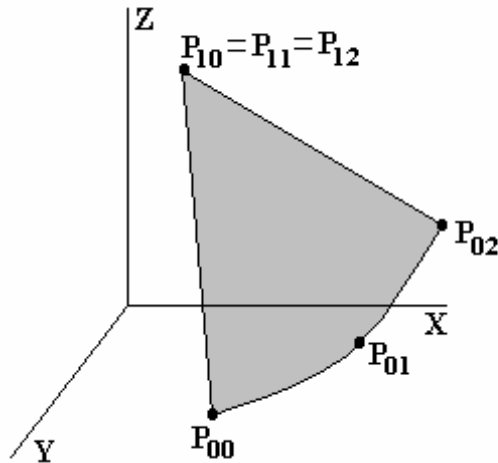
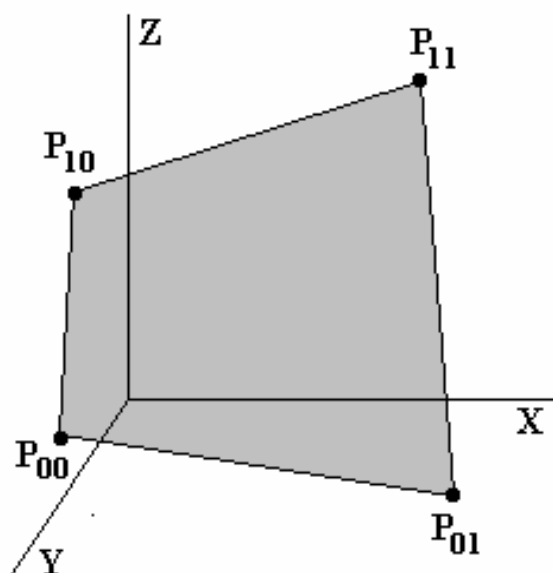


Figura 3. Superficie con contracción controlada por seis puntos

Análogamente si se efectúa el producto tensorial de la expresión (4) por sí misma después de hacer operaciones y desglosar los vectores en sus componentes, a que:

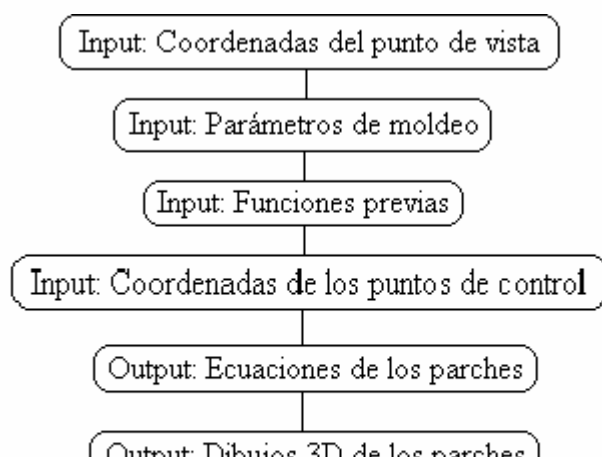
Que son las ecuaciones paramétricas de la superficie (Figura 4) que pasa por los puntos  $P_{ij}$   $i=0,1,2$ ;  $j=0,1,2$  dados.



*Figura 4. Superficie controlada por cuatro puntos*

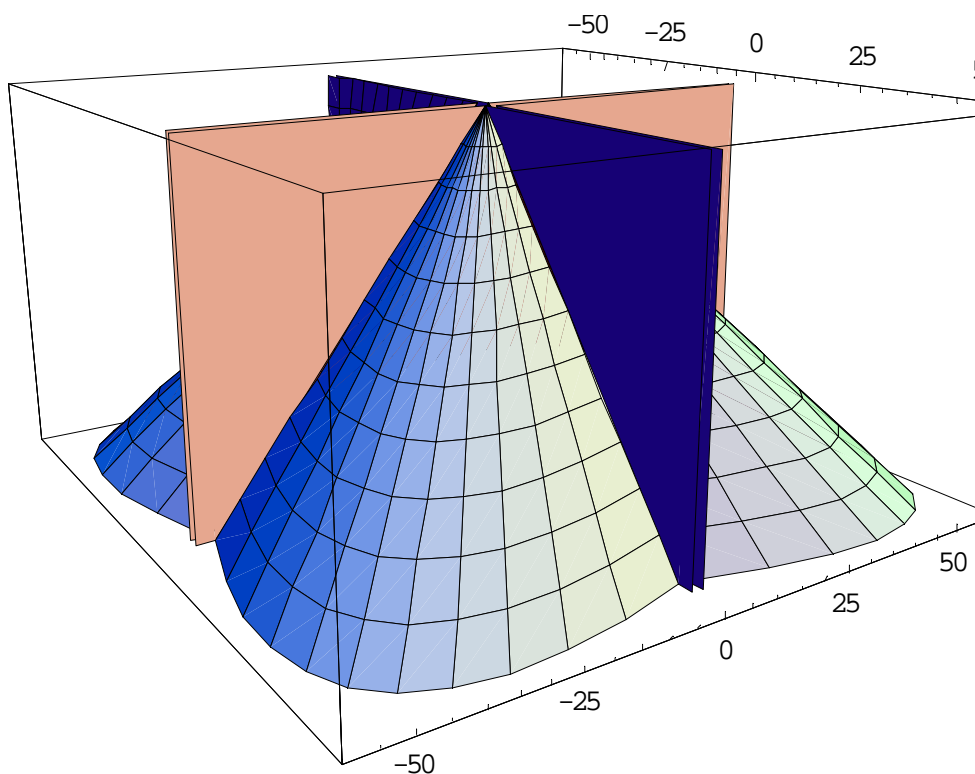
### 3. Implementación

La implementación del algoritmo presentado se ha hecho usando el paquete Maple y su organigrama sería:



#### 4. Diseño de cubierta. Solución 1

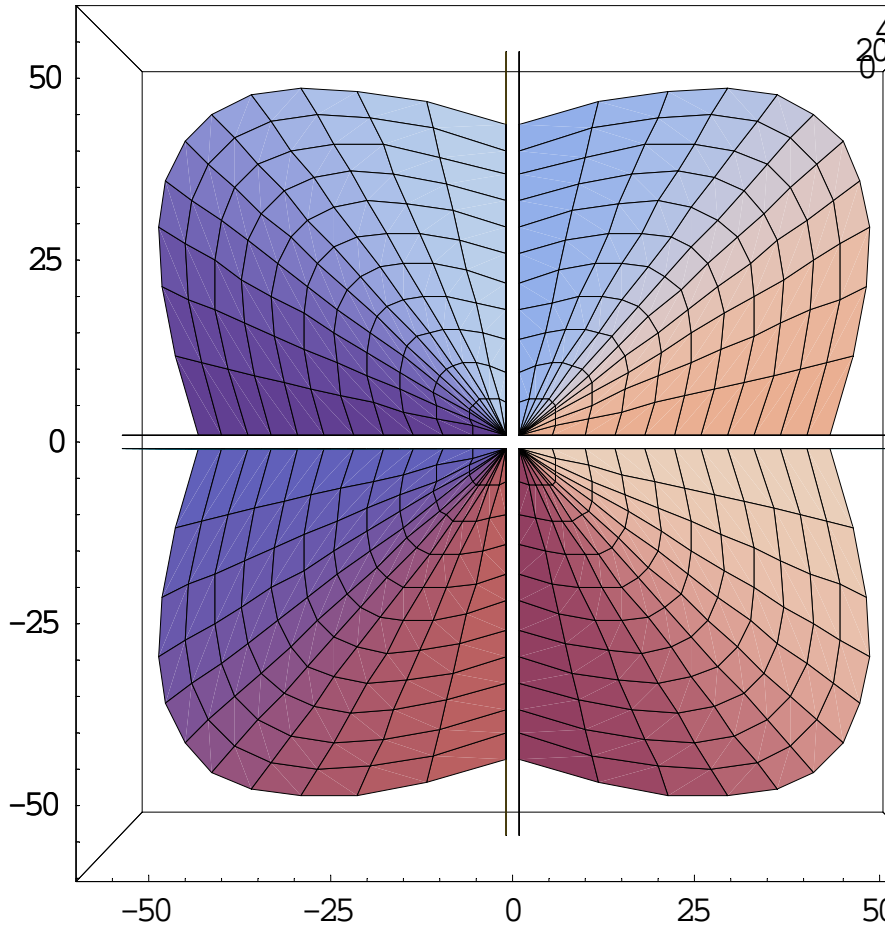
En el presente ejemplo se diseñado una cubierta de planta sensiblemente cuadrada por cuatro superficies curvas controladas por una red de puntos tal como aparece en la que se ha hecho una contracción de tres puntos los  $P_{10}$ ,  $P_{11}$  y  $P_{12}$ , en uno solo. Para una mayor capacidad resistente al conjunto y mejor estética se han añadido ocho verticales que componen cuatro muros (Figura 5).



*Figura 5. Perspectiva de la solución adoptada*

La figura 6 muestra una planta de la cubierta en la que se observan las superficies de control. Esto simplifica mucho el planteamiento analítico de la solución. Si se deducen las ecuaciones de uno de las cuatro superficies curvas, las ecuaciones de las otras tres son inmediatas. Análogo razonamiento resulta válido en el caso de las superficies verticales.

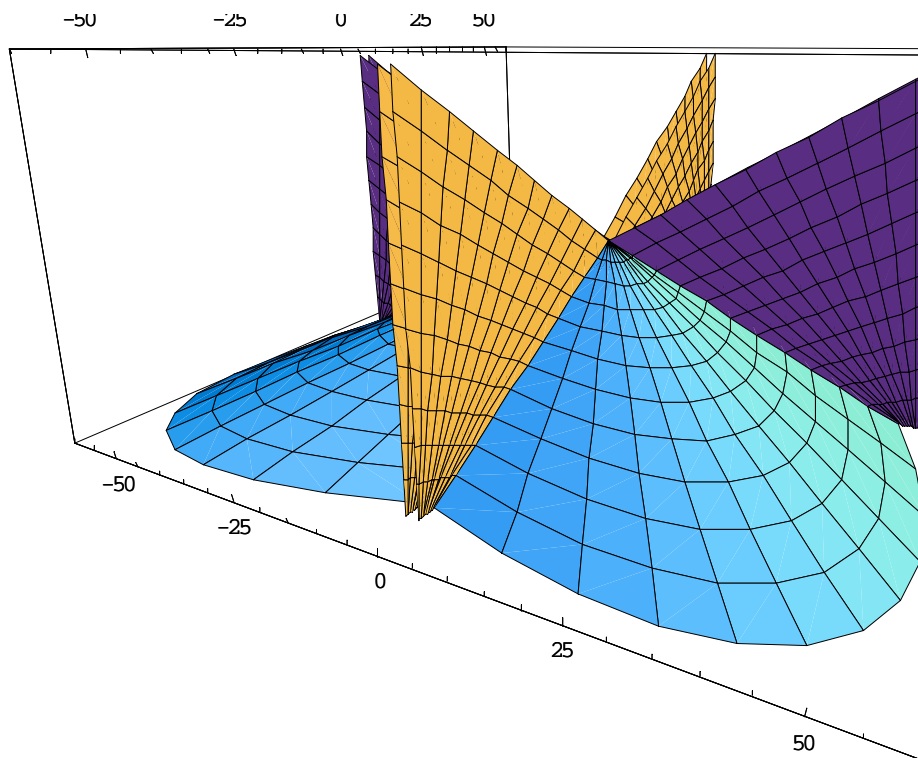
Todo ello es debido al carácter lineal, en las variables coordenadas, de las funciones que intervienen en las ecuaciones paramétricas de las superficies (Ecuaciones 8 y 9).



*Figura 6. Planta de la solución*

## 5. Diseño de cubierta. Solución 2

En el presente ejemplo se diseñado una nueva solución para la cubierta en la que se bajó la cota de la curva borde de las superficies curvas que antes era horizontal y se incluyó en un plano que desciende desde la cota de encuentro con los paramentos verticales, consiguiendo bajar la cota del punto  $\mathbf{P}_{10}$ . (Figura 3).



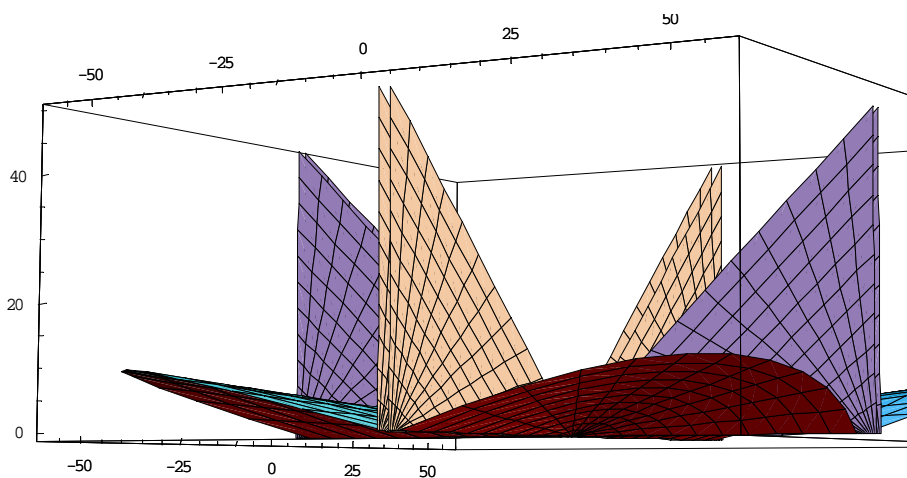
*Figura 7. Perspectiva superior del conjunto de la cubierta*

También se han inclinado la cara superior de los muros verticales variando la  $\alpha$  y  $\beta$  (Figura 4).

Como se puede observar en la figura 7 los encuentros entre los paramentos verticales y las superficies curvas se hace "a tope" ya que las superficies curvas tienen bordes rectos con ellas.

## 6. Diseño de cubierta. Solución 3

En la tercera solución a la cubierta que aparece en la figura 8 se ha logrado una gran belleza de resultados elevando los bordes curvos de las cuatro superficies curvas y acentuando la inclinación de los cuatro bordes superiores de los paramentos verticales.



*Figura 8. Vista general de la cubierta*

## 7. Conclusiones

Las superficies polinomiales, generadas a partir de una red de puntos fijos, permiten abordar grandes aplicaciones dentro de la construcción ya que permiten mucha libertad de formas. Permiten abordar formas más audaces que las conseguidas a partir de las formas tradicionales, manteniendo premisas, como en los casos que aquí se presentan, de obligar a que sea una cubierta.

La metodología que se expone en la ponencia permite generar cubiertas de formas muy diversas. La variación en la posición de los puntos de control de las formas permite obtener soluciones muy diversas de una manera bastante operativa como se ha visto en los ejemplos que se han aportados.

Las simetrías en las formas tan frecuentes en la práctica simplifican mucho el análisis y el diseño así como su implementación.

La metodología que se ha propuesto permite obtener una representación 3D de la forma y, además, determina las ecuaciones paramétricas de ésta. Todo ello dentro de un programa que permite explorar distintas posibilidades de los valores que adoptan los parámetros de moldeo.

La obtención de las ecuaciones de las formas diseñadas posibilita un análisis y una implementación de éstas con motivaciones muy diversas.

## Bibliografía

[1] Delgado Olmos, A. ; "Modelado de superficies polinomiales y su aplicación a la construcción". Tesis Doctoral. Universidad de Granada 1995

[2] Delgado Olmos, A. ; Cobos Gutiérrez, C; "Modelado de superficies polinomiales a partir de una red de puntos fijos". León (España) VIII Congreso Internacional de Ingeniería



[3] Delgado Olmos, A.; "Diseño de Superficies Regladas de Generatrices Equidistantes", Logroño-Pamplona (España) XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Sección de Ingeniería Gráfica. 1999. ISBN: 84-699-0475-2.

[3] Delgado Olmos, A.; "Two tools for the design of cover-roofs: polynomial curves and surfaces", ISAMA 1999, Nathaniel, A. Friedman. San Sebastian 1999. ISBN: 84-930-0000-0.

[5] Delgado Olmos, A.; "Diseño y análisis de formas arquitectónicas singulares y tecnologías para su realización", Barcelona (España) VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica Arquitectónica, Servei d'Informació, Imatge i Publicacions UPC 2000 . ISBN: 84-317-743-3

[9] Blachman, N.; "Mathematica. Un enfoque práctico" Ariel Informatica, Barcelona. ISBN:84-344-0478-8

[10] Bohm, W. ; "Geometrics Concepts for Geometric Design A.K. Peters , Boston, Massachusetts.1994.

[11] Farin, G.; "Curves and surfaces for computer aided geometric design" Academic Press INC.1988.

[12] Gasca, M. ; "Calculo Numerico", UNED 1990



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ESTUDIO Y FUNCIONAMIENTO VIRTUAL DE UNA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE

DE CÓZAR MACÍAS, Óscar D. (1), LADRÓN DE GUEVARA LÓPEZ, Isidro (2),  
CASTILLO RUEDA, Francisca J. (3)

<sup>(1)</sup>Universidad de Málaga, España

Escuela Universitaria Politécnica, Dpto. de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos  
e-mail: [odecozar@uma.es](mailto:odecozar@uma.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Málaga, España

Escuela Universitaria Politécnica, Dpto. de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos  
e-mail: [ilguevara@uma.es](mailto:ilguevara@uma.es)

<sup>(3)</sup>Universidad de Málaga, España

Escuela Universitaria Politécnica, Dpto. de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos  
e-mail: [ficastillo@uma.es](mailto:ficastillo@uma.es)

### RESUMEN

El presente trabajo consiste en la aplicación de técnicas infográficas para el desarrollo, cálculo y diseño de una instalación de calefacción por suelo radiante empleando como energía principal la solar y como auxiliar o de apoyo la combustión de gas natural en una caldera.

Este trabajo forma parte de un libro electrónico que tiene como finalidad enseñar de forma detallada el cálculo y diseño de instalaciones a la vez que permite visualizar de forma real cómo es y cómo funcionan las distintas instalaciones.

**Palabras clave:** Instalación suelo radiante, infografía, realidad virtual, docencia.

## 1. Introducción

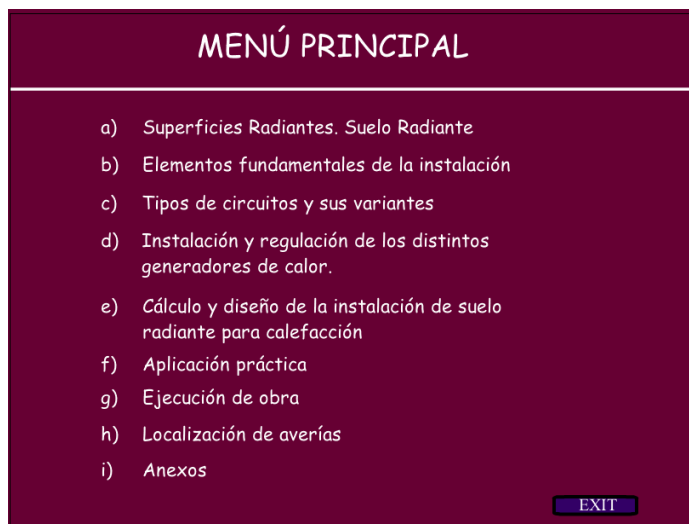
Con este trabajo se pretende mostrar a los alumnos de forma gráfica e interactiva el montaje, cálculo y diseño de un caso práctico de instalación de calefacción por suelo radiante mediante el empleo de la energía solar como fuente principal.

El método de trabajo que a continuación se comentará a seguido las pautas de otros proyectos llevados a cabo con el mismo objetivo, teniendo en cuenta que la función primordial va encaminada hacia una mayor tutorización del alumno por medio de trabajos, proyectos, etc.

## 2. Metodología de trabajo

El proyecto o libro electrónico basa su aplicación en un caso real teniendo así una mayor percepción de lo que el técnico se va a encontrar en su vida profesional. En este caso se ha realizado la instalación de calefacción en una vivienda unifamiliar.

El libro electrónico, además de la demostración de dicha instalación, incluye una amplia descripción de los tipos de instalación de suelos radiantes así como de los distintos elementos que intervienen en la instalación, además del resto de apartados que se pueden observar en la Figura 1.



*Figura 1. Índice del libro electrónico*

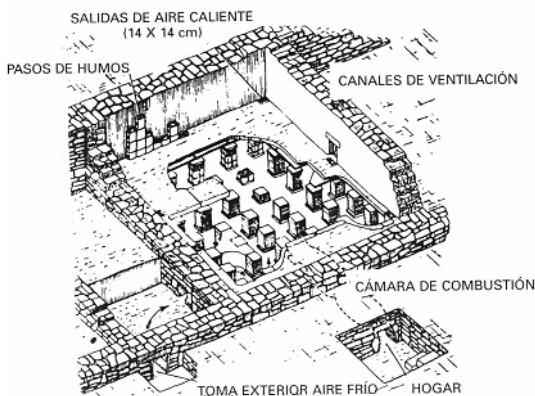
Toda esta información permite al usuario del libro adentrarse en el mundo de la calefacción por suelo radiante, haciéndole partícipe de las diversas posibilidades de montaje, diseño y elección de la mejor solución según la situación en la que se encuentre en cada momento.

El método de trabajo ha consistido en la búsqueda de información acerca de la teoría de los suelos radiantes, su complejidad de diseño e instalación, elementos que participan y las formas de regulación.

### 3. Superficies radiantes

El primer capítulo de superficies radiantes muestra al alumno que una de las formas de transmisión del calor es la radiación. Si se puede mantener alguna superficie interior de la edificación -suelo, paredes o techo- a una temperatura controlada, fría o caliente, para contrarrestar el efecto contrario que penetra transmitiéndose a través de los cerramientos, o por renovación e infiltraciones de aire exterior, esta superficie interior antes mencionada establecería intercambios de calor por radiación con el cuerpo humano y con el resto de superficies y elementos que se encuentran dentro de su radio de «visión» e intercambios convectivos con el aire del ambiente. Cuando el sistema de climatización se basa en lo anterior se tiene un sistema de calefacción o refrigeración por superficie o superficies radiantes. Otro apartado importante que el alumno debe tener en cuenta antes de seguir a lo largo del libro, es la de comprender algunos conceptos como la sensación del bienestar térmico y las condiciones de confort mínimas exigibles.

Se adentra al alumno a conocer los comienzos de este tipo de instalaciones que datan de hace unos 3.000 años y fueron los romanos en el siglo I a.d.C. los que importaron esta técnica de la actual Turquía, dotando a sus termas de pavimentos calientes. En la figura 2 se puede observar la técnica utilizada en los Hypocaustos romanos, técnica que se basa en la circulación de los gases calientes, producto de la combustión en un hogar situado a un nivel inferior al de la zona a calefactar, por canalizaciones situadas debajo del pavimento.



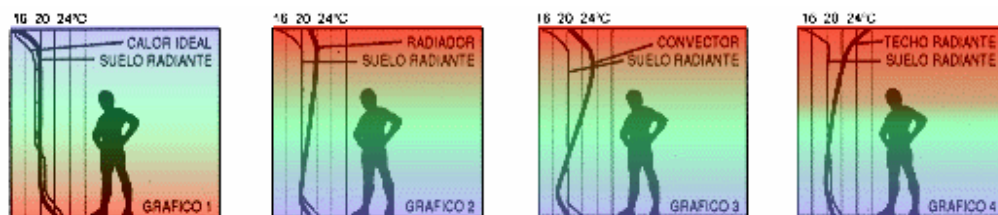
*Figura 2. Hypocausto de una vivienda romana.*

En España el sistema utilizado se denominó las “Glorias” que se define como el sistema de las casas rurales castellanas consistente en un doble suelo por el que circula el aire caliente que produce la paja quemada u otro combustible.

Las calefacciones por tuberías de agua caliente empotradas se conocen y se han ejecutado al menos desde principios del siglo XX, pero el gran desarrollo de las calefacciones por suelo radiante se produce con la aparición de las tuberías flexibles termoplásticas; estas tuberías presentan una mayor facilidad de manejo e instalación, e incluso más fiabilidad que las tuberías de hierro, y son más baratas que las tuberías de cobre recocido (blando y flexible). La posibilidad de calentar el agua en calderas y hacerla circular mediante electrobombas por las tuberías de plástico embutidas en el suelo permite la penetración comercial de esta técnica en el sector del acondicionamiento ambiental de edificios, sobre todo en los países europeos más fríos donde se presenta como una calefacción muy confortable y de bajo consumo de combustible. En la actualidad es un sistema en expansión en España. La facilidad de montaje de las tuberías plásticas y los cada día mejores precios de los elementos que componen las instalaciones facilitan su implantación en buenas condiciones de competitividad con otros sistemas más convencionales y más conocidos.

La energía eléctrica puede ser utilizada también para el calentamiento de superficies radiantes. El llamado hilo radiante es una alternativa a los circuitos de agua. Sin embargo, esta opción parece menos competitiva desde el punto de vista de la factura energética de explotación, a pesar de que su instalación es mas simple, dados los costos actuales de la energía eléctrica, incluso teniendo en cuenta la tarifa nocturna. No obstante, la instalación de suelo radiante eléctrico impide la posibilidad de realizar con el mismo sistema la calefacción y la refrigeración.

La última novedad aparecida en el mercado a principios de los noventa es la utilización de los sistemas radiantes como sistemas de refrigeración. La temperatura del cuerpo humano está sobre los 36,5 °C y en la superficie de la piel es aproximadamente de 32 °C. Éste radiará energía procedente de los procesos metabólicos al ambiente con más facilidad si bajamos la temperatura de las superficies que le rodean. Esto se puede conseguir haciendo circular agua fría por las tuberías embutidas. La posibilidad de usar la misma red de tuberías insertadas en el pavimento para calefacción y refrigeración por radiación aumenta aún más, si cabe, su mercado. El límite de enfriamiento de las superficies lo tendremos en la temperatura de rocío del aire ambiente, que será función de su contenido en humedad, al objeto de evitar las condensaciones de agua. Una variante de este sistema es la instalación en falsos techos de paneles fríos por los que circula agua procedente de máquinas enfriadoras, bombas de calor aire-agua o bombas de calor agua-agua.



*Figura 3. Distribución de temperaturas según distintos tipos de calefacción*

La superficie en la que es más fácil implementar un sistema radiante es el suelo. Las paredes presentan el problema de que se cubren con muebles y otros elementos. El techo es algo menos eficiente dado que las tuberías no se envuelven en morteros sino

que se montan en una cámara de aire que es la que intercambia el calor con el material de construcción, además el intercambio convectivo del techo es más desfavorable, como se puede ver en la figura 3; sin embargo, para sistemas de refrigeración el techo es el lugar idóneo, pues además del intercambio por radiación el intercambio convectivo se ve favorecido.

Desde el punto de vista del confort es idóneo poder controlar la temperatura de todas las superficies que rodean al sujeto, puesto que si el cuerpo humano emite radiación calórica de manera uniforme en todas las direcciones se producirá una mejor sensación de bienestar. Además, desde la perspectiva del ahorro energético, la temperatura de trabajo del fluido podrá ser inferior para el efecto de calefacción y superior para el efecto de refrigeración si las superficies intercambiadoras son paredes, suelos y techos. No obstante, la inversión necesaria para conseguir este objetivo limita evidentemente la instalación a la utilización del suelo en la mayoría de los casos y ocasionalmente al techo, sobre todo para el caso de techos fríos.

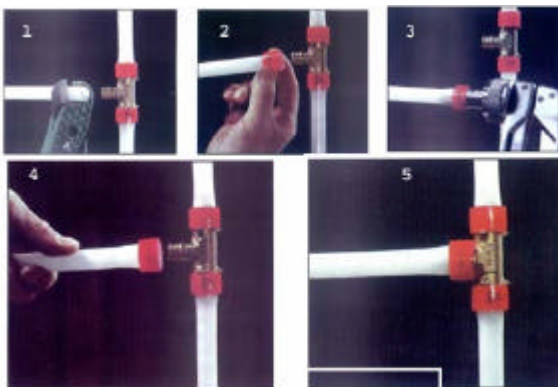
En los siguientes apartados se justifica el porqué se ha de utilizar el suelo radiante, las causas del ahorro energético de este sistema y las aplicaciones del mismo, además de algunas características constructivas que se ha de tener en cuenta a la hora de su instalación.

#### **4. Elementos fundamentales de la instalación**

El segundo capítulo pretende que el alumno conozca todos los elementos participantes y que se han de tener en cuenta en una instalación de calefacción por suelo radiante, como son:

##### **Tuberías plásticas**

Las más utilizadas son las tuberías termoplásticas, de las que están más extendidas el uso de tres tipos: polipropileno copolímero, polibutileno y polietileno reticulado. En la figura 4 se muestran algunos accesorios de este tipo de materiales.



*Figura 3. Pasos para el montaje del sistema Quick&Easy de Polietileno reticulado de la casa Wirsbo®*

## Aislamientos

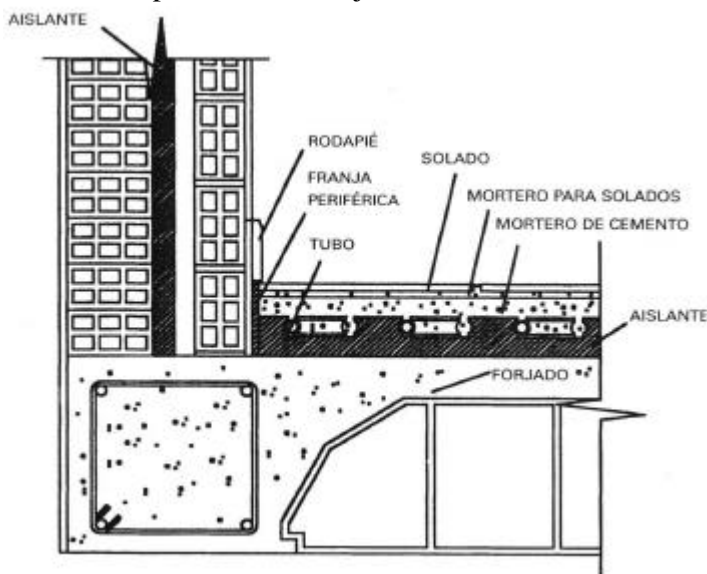
Para evitar que el calor se propague hacia abajo es preciso colocar un aislante entre el forjado y el mortero que cubre los tubos. El material más empleado para este fin es el poliestireno expandido -porexpan- de alta densidad, con una densidad superior a 20 Kg por m<sup>3</sup>. Esta es la densidad mínima para que soporte sin deformaciones la losa del pavimento y todo lo que se encuentre sobre ella. Además del porexpan existen en el mercado otros materiales que pueden usarse como aislamiento base tales como el P.V.C. expandido (cloruro de polivinilo), la lana de roca, el poliuretano, etc. Los fabricantes deberían buscar y ofrecer productos alternativos a algunos de los plásticos mencionados, pues sus procesos de fabricación dejan mucho que desear en cuanto a ser respetuosos con el medio ambiente.

## Sistemas de fijación

Al desenrollar la tubería sobre el aislante base es necesario fijarla al mismo. Cualquier sistema de fijación del tubo al aislamiento puede ser válido siempre que no se provoquen rozamientos que pudieran deteriorar las paredes del tubo en sus esfuerzos de dilatación y contracción, debido a los habituales cambios de temperatura. En este apartado se citan algunos sistemas de fijación utilizados en este tipo de instalaciones.

## Banda perimetral

Es una banda de material aislante que separa la losa de mortero y el solado de las paredes, logrando que éste sea un pavimento flotante, facilitando la dilatación del mismo y paliando el efecto de fuga de calor debido al puente térmico del suelo con las paredes y cerramientos laterales. La temperatura de trabajo de los sistemas radiantes no implica riesgo de rotura del solado por efectos de dilatación; los materiales pétreos y cerámicos tienen bajísimos coeficientes de dilatación térmica. El material para la banda perimetral puede ser poliuretano, poliestireno expandido o algún otro material aislante. Su espesor no suele ser superior a 10 mm y su altura de 10 a 16cm.



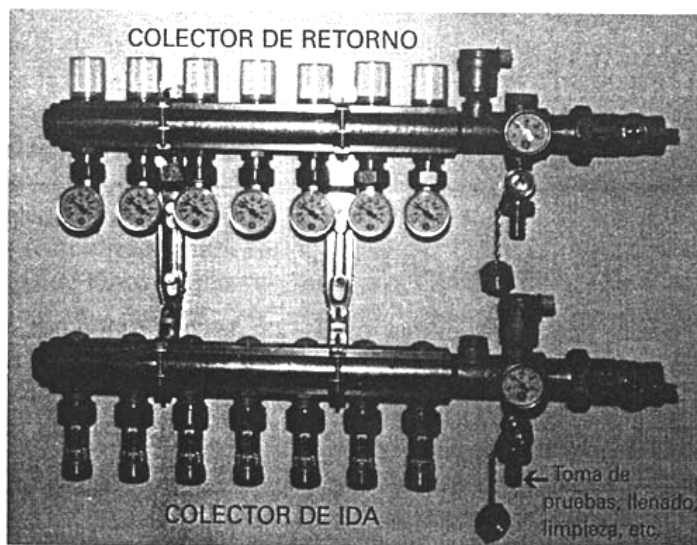
*Figura 4. Detalle de la banda perimetral*

## El distribuidor

Como su nombre indica su misión es distribuir el agua de la tubería general que lleva el agua caliente o fría a cada uno de los circuitos emisores, normalmente divididos por habitaciones, y recoger el agua de los circuitos para devolverla por una tubería general al generador. El distribuidor está compuesto de dos tuberías horizontales paralelas sujetas a la pared mediante un soporte, a estas tuberías llamadas colectores se les acoplan en derivación válvulas, detentores, purgadores, termómetros, grifos de vaciado y caudalímetros, y de ellos parten los tubos hacia el suelo. Uno de los tubos colectores es el de «ida» y el otro el de «retorno». Veamos en la figura 5 un dibujo demostrativo del sistema distribuidor.

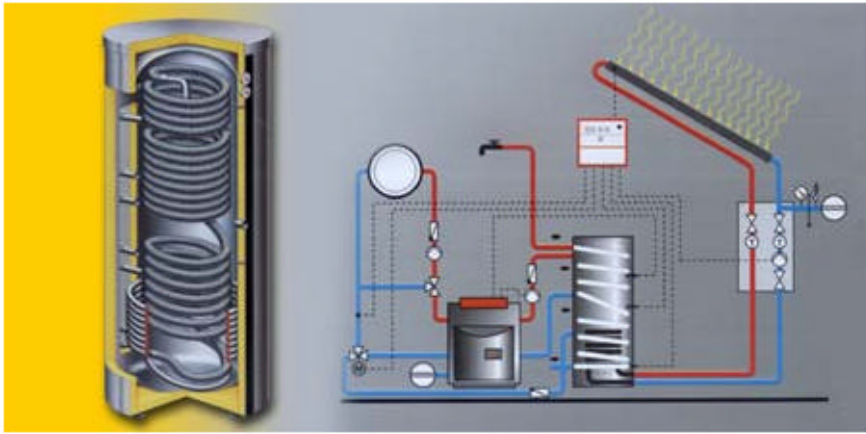
## Generadores de calor

Podemos decir que en una instalación de calefacción por suelo radiante puede utilizarse cualquiera de los aparatos existentes para producir agua caliente para calefacción tales como: calderas de gasoil, calderas de gas, chimeneas recuperadoras, bombas de calor aire-agua, calderas eléctricas y colectores solares. Entre los sistemas más simples que incorporen generadores de calor y que puedan trabajar con temperaturas de agua de 30 a 50 °C podemos encontrar las calderas de gas, las bombas de calor y las calderas eléctricas. También son muy apropiados los colectores solares térmicos de placa, dado que por su temperatura de trabajo se adaptan perfectamente a los requerimientos térmicos del agua de circulación. Una de las ventajas de la bomba de calor es que es reversible y puede proporcionar agua fría en verano, con lo que se evita tener un generador de calor para la temporada de calefacción y otro de frío para la de refrigeración. En la figura 6 se muestra el caso particular de la generación de calor por medio de energía solar y un dispositivo de apoyo.



*Figura 5. Colector de ida y de retorno*



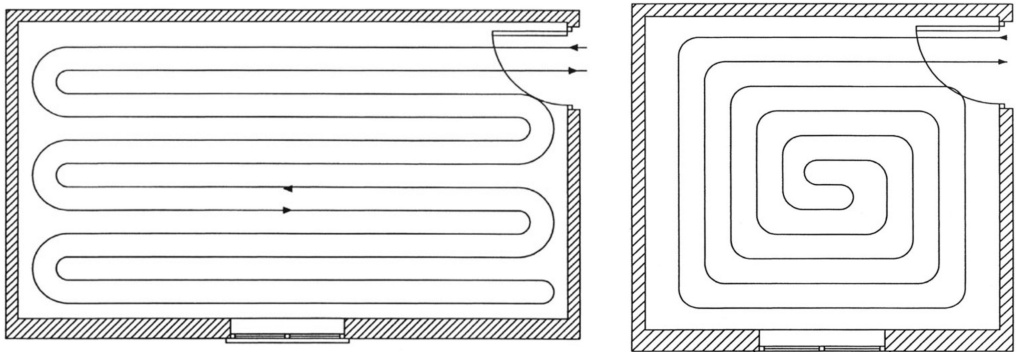


*Figura 6. Esquema de un circuito de energía solar*

## 5. Tipos de circuitos. Instalación y regulación de generadores de calor

En este apartado se muestran las diferentes formas básicas de distribuir el tubo. La distribución del tubo debajo de la solería no debe ser aleatoria, se procura que la disposición del tubo embutido en la capa de mortero repercuta en un reparto homogéneo del calor por toda la superficie del solado. La separación entre las líneas de tubos, está determinada por las necesidades energéticas de los espacios climatizados, la potencia de emisión de un suelo, o de una superficie radiante conformada por tubos embutidos, además de la temperatura del agua y el caudal de circulación. Para lo anterior, el tubo se extiende formando serpentines o espirales con tres formas básicas (véase figura 7):

1. La distribución en serpentín simple.
2. La distribución en doble serpentín.
3. La distribución en espiral.



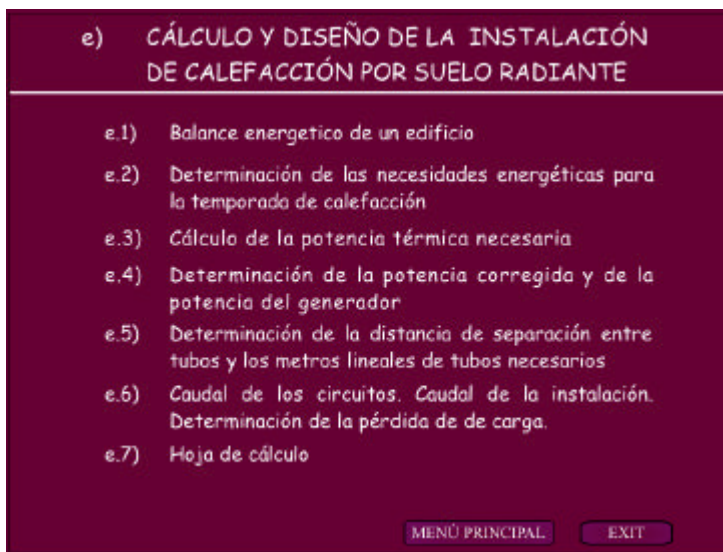
*Figura 7. Esquema de distribución en doble serpentín y en espiral*

Para cualquiera de los tipos de distribución, siempre se comienza a unos 10 ó 15 cm de una de las paredes o límites del circuito y se alinea el tubo de forma paralela a los mismos.

En lo referente a la instalación y regulación de los distintos tipos de generadores de calor se analiza, de forma independiente, la instalación de suelo radiante por medio de la caldera de combustibles líquidos, con recuperador de calor por agua o con caldera de combustibles sólidos, con caldera de gas o eléctrica, con bomba de calor y por último con colectores solares.

## 6. Cálculo y diseño de la instalación para calefacción por suelo radiante

En este apartado se pretende que el alumno siga las pautas a necesarias para el cálculo de la instalación, para ello debe seguir los siguientes apartados descritos en la figura 8.



*Figura 8. Índice del apartado de cálculo y diseño de la instalación*

## 7. Aplicación práctica

Una vez comprendidos y estudiados los apartados anteriores, es el momento de entrar en contacto con la representación virtual de un caso particular de una instalación. En la aplicación práctica se muestra, además de los documentos necesarios para la presentación de un proyecto de esta índole, un subapartado de representaciones virtuales donde se da un paseo por el exterior de la vivienda unifamiliar a la que se le ha realizado la instalación objeto de estudio, una visita por los distintos elementos que conforman dicha instalación y, por último, una vista de la trayectoria de las sombras. Un ejemplo de una de estas vistas se presenta en la figura 9.

## 8. Ejecución de obra y localización de averías

En estos dos últimos epígrafes se hace un análisis de los pasos a seguir en la obra para la ejecución de la instalación y se dan una serie de actuaciones para la localización de las posibles averías, todo ello llevado a cabo gracias a la propia experiencia de los instaladores.

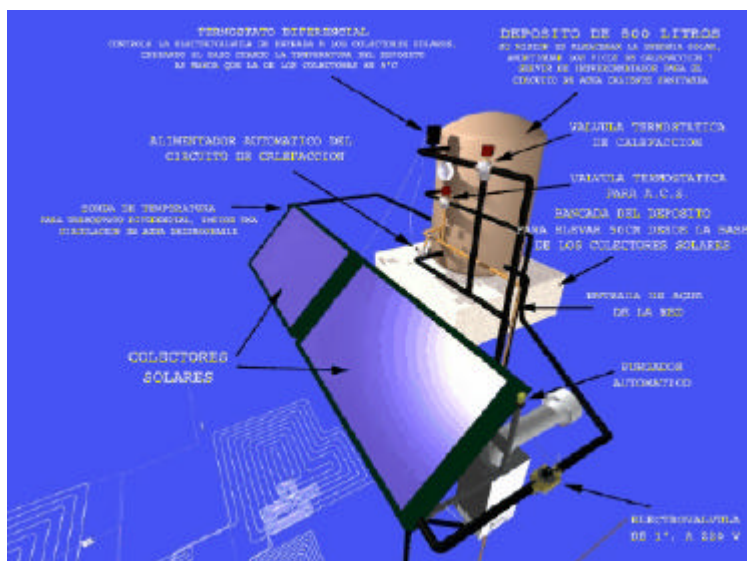


Figura 9. Instantánea de la infografía de la instalación

## 9. Conclusiones

Como conclusiones podemos afirmar que este trabajo ha facilitado y facilita en gran manera el proceso de enseñanza-aprendizaje, pues motiva al alumno a comprender este tipo de instalaciones, a la vez que en cierta medida viene a suplir las carencias de visitas y el seguimiento de dichos proyectos que debido a las innumerables fases por las que pasan se hace imposible una visión continuada por parte del alumnado.

## Referencias

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General para la Vivienda y Arquitectura. *NBE. Condiciones térmicas en los edificios: NBE-CT-79*. Madrid. 1989.

Ministerio de Fomento. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. *RITE 98: reglamento de instalaciones térmicas en los edificios y sus instrucciones técnicas complementarias ITE*. Edición 2ª reimp. Madrid. 2002.

Ministerio de Industria y Energía. *Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria*. Centro de Publicaciones. Madrid. 1995.

Ortega Rodríguez, Mario. *Calefacción y refrescamiento por suelo radiante*. Ed. Paraninfo. Madrid. 2001.

Sánchez Quintana, F. *Instalaciones de calefacción por suelo radiante*. Progenia. Madrid. 1992.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INTERPRETACIÓN 3D DE MURALLAS FENICIO-PÚNICAS

MANZANO AGUGLIARO, Francisco (1); PACHON VEIRA, Ramón Francisco (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de ALMERIA, España  
Escuela Politécnica Superior  
Dpto. Ingeniería Rural  
Correo electrónico: fmanzano@ual.es

### RESUMEN

En este trabajo se analizan diferentes fuentes documentales como cartografía arqueológica moderna y descripciones históricas gráficas y literarias, de murallas de yacimientos fenicio-púnicos. En concreto se propone una metodología para la interpretación de obras de defensa en ciudades de la antigüedad. Esta metodología se aplica al caso práctico del Asentamiento del Castillo de Doña Blanca, de origen fenicio, situado en el puerto de Santa María en Cádiz. Así se presenta el modelo o modelos obtenidos como una herramienta muy útil para posteriores estudios del urbanismo fenicio.

**Palabras clave:** Cartografía Histórica, Fenicio – Púnico, Murallas, 3D.

### ABSTRACT

In this work we analyze different documental sources, as modern archaeological cartography and literary and graphic historical descriptions, of the walls of Phoenician- punic towns, in order to make a virtual interpretation.

# **1. Introducción**

El experto estudioso de temas arqueológicos de edificación, arquitectura y urbanismo conoce la frustrante tarea de, a partir de escasos indicios dispersos derribados y enterrados por el tiempo, imaginar el aspecto, la forma original de los restos de una cultura del pasado. Esta frustración encubre una dedicación apasionante, la de restituir y reconstruir por medio de un importante trabajo de tipo deductivo la apariencia más aproximada posible de aquellas ruinas en su momento de uso y esplendor.

Para ello cuenta con varias herramientas: La documentación que editan los excavadores actuales, su propia observación sobre el sitio, las descripciones literarias y gráficas de otros estudiosos de diferentes épocas.

La propia observación es a veces imposible, sobre todo cuando se trata de relacionar entre sí muy diferentes lugares, alejados y no siempre accesibles. Entonces la única solución para el investigador es viajar de modo virtual, a través de las publicaciones de sus colegas.

En este caso es fundamental elaborar comunicaciones claras y precisas que, a través del paso del tiempo, reproduzcan sin equívocos aspectos concretos posibles de las formas edificatorias en momentos determinados, así como su evolución, reparación y reutilización a lo largo de diferentes épocas.

Es así esencial el uso de Sistemas de Representación y Técnicas de Expresión Gráficas que permitan al observador la Interpretación de la obra de sus antepasados., y que, cuando los restos sean insuficientes, consigan elaborar hipótesis diversas que permitan imaginar una integridad restituida.

## **1.1. Objetivo**

El objetivo de este trabajo es la realización de una interpretación 3D de murallas fenicio- púnicas a partir de distintas fuentes como son:

- Yacimientos arqueológicos: planos de la excavación e interpretación de la misma
- Descripciones históricas gráficas y literarias.

## **1.2. La Protección del Patrimonio**

No pretendemos entrar en la polémica que desde el siglo XIX encabezaron Viollet le Duc y John Ruskin sobre el modo más adecuado de tratar los restos históricos, aunque sí debemos hacer mención de ello. Sabemos que a Viollet le Duc se le acusó de cometer falsos históricos reinventando, para mejorarlas, las formas del pasado, corrigiendo incluso al desconocido arquitecto de la antigüedad del que él pensaba que

no había conseguido totalmente expresar la grandeza de tal o cual espacio arquitectónico (VIOLLET LE DUC, hacia 1850). Sabemos, por otra parte, que a Ruskin se le acusó de falta de responsabilidad al defender que los restos históricos no debían ser tocados jamás, que cualquier intento de intervención era una adulteración de la obra de los antepasados, que las ruinas debían seguir deshaciéndose lentamente con todas sus consecuencias, afirmando que la restauración es una mentira desde el principio al fin. Esta posición romántica ocasionaría la pérdida del patrimonio y supondría una falta de responsabilidad en contra de nuestros sucesores (RUSKIN; hacia 1850).

De todas formas no entramos más que ligeramente en ese tema de cómo deben tratarse los restos patrimoniales, puesto que el objetivo de nuestro trabajo no es tratarlos, protegerlos, consolidarlos o reconstruirlos, sino cómo interpretarlos en un determinado momento de su existencia. Esto es: nos movemos en el terreno de la virtualidad, de lo que fue, de lo que pudo y puede ser, no de lo que es. Sin embargo esta tarea es fundamental para ayudar a tomar decisiones en el campo de la protección activa del Patrimonio. Así, Camilo Boito defendía las reconstrucciones de los valiosos restos heredados del pasado, en contra de la posición de Ruskin, pero éstas reconstrucciones debían ser *documentadas* y *fieles*, en contra de la posición de Violet. (BOITO, hacia 1880)

### **1.3. Las Murallas en la Cultura fenicio- púnica**

Elegimos como objeto de aplicación de este estudio las murallas o construcciones de defensa y cierre de las ciudades fenicio- púnicas en nuestro interés por el estudio concreto de esta cultura.

Los fenicios son los descendientes de los cananeos, los cuales vieron reducirse su territorio al ser invadidos (siglo XII a C.) por los filisteos, arameos y hebreos que los redujeron progresivamente a una pequeña área costera, entre el Mediterráneo y los montes del Líbano. Hoy día se llama "cananeos" a los habitantes de Canaán (Palestina- Fenicia) anteriores al I milenio a C. Se llama "fenicios" a los que vivieron en el I milenio a C. en el actual Líbano (Canaán) y durante los siglos del VIII al VI a C. en Occidente (colonias del Mediterráneo) y por último, se llama "púnicos" a los que habitaron Occidente, con capital en Cartago, a partir de mediados del siglo VI a C. El nombre Fenicio procede de los griegos (HERM, 1976, 25) (WAGNER, 2000, 62). El vocablo *phoenike* también significa rojo o púrpura, y está relacionado con una de las actividades de este pueblo, como es la extracción de un pigmento o tinte de ese color a partir de un molusco de la clase *múrex*.

El primer muro defensivo, la más antigua fortificación de la historia de la que se tiene noticia está muy próxima al territorio fenicio, en Jericó, y se remonta al IX milenio a C. (ARIAS CABAL, 2000) lo cual indica gran tradición y antigüedad en el uso de sistemas defensivos en esta zona geográfica.

De la página web <http://phoenicia.org/index.shtml> extraemos y traducimos con cierta libertad este texto descriptivo de las Murallas de ciudades Fenicias:

“... En la construcción de las murallas de sus ciudades, sobre todo de las más antiguas, el rasgo más llamativo y comentado a primera vista, es el acoplamiento de la parte más baja de la muralla al suelo en que se apoya. En Sidon, Aradus, y Semar-Gebeil, el recinto que protegía la ciudad consistía en piedra nativa, tallada con una cara perpendicular hasta una altura de diez o doce pies, en la que se emplazaban varios machones de sillares. El principio adoptado era utilizar la piedra hasta lo más alto posible, y complementar con una superestructura de albañilería. Se ponían grandes bloques de piedra, tallados para encajar en la superficie superior de la roca, apoyados sobre ella, generalmente a tizón, esto es con sus superficies más pequeñas hacia fuera, formando su longitud el espesor de la pared que a veces era de quince o veinte pies. Los bloques macizos, una vez colocados, eran casi inamovibles, y consideraban que era suficiente ponerlos lado a lado, sin grapas ni morteros, para que su propio peso los mantuviera en su lugar. No tenían en cuenta si las juntas verticales de los sillares coincidían o no; aunque tenían cuidado de que, si ocurría una coincidencia en dos hiladas, no se repitiera en la tercera. La elevación de los muros no parece haber excedido a menudo de treinta a cuarenta pies, aunque Diodoro da sesenta pies de alto a los muros de Cartago y Arriano da a la muralla de Tiro, en la parte frente al continente, la extraordinaria altura de ciento cincuenta pies”.

Si podemos generalizar a partir de los ejemplos más perfectos de murallas fenicias que todavía son bastante identificables, tales como las de Eryx y Lixus, tales paredes normalmente se veían flanqueadas, a intervalos irregulares, por torres cuadradas o rectangulares que se proyectaban considerablemente más allá de la línea de los muros. Las torres eran de una construcción más maciza que la propia pared, sobre todo en su parte más baja donde inmensos bloques eran comunes. La pared también estaba atravesada a intervalos por puertas algunas de las cuales eran poternas arqueadas o cubiertas por dintel plano mientras otras eran de dimensiones más grandes, y estaban protegidas, en un lado o en ambos, por baluartes. Los sitios de los asentamientos normalmente estaban sobre eminencias, y la línea de las murallas siguió las irregularidades del suelo, coronando las pendientes, escalonándose. A veces, como en Cartago y Thapsus dónde la pared tuvo que ser levantada en un espacio llano, la pared de defensa se dobló, o incluso triplicó. Las restauraciones de Daux contienen sin duda, una gran parte de imaginación; pero dan, probablemente, una idea justa del carácter general de la llamada "triple muralla" de ciertas ciudades fenicias. La línea exterior, o *proteikhisma*, era poco más de un terraplén, consistiendo en un foso, con la tierra extraída colocada encima, coronado quizás por un parapeto de albañilería. La segunda línea era mucho más elaborada. Había un foso más profundo que el exterior, y detrás de él subía una pared almenada perpendicular al fondo del foso de casi cuarenta pies. En el espesor de la pared que no era mucho menor que la altura había cámaras para almacenes y cisternas, mientras a lo largo de la cima, detrás del parapeto, corría una plataforma para que los defensores descargaran sus flechas y otros proyectiles contra el enemigo. Más atrás, a una distancia de aproximadamente treinta yardas, se situaba la línea principal de defensa que en general se parecía a la segunda, pero más alta y fuerte. Había, primero, un tercer foso, con agua si podía introducirse, y detrás él una pared de treinta y cinco pies de espesor y sesenta pies de alto, agujereada por dos filas de aspilleras desde donde podían dispararse flechas, y una plataforma triple para los defensores. Esta pared se dejaba completamente aparte de las casas del pueblo, y los pisos diferentes podían alcanzarse por rampas o escaleras interiores. Estaba flanqueada a intervalos por torres cuadradas, algo más

altas que las murallas y que sobresalían lo necesario para que los defensores enfilaran a los atacantes cuando se acercaran a la base de la cortina.”

En (DIES CUSÍ, 2001 p. 70-75) extraemos descripciones someras de detalles de sistemas constructivos fenicios que se caracterizan por:

Inexistencia de cimientos propiamente dichos. No hay zanjas de cimentación y el asiento de los zócalos se hace directamente sobre el terreno. Los zócalos son de piedra de altura y composición variable, pero siguen el mismo procedimiento constructivo: Se forman por dos paramentos de mampuestos de piedra con una cara, la visible, trabajada más o menos plana, separados entre sí 40, 70, 110 cm, y con el interior relleno de una masa de cantos de menor tamaño, trabados con barro o tierra. Sobre este zócalo, que a veces se reduce a una simple hilada, se levantan unos pies derechos, elementos verticales puntuales, formados o bien por machones de piedra o por rollos de madera (según la calidad de la construcción) que servirán para sostener el techo. Estos elementos están trabados entre sí por elementos horizontales o diagonales formando un entramado cuyos huecos luego se acaban rellenando con elementos diversos, cascotes, barro o tierra, a los cuales se aplicará un enlucido o revestimiento formado por arcilla y posteriormente cal, que es la que garantiza un aspecto homogéneo final. En Hama se encuentran dos tipos de cerramiento: de adobe (ladrillos de arcilla de excelente calidad, amasados con paja y secados al sol) y macizo de barro, como le llama el autor, explicando que no puede o debe denominarse de tapial por la ausencia de encofrados, (característicos de la técnica de tapial) Así se forma básicamente un muro de cerramiento con elementos aislados de carga, sobre los que se asienta el techo, formando crujías rectangulares. Se desconoce el uso de pilares exentos o columnas, que permitirían habitaciones el doble de anchas, con lo cual las crujías resultan estrechas y los espacios interiores angostos (2 m de vano o como mucho 3 m).

Los suelos eran mayoritariamente de tierra batida, con un acabado igual al revestimiento de los muros: arcilla y enlucido de cal.

Para los pies derechos embutidos en los muros se usaría la madera de cedro y la de ciprés, que también se usarían para formar las jambas, antepechos y dinteles de puertas y ventanas. Estas técnicas provendrían de Anatolia, donde los seísmos son importantes, siendo esta técnica de construcción del muro resistente, aceptable para soportar los movimientos de tierra

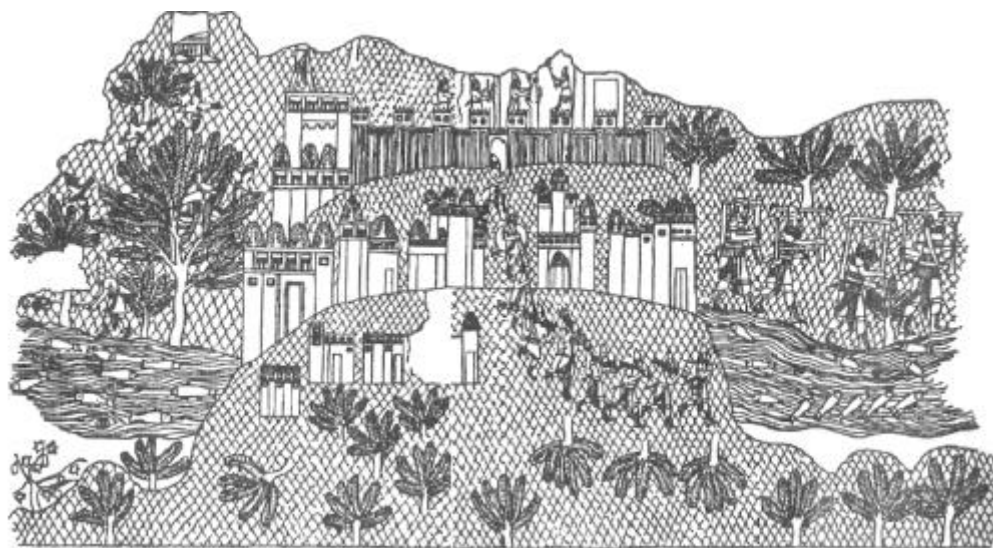
Pero en Canaán, desde el III Milenio se utiliza un sistema muy parecido a base de pilastras adosadas o semiencastradas en el muro. Posteriormente estas pilastras pasarían a embutirse en el muro formando los machones de sillería, con la ventaja de evitar los tacones que se forman al interior.

Concretamente estas técnicas constructivas se aplican a sistemas defensivos, siendo muy significativa la muralla que el autor llama “de casernas” (“... resultado de construir una doble muralla con los espacios intermedios subdivididos por tirantes transversales...”) en vez de usar la denominación de “casamatas”, pues el primer término le sugiere espacios huecos que pueden usarse como almacenes o macizarse con tierra y piedras en caso de asedio. Hay torres, (ver fig.0) tal como aparecen en



relieves asirios que describen expediciones de conquista sobre las ciudades de la costa oriental del Mediterráneo. Estas torres tienen almenas. El revestimiento sería de arcilla blanca o cal. Esto daría un aspecto deslumbrante a la ciudad amurallada. También se describen puertas monumentales.

Tomamos nota de la observación del autor de que las murallas son elementos en continua reparación y readaptación, que varían según la época, el territorio y la materia prima y recogemos los elementos que, según el, son más significativos y estables en el tiempo y el espacio, a saber: Existencia de torres, puertas en ángulos y lugares clave del trazado, revestimiento exterior posiblemente de cal, empleo de arcos de medio punto y bóvedas en puertas principales; y posibilidad de un sistema defensivo simplificado de terraplenes con fosos profundos



*Fig. 0: Asedio de una ciudad fenicia por los asirios, en DIES CUSÍ, 2001, p. 72*

## **2. Las murallas de Mozia**

El caso de Mozia es excepcional. Nos permite estudiar un lugar fenicio abandonado, casi intacto, sobre el cual no se construyeron encima otras edificaciones.

Fundada a fin del S. VIII a C. en el centro del Stagnone (Estanque) de Marsala, fue destruida por Siracusa en 397 y trasladada entonces a Lilibeo.

El implante urbano era admirado por los griegos: un dique de unión con tierra firme; un recinto amurallado con torres y una puerta monumental; un área portuaria, un dique seco; barrios civiles, industriales; santuarios; necrópolis. (ACQUARO,1988)

Sucesivas ampliaciones del centro intentaron ganar terreno al mar. Su escasez de suelo ocasionó el abandono después de 397. Sólo algunas escasas construcciones tardohelenísticas y bizantinas han permitido que el tejido urbano llegara intacto bajo tierra hasta principios de S. XX. en que fue excavado por Whitaker

Hay una carretera- dique, hoy día bajo el agua (Strada Birgi), que estuvo en uso hasta hace poco por carros que traían el fruto de la vendimia. Tiene un cimiento de piedra y barro, un trazado rectilíneo de 1,7 km. de largo, y un ancho para dos carros en algún punto. Habría servido también de atracadero. Es uno de los mejores ejemplos de ingeniería portuaria fenicia.

La ciudad ocupaba las 40 Ha de la isla (fig 1). Los muros, rehechos numerosas veces, con perímetro de 2.500 m. son de principios del S. VI. Hay diversas técnicas constructivas según la época: Es de trazado en cremallera reforzado por veinte torres cuadradas, de ladrillos crudos, telar con empleo de piedra calcárea local, escuadrada, con trozos de estructura isódoma con piedra de toba importada de fuera. Almenas curvas coronaban torres y muros. Cuatro puertas, sólo dos visibles hoy: a Norte y Sur unidas por una calle que recorría el centro en toda su longitud. (ACQUARO, 1988)

La puerta septentrional era una estructura imponente articulada con el añadido de dos torreones del S. V. Tenía numerosas puertas secundarias destinadas a cuerpo de guardia (fig. 2,3,4).

La puerta meridional es menos importante. Su muro occidental defendía el Cothon que es un puerto artificial, excavado en la roca, mide 51 x 35,50 m., con una plataforma al lado septentrional; unido al mar por un canal de 30 m. de largo y 5 de ancho. Su función se discute: dique seco, cambios en el tiempo...

El tejido urbano: Hay viviendas al centro y sur; barrios industriales al nordeste, que evidencian una planificación programada. También zona sacra al nordeste. Allí al lado de la puerta norte está el “Cappidazzu”, base de un edificio de tres naves longitudinales y una transversal, rodeado de un muro, con primer implante en S. VII aC., de uso sacro, que se continuó en una basílica bizantina. Dos edificios con uso de templo están fuera de la puerta norte en uso entre el S. VI y IV.

Al norte está el tofet de inicios del S. VII. Urnas directamente puestas sobre la roca, vasos cinerarios en cista de lastras de piedra, acompañados de estelas votivas de piedra. A inicios del S. VI, coincidente con el primer trazado del muro se amplía con un área ganada al mar.

La Necrópolis entre el tofet y la puerta norte es de principios del VIII hasta el VI en que el muro la cortó en dos. Los restos eran cremaciones en la mayor parte, en urnas en pocillos excavados en la roca o en cista con piedras de cubierta. También hay inhumaciones más superficiales en sarcófagos de piedra.

En el trazado urbano de Mozia se utilizaron unidades métricas fenicias. La ciudad conoce y adopta técnicas griegas pero mantiene hasta el final conciencia de su origen oriental. Esculturas y relieves ornaban la ciudad, egiptizantes y grecosicilianas. Las

estelas votivas del tofet tienen alta calidad. Las terracotas del tofet muestran importaciones fenicias e imitaciones locales de modelos griegos de Sicilia y Rodas.

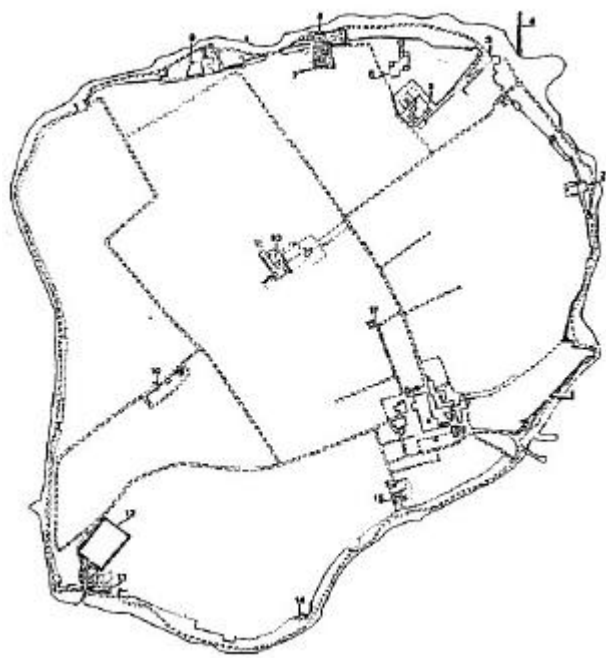


Fig. 1. *Planta General de Mozia en A. TULLIO. Mozia, Immagini e Memoria, Palermo 1986*

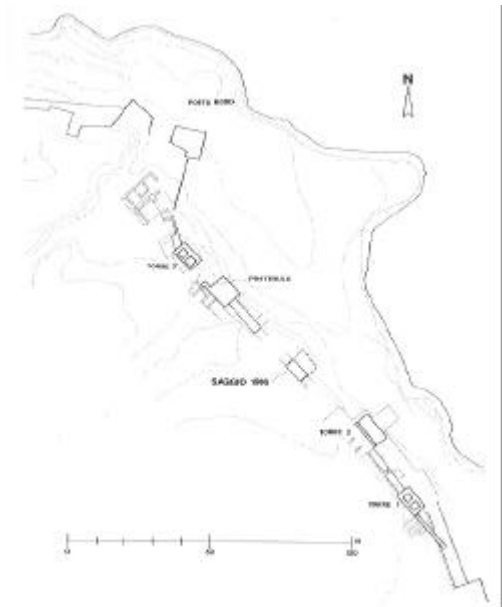
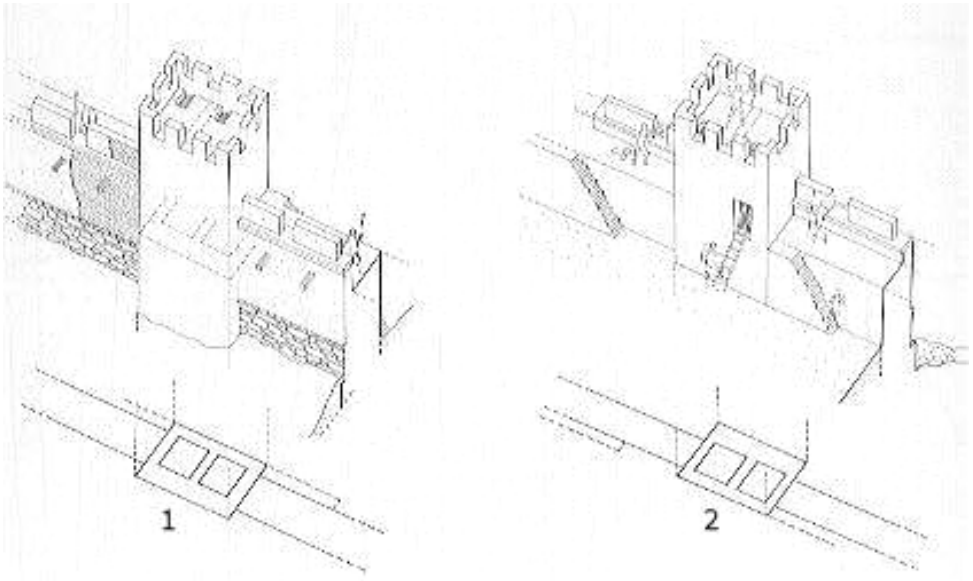
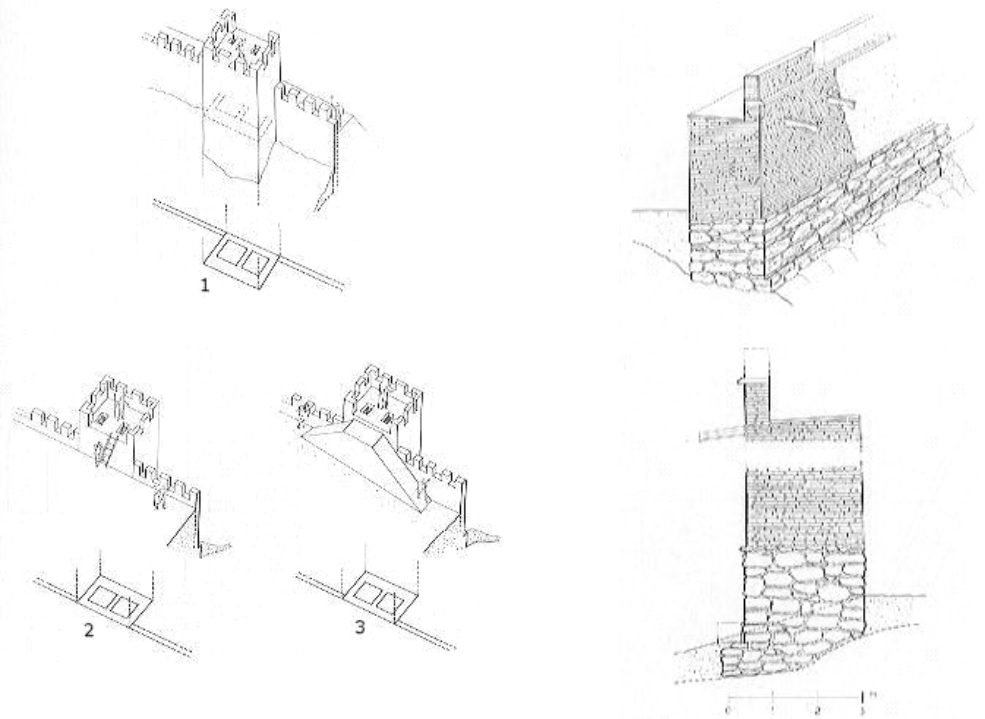


Fig. 2. *Detalle de Murallas de Mozia en TULLIO, 1991*

*Planta de AMEDEO*

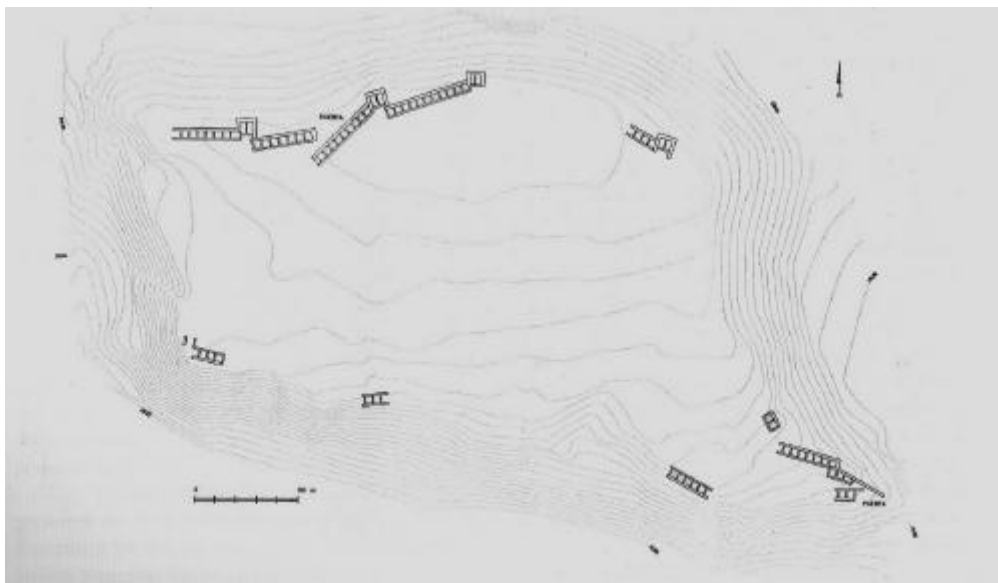


*Fig. 3. Detalle de Murallas de Mozia en AMEDEO TULLIO, 1991*

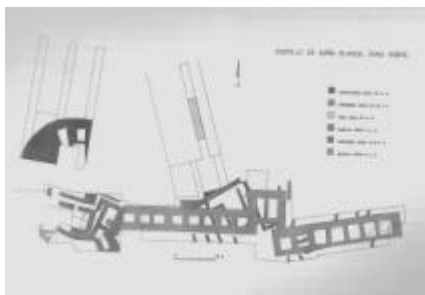


*Fig. 4. Detalle de Murallas de Mozia en Artículo de Amedeo Tullio in "Mozia, Una colonia fenicia in Sicilia", di J.I.S. Whitaker, edito dall'Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti di Palermo nel 1991)*

### 3. Las murallas del castillo de Doña Blanca



*Fig. 5: Planta de Murallas del Siglo IV a C. del Castillo de Doña Blanca, en RUIZ MATA, 2001*



*Fig. 6: Detalle de Planta de Murallas en Zona Noroeste de los Siglos VIII, V, IV a C. del Castillo de Doña Blanca, en RUIZ MATA, 2001*

El castillo de Doña Blanca es el nombre actual de un asentamiento fenicio del siglo VIII a C. Tuvo una gran relación con el antiguo Gaddir. Forma una colina amesetada de planta rectangular que se eleva unos treinta metros sobre el nivel del mar y tiene una extensión de 6 Ha. Aunque hoy está en el interior, en aquella época estaba en la línea de costa de la bahía de Cádiz, en una zona hoy acolmatada por las aportaciones del río Guadalete. Los árabes construyeron encima de las ruinas una alquería. Hoy día hay construcciones para aprovechamiento agrícola y ganadero

Se constatan y documentan varios sistemas defensivos (RUIZ MATA, 2001, p. 263 y ss): Una fortificación y foso del s. VIII, murallas del s. V, y murallas del s. IV y 2ª mitad del s. III con remodelaciones de época bárcida.

### **3.1. La muralla arcaica**

Del siglo VIII a C.: “Los muros son de mampostería, de piedras pequeñas y medianas, trabadas con un mortero blanquecino, y presentan a tramos machones de sillares, como los muros de pilares fenicios... suelen aparecer enlucidos...” Los sillares tienen la tendencia de ajustarse a las siguientes dimensiones: 52 x 35 x 17 cm y estarían inspirados en el codo real egipcio de 52 cm.

De este primer sistema defensivo se puede observar un tramo de muralla de 4,5 m que alcanza los 5 m de altura y un bastión de planta semicircular. Pudo alcanzar los 6 m de altura. (RUIZ MATA, 1995, p. 99 y ss.).

El paramento de muralla apoya sobre un zócalo que asienta sobre un cimiento o plataforma de tierra rojiza. El zócalo de mampostería de 1 m de altura sobresale del paramento 80 cm y está compuesto de mampuestos irregulares, toscos, trabados con argamasa rojiza y verdosa, de mayor tamaño que los mampuestos del muro, trabados con arcilla. El remate pudo ser de tapial o más bien de barro macizo. La cara externa tenía un revoco de arcilla blanquecina.

Describe los restos del bastión semicircular exterior, del que se ha excavado un cuarto de círculo de su planta, con muros de 1,40 m de grueso con cajones o compartimentos internos rellenos de tierra y piedras. También describe un foso de 10 m de ancho por 3 de profundidad. Toda esta excavación investigada se encuentra en la parte norte del asentamiento, en la parte “de tierra”, opuesta a la costa. Otra puerta o acceso debería estar al sureste, donde se encontraba el llamado barrio fenicio y el puerto o fondeadero.

Hay otros restos probables de esta muralla en el sector sureste. Esta muralla debió estar en uso hasta el S. VI.

### **3.2. La muralla del Siglo V**

La muralla que la sustituyó, sin aprovechar la anterior, se construyó en el siglo V. Es una muralla de casernas o casamatas formada por dos paramentos paralelos con muros transversales. Hay pruebas de la existencia de una torre. La parte excavada en la zona noroeste muestra una posible entrada a la ciudad, con dos torres interiores.

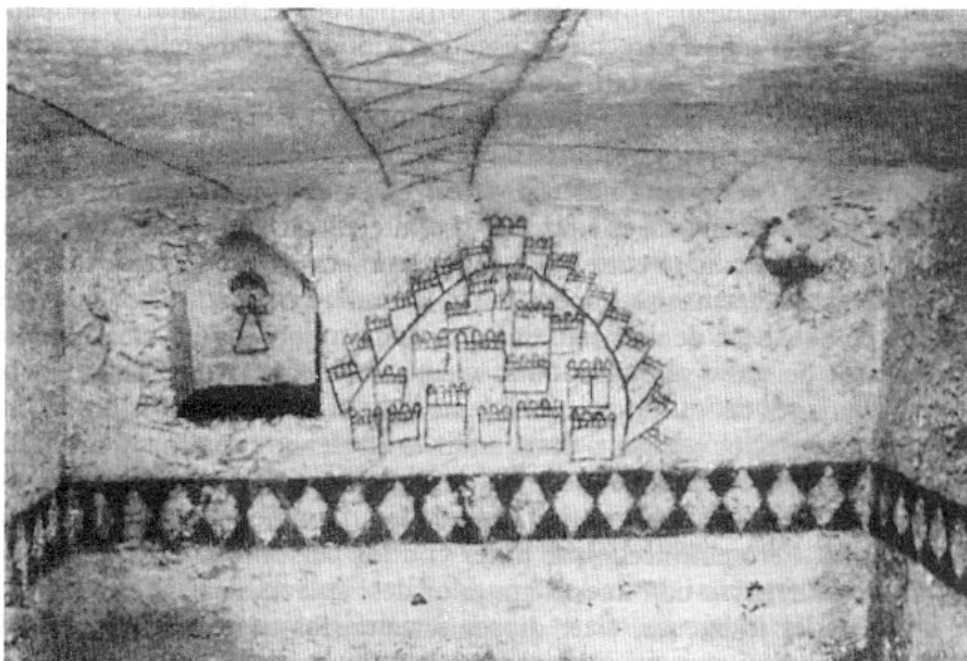
El tipo de construcción es más cuidadoso, con el uso de mampuestos de mayor tamaño desbastados o careados en su cara exterior una vez colocados in situ, con ripios relleno los huecos y una argamasa blancuzca. El aparejo o colocación de las piedras en el muro incluía la regularización de hiladas, con una hilada de losas planas cada cierta altura. No hay cimentación. El muro apoya sobre un zócalo que asienta directamente sobre el terreno. En las esquinas de las torres se emplearon sillares de considerable tamaño.

### 3.3. La muralla de los Siglos IV -III

Sustituyó a la anterior, con diferente trazado. Dos muros paralelos, de 1,20 m de espesor el exterior; de 90 cm el interior, separados unos 3,5 m y con muros transversales que los dividen en cajones. Hay un tramo mejor conocido de once casernas entre dos torres. Las torres miden 10 x 9 m en planta, divididas en dos habitaciones por un muro transversal.

Ahora sí se excavaron cimientos profundos y más anchos que el muro. Los mampuestos del muro son pequeños, bien escuadrados en los lados vistos, a modo de sillarejos. Entre las dos caras paralelas del exterior del muro hay un relleno de mampuestos irregulares. Todos están trabados con arcilla roja. También hay una parte superior del paramento que es de barro macizo, de color rojo. Este color distingue a esta muralla de las demás del mismo yacimiento.

### 4. La tumba de Djebel Mlezza

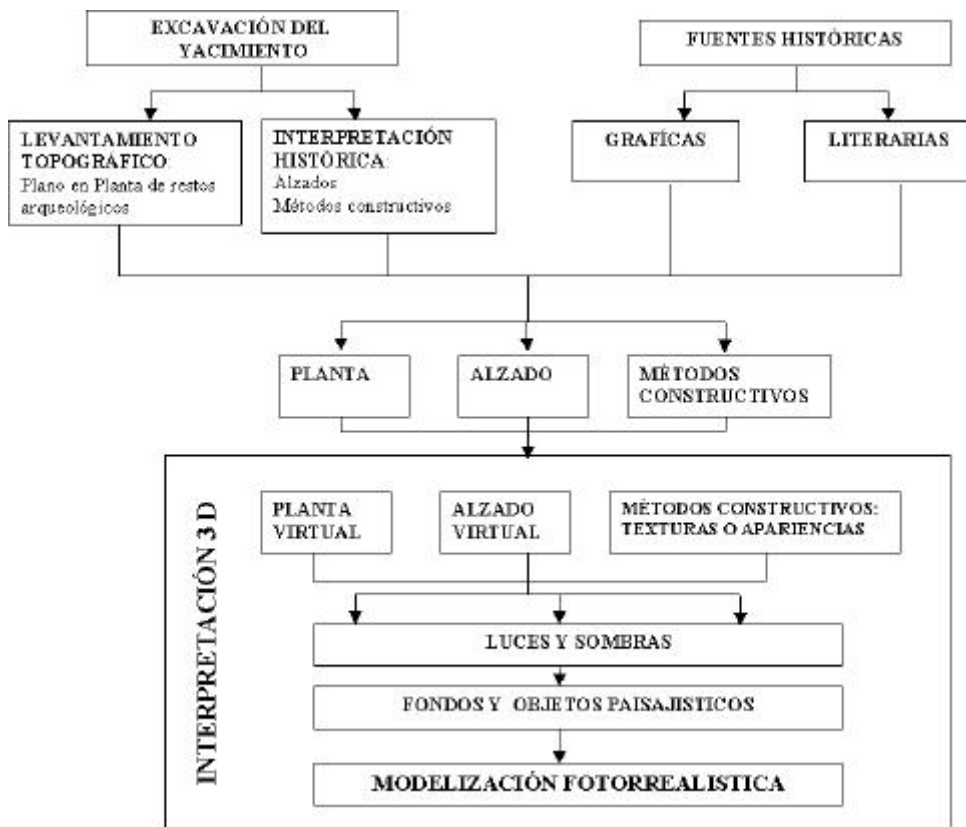


*Fig. 6: Detalle de Pintura de la tumba VIII de Djebel Mlezza en LANCEL, 1994*

En esta tumba de un lugar del actual Túnez aparece una pintura que refleja de modo esquemático la silueta de una ciudad púnica. Tomamos nota de las almenas que recorren el perímetro de los muros, incluso de las torres que se encuentran en el interior del recinto.

## 5. Metodología

Como resumen de la metodología desarrollada en este trabajo se ofrece el diagrama 1, donde a partir de los datos de la excavación y las fuentes literarias escritas y gráficas se puede llegar a obtener una interpretación fotorrealista del objeto histórico en cuestión.



*Diagrama 1: Metodología para la Interpretación en 3D*

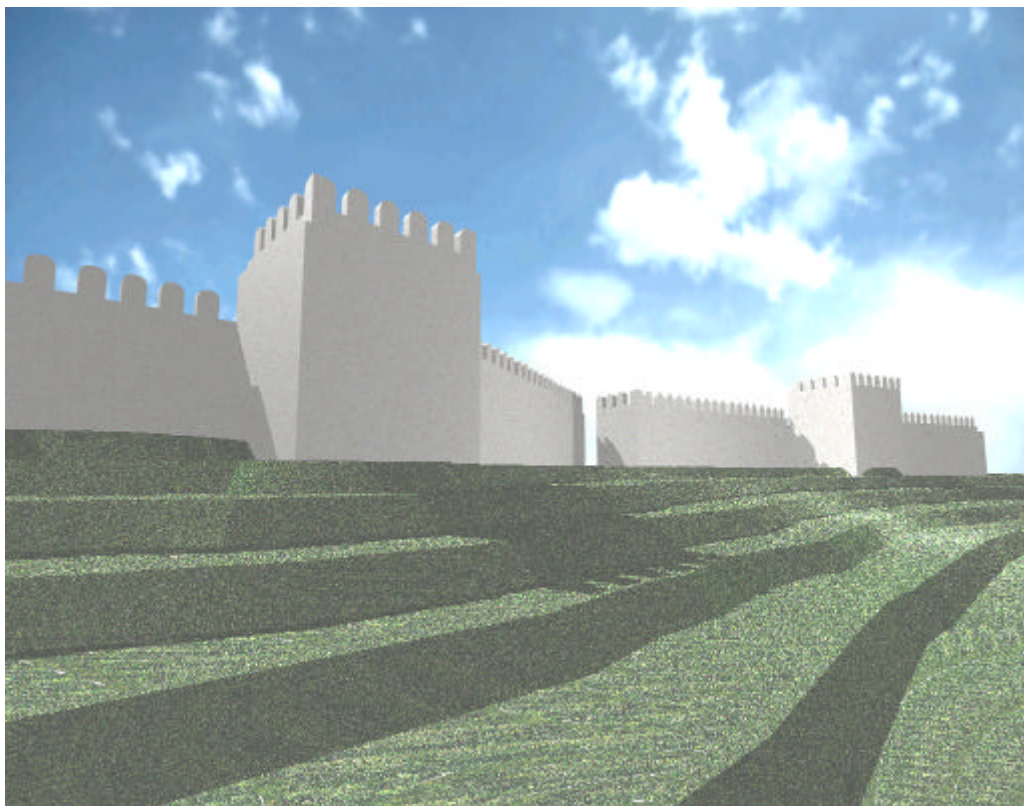
## 6. Conclusiones

Con todos estos datos extraídos de los diferentes autores hemos realizado una reconstrucción virtual del aspecto de la muralla del siglo IV a C. de Doña Blanca. (Fig. 6 y 7) Una primera conclusión que ofrecemos se concreta en esta interpretación en 3D realizada con un programa vectorial que tiene la extensión adecuada para realizar modelizaciones virtuales en tres dimensiones y que intenta reproducir el efecto ordenado y deslumbrante que seguramente causaría a los observadores y viajeros de la época, tanto por mar como por tierra, el juego de volúmenes de las murallas y torres de las ciudades fenicio-púnicas.

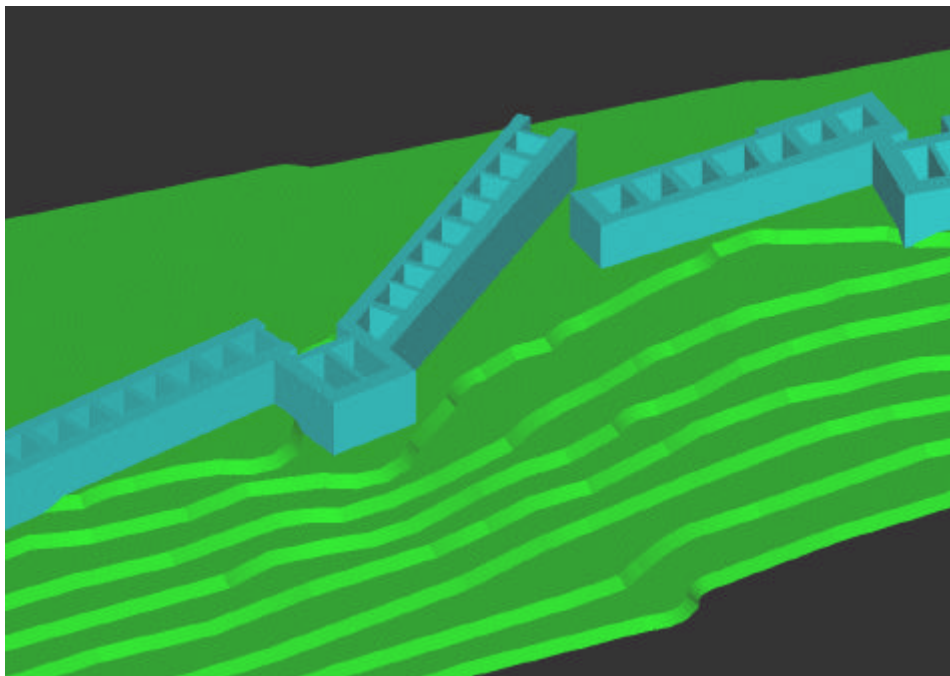


Este trabajo nos muestra un camino para reconstruir y proponer soluciones no sólo de grandes volúmenes sino también de pequeños detalles de aparejo de los muros o de soluciones constructivas.

Por otra parte, este trabajo será extraordinariamente útil al experto para comunicar a los profanos y no entendidos los resultados de sus investigaciones, como medio de justificar la financiación de los estudios, como apoyo para extender la comprensión a las tareas de Protección del Patrimonio, como instrumento para divulgar ante el gran público la importancia del estudio de la evolución histórica, técnica y social de la humanidad.



*Fig. 6: Interpretación en 3D del sector Noroeste de las murallas del Siglo IV a C. de Doña Blanca, Puerto de Santa María, Cádiz.*



*Fig. 7: Detalle de la interpretación en 3D del sector Noroeste de las murallas del Siglo IV a C. de Doña Blanca, mostrando las casernas.*

## **Agradecimientos**

A D. José Luis López Castro, Profesor Titular de Historia Antigua. Departamento de Historia, Geografía e Historia del Arte. Universidad de Almería.

## **Referencias**

ACQUARO, Enrico (1988) *Gli insediamenti fenici e punic in Italia*. Ministero per i Beni Culturali e Ambientali. Libreria dello Stato. Roma

ARIAS CABAL, Pablo. (2000) *De cazadores a campesinos. El Mesolítico, el Neolítico, el Calcolítico*. En Historia de la humanidad. Ediciones Credimar. Barcelona

BOITO, Camillo (1880) *I restauri in Architettura*. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Cuaderno 44.01 (1998)

DIES CUSÍ, Enrique (2001) *La influencia de la arquitectura fenicia en las arquitecturas indígenas de la Península Ibérica (S. VIII-VII)* en “Arquitectura Oriental y Orientalizante en la Península Ibérica”. Centro de Estudios del Próximo Oriente. CSIC Instituto de Historia

HERM, Gerhard (1976) *Los fenicios. El imperio de la Púrpura en la Antigüedad*. Ediciones Destino. Barcelona (*Die Phönizier. Das Purpurreich der Antike*. Dusseldorf, Viena, 1973)

LANCEL, Serge. (1992) *Cartago*. Barcelona 1994.

RUIZ MATA, DIEGO; PÉREZ, CARMEN J. (1995) *El Poblado fenicio del Castillo de Doña Blanca (el Puerto de Santa María, Cádiz)* El Puerto de Santa María.

RUIZ MATA, DIEGO (2001) *Arquitectura y urbanismo en la ciudad Protohistórica del Castillo de Doña Blanca* en “Arquitectura Oriental y Orientalizante en la Península Ibérica”. Centro de Estudios del Próximo Oriente. CSIC Instituto de Historia

RUSKIN, John (1850) *La lámpara de la memoria*. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Cuaderno 44.01 (1998)

TULLIO, Amedeo (1991) *J.I.S. Whitaker. Mozia, Una colonia fenicia in Sicilia*. Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti di Palermo, en [www.regione.sicilia.it/beniculturali/SoprinTP/arche/fortificazione\\_NE](http://www.regione.sicilia.it/beniculturali/SoprinTP/arche/fortificazione_NE)

VIOLLET LE DUC, E. (1850) *Restauration*. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Cuaderno 44.01 (1998)

WAGNER, Carlos G. (2000) *Fenicios. La civilización del mar*. En Historia de la humanidad. Ediciones Credimar. Barcelona

[web.tiscali.it/no-redirect-tiscali/fondazionewhitaker/Mozia/dir/scavi2](http://web.tiscali.it/no-redirect-tiscali/fondazionewhitaker/Mozia/dir/scavi2)

<http://phoenicia.org/index.shtml>



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### COMBINACIÓN DE UN MODELO DE MALLA Y CAD PARA DESCRIBIR LA VENTILACIÓN NATURAL EN INVERNADEROS

JIMÉNEZ-HORNERO, F.J. (1); HIDALGO, R. (2); GUTIÉRREZ DE RAVÉ, E. (2);  
GIRÁLDEZ, J.V. (3)

<sup>(1)</sup>Universidad de Castilla-La Mancha, España  
ETSI Caminos, Canales y Puertos, Dpto. Ingeniería Hidráulica  
Correo electrónico: [FranciscoJ.Jimenez@uclm.es](mailto:FranciscoJ.Jimenez@uclm.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Córdoba, España  
E. Politécnica Superior, Dpto. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Geográfica  
Correo electrónico: [iglgurae@uco.es](mailto:iglgurae@uco.es); [iglhifer@uco.es](mailto:iglhifer@uco.es)

<sup>(3)</sup>Universidad de Córdoba, España  
ETSI Agrónomos y Montes, Dpto. Agronomía  
Correo electrónico: [aglgicej@uco.es](mailto:aglgicej@uco.es)

### RESUMEN

En este trabajo se presenta la combinación de un modelo de malla que usa una escala de trabajo mesoscópica con CAD para describir la ventilación natural provocada por acción del viento en los tipos de invernaderos vacíos más comunes en el sureste español. El primero determina numéricamente el campo de velocidades en el interior del invernadero dependiendo de la configuración de ventanas abiertas, mientras que el segundo proporciona la forma de las paredes y cubiertas como dato de partida al modelo de malla BGK y permite la representación de los resultados obtenidos de las simulaciones hechas con el mismo.

**Palabras clave:** modelo de malla; CAD, ventilación invernaderos; metodologías y técnicas.

### ABSTRACT

In this work the coupling a mesoscopic lattice model with CAD is proposed as a useful tool for describing the indoor air flow in the natural ventilation of empty greenhouses. The first one determines the velocity field depending on the configuration of open windows while the second is used to give the configuration of obstacles (*e.g.* the shapes of the walls and cover of the greenhouses) for the lattice BGK model simulations representing its results using CAD.

**Key words:** Lattice model; CAD; ventilation greenhouses; methodologies and techniques.

## 1. Introducción

La ventilación pasiva o natural es un proceso fundamental, que influye en el clima interior de un invernadero. En particular, la ventilación contribuye al control de la temperatura, la humedad y la concentración de gases como el CO<sub>2</sub> del aire interior y, consecuentemente, afecta al crecimiento y desarrollo de los cultivos (Matallana y Montero, 1993).

La ventilación pasiva o natural tiene su origen en dos factores:

1. Distribución de las presiones en la superficie de la estructura debido al viento (Pérez-Parra *et al.*, 2001).
2. Diferencia de temperatura, y por lo tanto de presión, entre el invernadero y el exterior (Montero *et al.*, 2001)

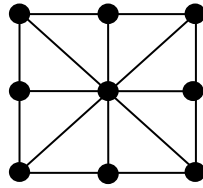
El objetivo de este trabajo es presentar una alternativa de estudio de la acción del viento en la ventilación natural de los tipos de invernadero más frecuentes, basada en la combinación del modelo de malla BGK y las técnicas de Dibujo Asistido por Ordenador (CAD). Esta combinación ha sido usada con éxito para determinar el flujo de aire en el interior de edificios de viviendas o de oficinas (Crouse *et al.*, 2002) permitiendo extraer conclusiones a la hora de mejorar las condiciones de trabajo o de habitabilidad. El modelo de malla BGK usa una escala de trabajo mesoscópica para determinar las componentes de la velocidad del flujo de aire en presencia de una configuración de obstáculos compleja. Está especialmente indicado por la sencillez con la que trata la interacción entre las partículas del fluido y los sitios del dominio problema definidos como sólidos (Jiménez-Hornero *et al.*, 2003). Para la visualización del campo de velocidades previamente calculado con el modelo de malla BGK se emplea una herramienta CAD que represente para cada punto del dominio problema el vector velocidad.

## 2. El modelo de malla BGK

En el presente trabajo se usa el modelo de malla BGK para describir el campo de velocidades del flujo de aire en el proceso de ventilación de invernadero. Los modelos de malla son esquemas numéricos desarrollados fundamentalmente en la última década del s. XX con el propósito de simular la dinámica de los fluidos (Chen y Doolen, 1998; Wolf-Gladrow, 2000, §5). Estos modelos simulan un fenómeno a una escala mesoscópica en la que la realidad es transformada en un mundo sintético constituido por partículas simples que interactúan entre sí siguiendo unas reglas sencillas. El modelo de malla BGK fue expuesto por primera vez, de forma independiente, en los trabajos de Chen *et al.* (1992) y Qian *et al.* (1992) que simplificaron su ancestro, el modelo de malla de Boltzmann (LBM), usando el concepto de tiempo de relajación propuesto por Bathnagar, Gross y Krook (1954) en

el contexto de las colisiones de gases dando lugar al modelo que se denomina mediante las iniciales de esos autores.

De la ecuación fundamental del modelo BGK se puede derivar la ecuación de Navier-Stokes (Rothman y Zaleski, 1997, §6.3; Chen y Doolen, 1998; Chopard y Droz, 1998, §3.5; Wolf-Gladrow, 2000, §4.2). Las interacciones entre las partículas del modelo conservan la masa y la cantidad de movimiento (Rothman y Zaleski, 1997, §6.1; Chopard y Droz, 1998, §3.5) y el dominio problema es una malla regular en la que cada nodo está unido a los que le rodean mediante una relación de vecindad que es elegida en función de complejidad del fenómeno que se quiere simular. En el caso de dos dimensiones, para calcular el campo de velocidades de un flujo se usan ocho vecinos más el mismo nodo (modelo  $d2q9$ ) La Fig. 1 muestra el esquema del modelo de vecindad antes mencionado.



$d2q9$

*Figura 1. Relación de vecindad ( $d2q9$ ) usada en el modelo de malla BGK para describir el campo de velocidades de un flujo siendo  $d$  el número de dimensiones y  $q$  el número de vecinos considerados.*

La probabilidad de encontrar una partícula en un enlace cualquiera  $i$  que une un nodo con sus vecinos, está representada por las variables  $f_i$ , que varían de forma continua en el intervalo  $[0,1]$  cumpliendo la hipótesis de caos molecular de Boltzmann al ser independientes unas de otras. A partir de ellas se pueden determinar variables macroscópicas como la densidad  $\rho(\mathbf{r}, t)$  y la velocidad  $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$  de la forma:

$$\begin{aligned} \rho(\mathbf{r}, t) &= \sum_{i=1}^q f_i(\mathbf{r}, t) \\ \mathbf{u}(\mathbf{r}, t) &= \frac{\sum_{i=1}^q f_i(\mathbf{r}, t) \mathbf{w}_i}{\rho(\mathbf{r}, t)} \end{aligned} \quad (1)$$

donde  $\mathbf{w}_i = (\Delta r / \Delta t) \cdot \mathbf{c}_i$ , es la velocidad de una partícula en el enlace  $i$  en el nodo  $\mathbf{r}$  en el tiempo  $t$ .  $\Delta r$  es el espaciado de la malla,  $\mathbf{c}_i$  son las coordenadas del nodo vecino conectado a  $\mathbf{r}$  mediante el enlace  $i$  y  $q$  el número de vecinos considerados.

La ecuación mesoscópica fundamental de un modelo BGK es (Qian *et al.*, 1992; Chen *et al.*, 1992):

$$f_i(\mathbf{r} + \Delta t \cdot \mathbf{w}_i, t + \Delta t) = \frac{1}{\tau} f_i^{(0)}(\mathbf{r}, t) + \left(1 - \frac{1}{\tau}\right) f_i(\mathbf{r}, t) \quad (2)$$

en la que  $f_i^{(0)}$  es el término de equilibrio local y  $\tau$  es el tiempo de relajación. La expresión usada en este trabajo para  $f_i^{(0)}$  toma la forma general:

$$f_i^{(0)} = \rho t_p \left[ 1 + \frac{w_{i\beta} u_\beta}{c_s^2} + \frac{1}{2} \left( \frac{w_{i\beta} u_\beta}{c_s^2} \right)^2 - \frac{u_\beta u_\beta}{2c_s^2} \right] \quad (3)$$

En la expresión (3) el convenio de suma de Einstein ha sido adoptado, siendo  $k\beta$  la componente de cualquier vector  $\mathbf{k}$  en la dimensión  $\beta$ . Los  $t_p$  son factores que ponderan, en el caso de una malla cuadrada bidimensional, a las partículas en reposo,  $t_0$ , a las que se mueven en horizontal y en vertical,  $t_1$ , y a las que lo hacen en diagonal,  $t_2$ . Finalmente,  $c_s$  es un parámetro conocido como velocidad del sonido que depende de la relación de vecindad seleccionada. La Tabla 1 muestra los valores de los parámetros anteriores para el modelo de vecindad  $d2q9$  (Succi, 2001, §5.2).

**Tabla 1.** Parámetros del modelo de vecindad  $d2q9$ . (Succi, 2001, §5.2).

	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$c_s^2$
<b><math>d2q9</math></b>	<b>4/9</b>	<b>1/9</b>	<b>1/36</b>	<b>1/3</b>

El tiempo de relajación permite ajustar de forma sencilla la viscosidad cinemática,  $\nu$ , y por tanto el número de Reynolds,  $Re$ .

$$Re = \frac{U \cdot L}{\nu} \quad (4)$$

siendo  $U$  la velocidad media del flujo y  $L$  la longitud característica del flujo, respectivamente.

En (5) se muestra como se ajusta la viscosidad cinemática  $\nu$  en función del tiempo de relajación  $\tau$ .

$$\nu = c_s^2 \left( \tau - \frac{1}{2} \right) \quad (5)$$

La estabilidad del modelo de malla BGK propuesto está condicionada al valor del tiempo de relajación ya que si es menor que 0.5 la viscosidad cinemática sería negativa. Si se desea simular flujos turbulentos, caracterizados por un valor de  $Re$  grande y viscosidad pequeña, que implica un tiempo de relajación próximo a 0.5, es necesario hacer algunas modificaciones en el modelo BGK para asegurar su estabilidad numérica.

Hou *et al.* (1996) proponen una forma de superar esta limitación del modelo BGK, resumida posteriormente por Masselot (2000 §2.2.3). El método se basa en la simulación de remolinos grandes, aquellos cuyo tamaño es mayor que la resolución de la malla, y tratar de extrapolar lo que ocurre a una escala de resolución más pequeña mediante la introducción de una viscosidad cinemática espacialmente dependiente  $\bar{\nu}$ , teniendo en cuenta la viscosidad original  $\nu_0$  más la llamada viscosidad de remolino residual  $\nu_t$ :

$$\bar{\nu} = \nu_0 + \nu_t \quad (6)$$

La viscosidad de remolino es considerada en muchas ocasiones como un artificio empírico sin una conexión clara con la física subyacente. Sin embargo, funciona bien y muchas aproximaciones la usan. Entre éstas se encuentra el modelo de viscosidad de remolino de Smagorinsky (e.g. Pope, 2000, §13.4; Succi, 2001 §9.5) que define  $\nu_t$  como:

$$\nu_t = C_{smago} |S| \quad (7)$$

donde  $|S| = \sqrt{2S_{\alpha\beta}S_{\alpha\beta}}$  es la magnitud del tensor de tensiones  $S_{\alpha\beta}$  y  $C_{smago}$  es un parámetro externo denominado constante o viscosidad de remolino efectiva de Smagorinsky, que brevemente se expone a continuación.

Como la viscosidad cinemática y el tiempo de relajación están relacionados por la expresión (5), también se puede considerar un tiempo de relajación de remolino  $\tau_t$ .

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{\nu}}{c_s^2} - \frac{1}{2} = \frac{\nu_0 + \nu_t}{c_s^2} - \frac{1}{2} = \tau_0 + \frac{\nu_t}{c_s^2} = \tau_0 + \tau_t \quad (8)$$

En el modelo BGK, cuando los efectos de grado superior de la velocidad y los errores de incompresibilidad son despreciados,  $S_{\alpha\beta}$  puede ser deducido a partir del tensor de densidad de flujo de la cantidad de movimiento  $\Pi_{\alpha\beta}$  (Chopard y Droz, 1998 §3.5.2).

$$S_{\alpha\beta} = -\frac{1}{2\tau\rho} \frac{C_2}{C_4} \Pi_{\alpha\beta} \quad (9)$$

donde  $C_2$  y  $C_4$  son constantes que dependen del modelo de vecindad seleccionado

La ecuación mesoscópica fundamental del modelo BGK (2) queda de la siguiente forma:

$$\bar{f}_i(\mathbf{r} + \Delta t \cdot \mathbf{w}_i, t + \Delta t) = \bar{f}_i(\mathbf{r}, t) + \frac{1}{\tau} \left( \bar{f}_i^{(0)}(\mathbf{r}, t) - \bar{f}_i(\mathbf{r}, t) \right) \quad (10)$$

Las inestabilidades numéricas se originan en el modelo de malla BGK cuando las  $f_i$  alcanzan valores negativos, por ejemplo cerca de un obstáculo donde la tensión es alta, y el tiempo de relajación es demasiado pequeño. Estos valores negativos pueden ser evitados incrementando  $\tau$  pero esto va en contra del objetivo de alcanzar una viscosidad pequeña. El modelo de Smagorinsky aumenta el valor del tiempo de



relajación en aquellos lugares donde la tensión es alta, eliminando así cualquier posibilidad de desarrollo de inestabilidad.

De forma práctica, al simular un flujo turbulento con el modelo de malla BGK y el modelo de Smagorinsky se fija el valor de  $\tau$  muy próximo a 0.5 y  $C_{smago}$  entre 0.05 y 0.2. La elección del valor correcto de  $C_{smago}$  depende de la configuración del flujo y debe ser ajustado empíricamente. Este es el principal inconveniente de este modelo.

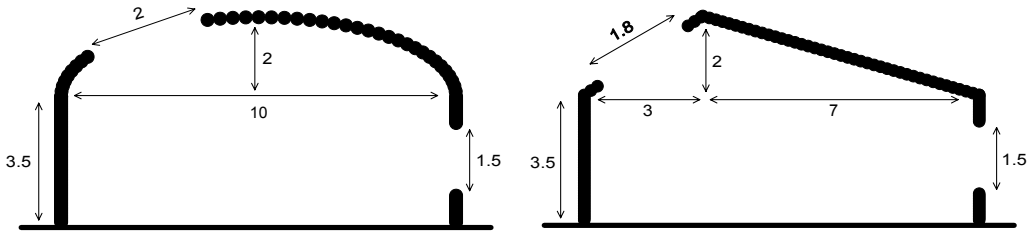
### 3. Desarrollo del Trabajo

La interacción entre la herramienta CAD y el modelo de malla BGK es bidireccional. En una primera etapa, la configuración de los obstáculos que el flujo de aire se va a encontrar (e.g. paredes y cubierta del invernadero) es representada mediante CAD para, posteriormente, convertir esa información en datos de partida de la simulación que se hace con el modelo de malla BGK mediante la técnica conocida como marcador y celda (*marker and cell*), que permite de forma sencilla definir geometrías complejas de obstáculos como agrupaciones de nodos de la malla marcados u ocupados. En una segunda y última etapa, los resultados de la simulación son representados usando CAD permitiendo observar las corrientes de ventilación formadas en el interior del invernadero.

Con el modelo de malla BGK se simularon las corrientes de ventilación natural que se crean en las secciones transversales de los tipos de invernaderos más comunes del sureste español, mono y multicapilla con cubiertas triangulares asimétricas o curvadas, al abrir ventanas en la techumbre y/o en las paredes laterales de los mismos. Solamente se tuvo en cuenta, en la formación de las corrientes de ventilación, el efecto de la forma del invernadero obviando cualquier otro tipo de influencia que tuviera su origen en el cultivo o estructuras del interior del mismo. En todos los casos se consideró un flujo bidimensional de viento ligero, forzado de izquierda a derecha como se puede apreciar en las siguientes figuras, con una velocidad media no afectada por la presencia de la estructura del invernadero de 0.55 m/s. Esta velocidad se corresponde con un valor de 0.1 unidades de malla/iteración en el modelo de malla BGK al tomar  $\Delta r = 0.16$  m/unidades de malla y  $\Delta t = 0.03$  s/iteración. La viscosidad cinemática del aire,  $1.5 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s, se ajustó con un tiempo de relajación,  $\tau$ , igual a 0.500052 y la constante de Smagorinsky se fijó en 0.2. Tanto en la cubierta como en las paredes laterales, lugares definidos como obstáculos sólidos, se aplicó la regla del rebote o “*bounce-back*” en su interacción con las partículas de aire con el objeto de conseguir una velocidad nula en esos sitios. La figura 2 muestra el esquema acotado de las secciones transversales de invernaderos estudiadas.

En la figura 3 se pueden observar las corrientes de ventilación en régimen permanente que se forman de manera natural en invernaderos monocapilla al soplar el viento de izquierda a derecha, correspondiendo las flechas de tono claro a las mayores velocidades y las de tono oscuro a las de menor. La ausencia de flechas en una zona implica una velocidad nula en la misma. En todos los casos la ventana en la cubierta

se mantuvo abierta, cerrando o abriendo las ventanas laterales. Como se puede apreciar no hay diferencias notables en cuanto a la distribución del flujo de aire en el interior del invernadero excepto en la situación en que las dos ventanas laterales se encuentran cerradas ya que la ventilación es muy pobre para el invernadero de cubierta curvada. Otro aspecto a destacar es la atenuación o completa desaparición del torbellino que se origina aguas abajo del invernadero cuando la circulación horizontal de aire es importante, lo que sucede en las situaciones en las que la ventana lateral derecha del invernadero está abierta.



*Figura 2. Esquema de las secciones transversales de los invernaderos ensayados en las simulaciones. Las cotas están expresadas en m.*

Las figuras 4 y 5 muestran la circulación natural de aire en el caso de invernaderos multicapilla. Como se puede observar, para todas las configuraciones de apertura y cierre de ventanas laterales manteniendo la de la cubierta abierta, la formación de torbellinos es más evidente cuando el techo del invernadero es curvado, lo que supone una mejora notable en el proceso de ventilación al renovar el aire en toda la altura del recinto. Al mismo tiempo se consigue una temperatura más homogénea en todo el invernadero al mezclar las capas de aire caliente y frío. Al igual que ocurre con los invernaderos monocapilla, la apertura de la ventana lateral derecha supone la desaparición parcial o total del vórtice que se origina aguas abajo del invernadero. Cuando las ventanas de las paredes laterales están abiertas se crea una fuerte corriente de aire horizontal que provoca una mala ventilación de las capas de aire situadas próximas a la cubierta.

#### 4. Consideraciones Finales

La versatilidad de la combinación el modelo de malla BGK con CAD en la determinación y representación del campo de velocidades de un flujo en presencia de obstáculos, ha quedado demostrada en el caso de la ventilación natural en invernaderos debida a la acción del viento augurando un futuro prometedor del uso de esta herramienta en el diseño de invernaderos y en la descripción de fenómenos similares.

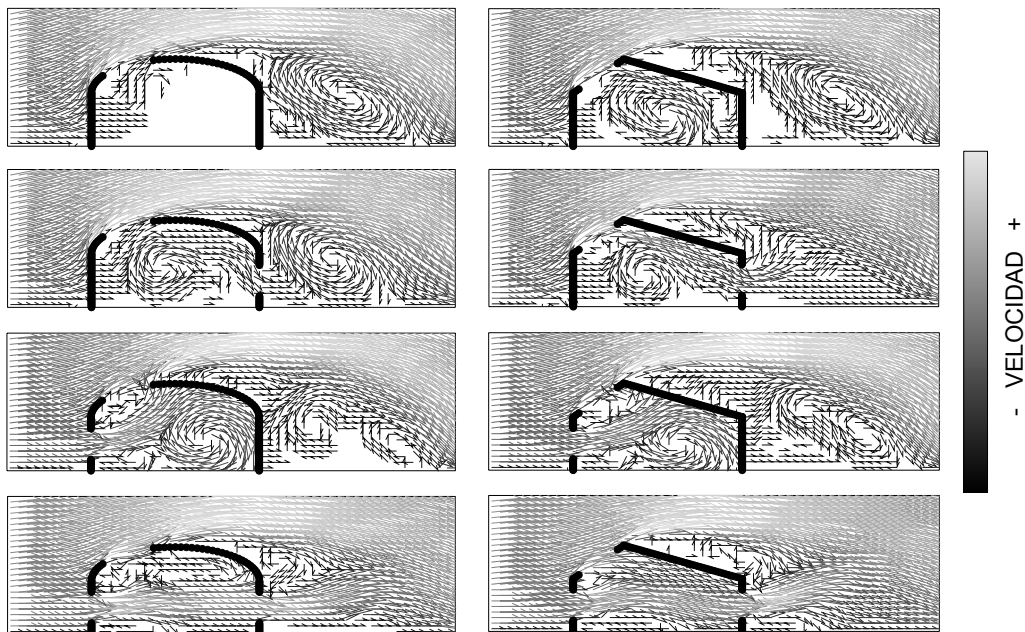


Figura 3. Corrientes de ventilación natural originadas en el interior de invernaderos monocapilla de cubierta curvada y triangular asimétrica.

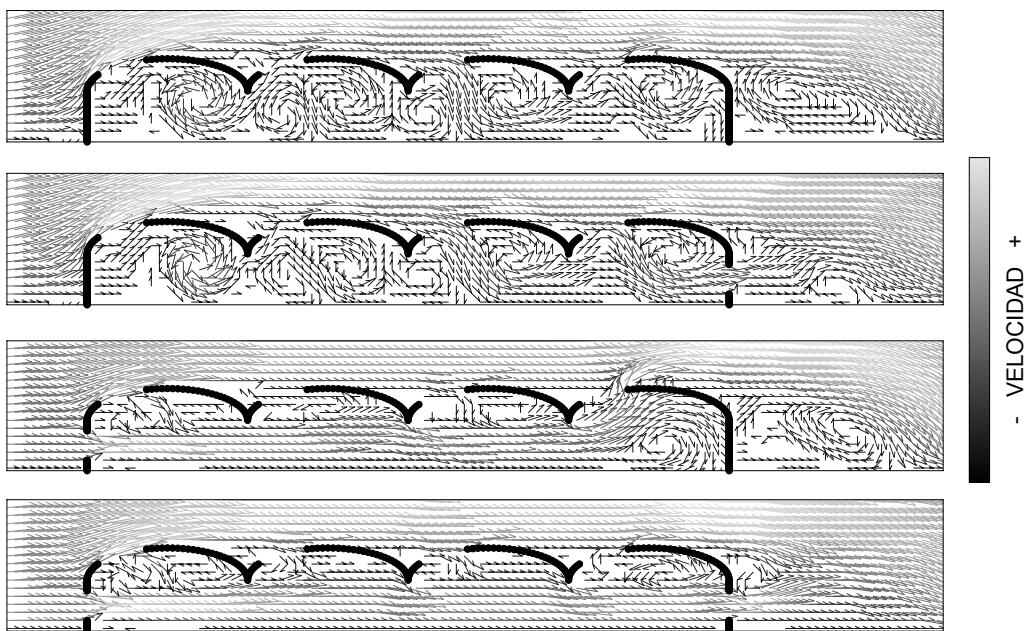


Figura 4. Corrientes de ventilación natural originadas en el interior de un invernadero multicapilla de cubierta curvada.

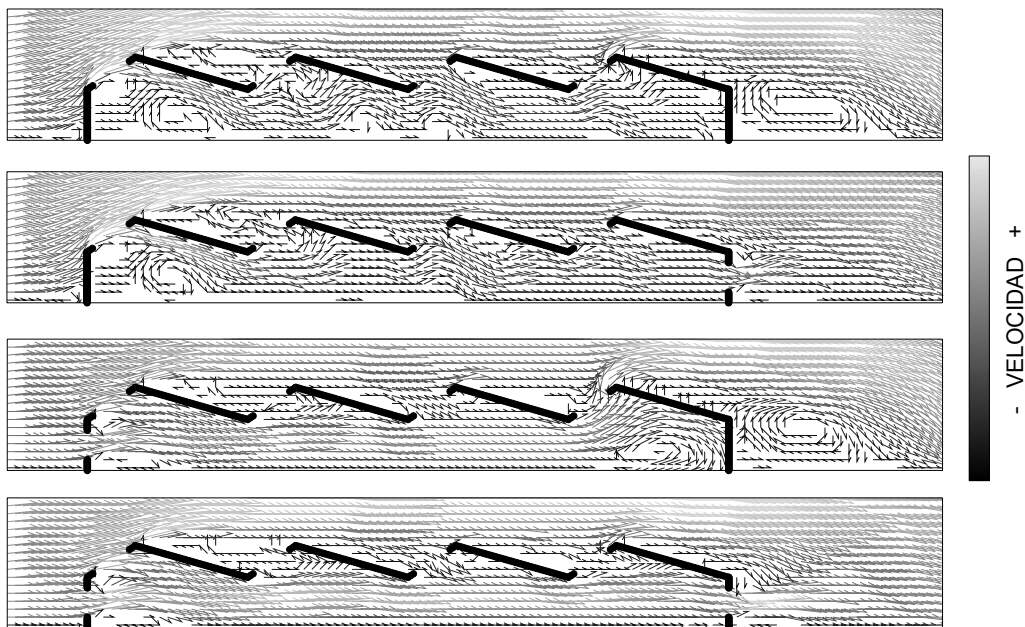


Figura. 5. Corrientes de ventilación natural originadas en el interior de un invernadero multicapilla de cubierta triangular asimétrica.

## Referencias

Bathnagar, P., Gross, E.P. y Krook, M.K. A model for collision processes in gases. I. Small amplitude processes in charged and neutral one-component systems. *Phys. Rev. B*, v. 94, pp. 511-525, 1954.

Chen, S. y Doolen, G. Lattice Boltzmann method for fluid flows. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, v. 30, pp. 329-364, 1998.

Chen, S., Wang, Z., Shan, X. y Doolen, G. Lattice Boltzmann computational fluid dynamics in three dimensions. *J. Stat. Phys.*, v. 68, pp. 379-400, 1992.

Chopard, B. y Droz, M. *Cellular Automata modeling of physical systems*. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Crouse, B., Krafczyk, M., Kühner, S., Rank, E. y van Treeck, C. Indoor air flow analysis based on lattice Boltzmann methods. *Energy and Buildings*, v. 34, pp. 941-949, 2002.

Hou, S., Sterling, J., Chen, S. y G.D. Doolen. A lattice subgrid model for high Reynolds number flows. *Fields Institute Communications*, v. 6, pp. 151-166, 1996.

Jiménez-Hornero, F.J., Giráldez, J.V. y A. Laguna. Description of water and sediment flow in presence of obstacles with a 2D lattice BGK-cellular automata model. *Water Res. Research*, v. 39, pp. 1369, doi: 10.1029/2003WR002302, 2003.

Masselot, A. *A new numerical approach to snow transport and deposition by wind: a parallel lattice gas model*. PhD Thesis. University of Geneve, 2000.

Matallana, A. y Montero, J.I.. *Invernaderos: Diseño, Construcción y Ambientación*. Mundi Prensa, Madrid, 1993.

Montero, J.I., Antón, A. Kamaruddin, R. y B.J. Bailey. Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small scale models. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 79, pp. 213-222, 2001.

Pérez-Parra, J., Montero, J.I., Baeza, E. y A. Antón. *Ventilación y refrigeración de invernaderos*. J.C.López, et al. (ed.). *Incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo*. Almería, Cajamar, pp. 49-59, 2001.

Pope, S.B. *Turbulent flows*. Cambridge University Press. Cambridge, 2000.

Qian, Y.H., D'Humieres, D. y Lallemand, P. Lattice BGK models for Navier-Stokes equation. *Europhys. Lett.*, v. 17, pp. 479-484, 1992.

Rothman, D.H. y S. Zaleski. *Lattice-gas cellular automata. Simple models of complex hydrodynamics*. Collection Aléa Saclay. Cambridge University Press. Cambridge, 1997.

Succi, S. *The lattice Boltzmann equation for fluid dynamics and beyond. Numerical mathematics and scientific computation*. Oxford University Press, Oxford, 2001.

Wolf-Gladrow, D.A. *Lattice-gas automata and lattice Boltzmann models*. Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Berlin, 2000.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO, ANÁLISIS Y TRATAMIENTO INFORMÁTICO DE LAS LOSAS ALABEADAS DE ESPESOR VARIABLE

DELGADO OLMOS, Angel H.(1); MÁRQUEZ GARCÍA, Maria Luisa (2); RODRÍGUEZ  
RUIZ, Francisco de Asís (3); ESCUTIA RECIO, María Teresa (4)

<sup>(1)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la  
Ingeniería

E-mail: ahdolmos@goliat.ugr.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Arquitectura, Departamento de Matemática Aplicada

E-mail: mmarquez@goliat.ugr.es

<sup>(3)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la  
Ingeniería

E-mail: asis\_ing@hotmail.com

<sup>(4)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Arquitectura

E-mail: pheytos@hotmail.com

### RESUMEN

Llamamos losa alabeada a aquella cuyos cuatro lados no son coplanarios. Esta definición así formulada queda incompleta si tenemos en cuenta que un cuadrilátero alabeado se puede rellenar internamente de infinitas maneras. Es decir, hay infinitas superficies que tienen dicha poligonal por borde.

Por tanto restringiremos las infinitas soluciones a una única tipología de superficies que permitan una cobertura del espacio delimitado por una serie de cuadriláteros.

La unicidad del tipo de superficie reglada que configurara las distintas soluciones hace que se facilite la creación del algoritmo generador de los parches empleados y de la posterior implementación de las soluciones.

Al ser todas las soluciones obtenidas combinaciones de una misma tipología se facilita el tratamiento informático de las mediciones del área de cada una de ellas, cuestión ésta de gran interés para compararlas entre sí.

También al hacer el relleno con una superficie reglada de tipología única se facilita el proceso de construcción y replanteo de ésta, homogeneizando mucho los trabajos de pie de obra.

La presente comunicación contiene el algoritmo de generación de la superficie usada como relleno, y su implementación en ordenador.

Se han obtenido las definiciones analítica y grafica de cada uno de los parches componentes de las losas haciendo uso de distintas metodologías que han permitido distintas definiciones graficas con el uso de distintos tipos de software.

**Palabras clave:** losa alabeada, parche, superficie reglada, parámetros, implementar

## ABSTRACT

We call overhanging flagstone to that whose four sides are not coplanarian. However, this definition this way formulated it is incomplete, since there are infinite surfaces that have that polygonal for border.

Therefore we will restrict the infinite solutions to an only surface tipology that cover the space defined by quadrilaterals.

The unicidad of the type of ruled surface it will facilitate the creation of a generating algorithm for the used patches and alow the later implementation of the solutions.

To the being all the solutions obtained combinations give oneself tipology, the computer treatment of the area mesurations is facilitated, question this gives great interest to compare them to each other.

Also when making the filler with a unique ruled surface tipology, the process of construction and restated it is facilitated, homogenizing a lot the works.

The present communication contains the generator algorithm used as filler, and its implementation in computer.

The analytic and grafic definitions of each one of the patches have been obtained using different methodologies, that have allowed different definitions with the use of different kind of software.

**Key words:** overhanging flagstone, patch, ruled surface, parameters, to implement

## 1. Introducción

El relleno de un contorno, mediante una o varias superficies, es un problema que aparece frecuentemente durante el proceso de elaboración de los proyectos de ingeniería y arquitectura.

El caso que se aborda en esta comunicación es aquel en el que el contorno está formado por un cuadrilátero plano o alabeado.

Dentro de las posibles superficies de relleno que se pueden utilizar, se ha buscado una solución en la que todas ellas respondan a una única tipología y que además ésta sea lo más simple posible, tanto desde el punto de vista matemático como constructivo.

Por estas razones se ha utilizado la superficie, cuyo algoritmo de generación se desarrolla en el apartado siguiente y que permite crear cuadriláteros planos y

alabeados así como triángulos. Con estos elementos se puede rellenar cualquier contorno delimitado por un polígono plano o alabeado.

Se ha incidido en la resolución de ejemplos en los que el contorno que iba a ser rellenado era un polígono alabeado ya que este tipo presenta mayor generalidad. El contorno plano sería un caso particular que se resuelve con la misma metodología que el caso anterior.

En la presente comunicación mostraremos la metodología de creación de algoritmos que nos permiten generar las múltiples soluciones a un problema, haciéndolas depender de una serie de parámetros características.

## 2. Modelado matemático del problema

### Formulación matemática de estas superficies

Si se pretende diseñar una línea recta que pase por dos puntos  $\mathbf{P}_0$  y  $\mathbf{P}_1$  (Figura 1)

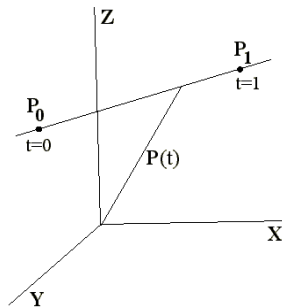


Fig. 1

Su ecuación vectorial se puede expresar como:

$$\mathbf{P}(t) = f_0(t)\mathbf{P}_0 + f_1(t)\mathbf{P}_1 \quad \text{Ec. 1}$$

donde  $\mathbf{P}_0$  y  $\mathbf{P}_1$  son los vectores de posición de los puntos de paso y  $f_0(t)$  y  $f_1(t)$  dos funciones que tienen que verificar:

$$f_0(0) = 1; \quad f_0(1) = 0; \quad f_1(0) = 0; \quad f_1(1) = 1 \quad \text{Ec.2}$$

para que la recta diseñada pase por  $\mathbf{P}_0$  y  $\mathbf{P}_1$

Estas funciones son polinomios de Lagrange que calculados serían:

$$f_0(t) = (1-t); \quad f_1(t) = t \quad \text{Ec.3}$$

Llevando estos valores a Ec.1 quedaría que la ecuación de la recta sería:

$$\mathbf{P}(t) = (1-t)\mathbf{P}_0 + t\mathbf{P}_1 \quad \text{Ec.4}$$



que, en efecto, pasa por los puntos  $\mathbf{P}_0$  y  $\mathbf{P}_1$  como se pretendía

La ecuación 4 puede ponerse en forma matricial como:

$$\mathbf{P}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{P}_0 & \mathbf{P}_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ 1 \end{pmatrix} \quad Ec.5$$

Si se efectúa el producto tensorial de la ecuación 5 por sí misma se llegaría a:

$$\mathbf{P}(t,u) = \begin{pmatrix} t & 1 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \mathbf{P}_{00} & \mathbf{P}_{01} \\ \mathbf{P}_{10} & \mathbf{P}_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ 1 \end{pmatrix} \quad Ec.6$$

Que es la ecuación vectorial (puesta en forma matricial) de la superficie (Figura 2) que pasa por los puntos  $\mathbf{P}_{00}$ ,  $\mathbf{P}_{01}$ ,  $\mathbf{P}_{10}$ , y  $\mathbf{P}_{11}$ .

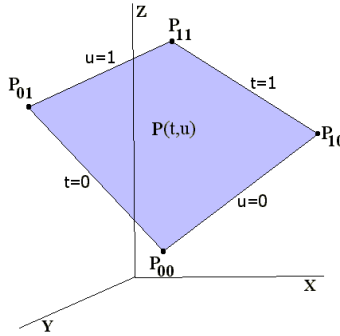


Fig. 2

En efecto, se cumple que:

$$\mathbf{P} \left( \begin{matrix} t_i \\ u_j \end{matrix} \right) = \mathbf{P}_{ij} \quad \forall i = \{0,1\}, \quad \forall j = \{0,1\} \quad \text{siendo} \quad \begin{cases} t_i = i \\ u_j = j \end{cases} \quad Ec.7$$

Luego la superficie  $\mathbf{P}(t,u)$  pasa por los cuatro puntos  $\mathbf{P}_{00}$ ,  $\mathbf{P}_{01}$ ,  $\mathbf{P}_{10}$ , y  $\mathbf{P}_{11}$

## Formulación paramétrica de la superficie

Si en la expresión Ec. 6 se hacen las operaciones allí expresadas y se desglosa en sus componentes los vectores que en ella aparecen, se llega a las ecuaciones paramétricas de la superficie (cuadrilátero plano o alabeado) que pasa por la red de cuatro puntos dados  $\mathbf{P}_{00}$ ,  $\mathbf{P}_{01}$ ,  $\mathbf{P}_{10}$ , y  $\mathbf{P}_{11}$ .

$$\left. \begin{aligned} x &= acx00 + bcx10 + adx01 + bdx11 \\ y &= acy00 + bcy10 + ady01 + bdy11 \\ z &= acz00 + bcz10 + adz01 + bdz11 \end{aligned} \right\} \quad Ec.8$$

donde:

$$a = t - 1; \quad b = t; \quad c = -u + 1; \quad d = u \quad \text{Ec.9}$$

y los vectores que aparecían se han desglosado en sus componentes según:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{P}(t,u) &= (x, y, z); \\ \mathbf{P}_{00} &= (x_{00}, y_{00}, z_{00}); \\ \mathbf{P}_{01} &= (x_{01}, y_{01}, z_{01}); \\ \mathbf{P}_{10} &= (x_{10}, y_{10}, z_{10}); \\ \mathbf{P}_{11} &= (x_{11}, y_{11}, z_{11}) \end{aligned} \right\} \quad \text{Ec. 10}$$

### Tipología de superficies que responden a esta formulación.

Si en la superficie cuyo diseño buscamos los cuatro puntos  $\mathbf{P}_{00}$ ,  $\mathbf{P}_{01}$ ,  $\mathbf{P}_{10}$ , y  $\mathbf{P}_{11}$ . no son coplanarios la superficie que se obtiene es el cuadrilátero alabeado. Si los puntos son coplanarios se obtiene el cuadrilátero plano que los tiene por vértices.

Si se contrae un borde del cuadrilátero, por ejemplo, el correspondiente a  $u=1$  o lo que es lo mismo el punto  $\mathbf{P}_{01} = \mathbf{P}_{11}$ , entonces, la expresión Ec. 6 quedaría como sigue:

$$\mathbf{P}(t,u) = (t \quad 1)^T \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \mathbf{P}_{00} & \mathbf{P}_{01} \\ \mathbf{P}_{10} & \mathbf{P}_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec.11}$$

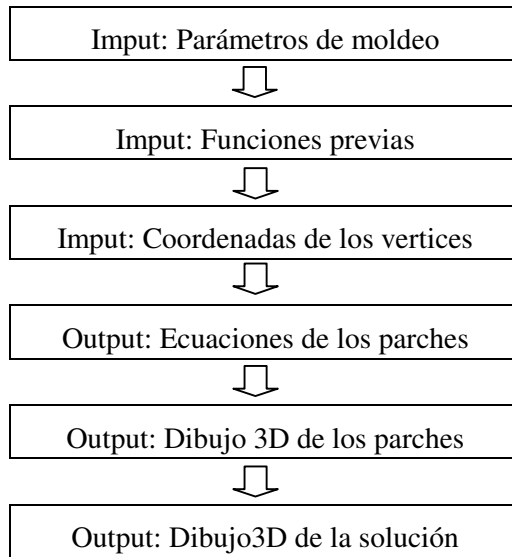
que es la ecuación de la superficie triangular que tiene los puntos  $\mathbf{P}_{00}$ ,  $\mathbf{P}_{10}$ , y  $\mathbf{P}_{11}$ . por vértices, ya que se cumple:

$$\mathbf{P}(0,0)=\mathbf{P}_{00}; \quad \mathbf{P}(1,0)=\mathbf{P}_{10} \quad \mathbf{P}(1,1)=\mathbf{P}_{11} \quad \text{Ec.12}$$

Por tanto estas tres superficies: cuadrilátero plano, cuadrilátero alabeado y triángulo son casos particulares de estas superficies que responden a una formulación del tipo de la obtenida en Ec. 6.

### Implementación

El proceso para diseñar este tipo de superficies responde a un organigrama como el que aparece seguidamente, en el que partiendo de las funciones previas (a, b, c, d) y de las coordenadas cartesianas de los puntos vértices de la superficie que queremos construir, se obtienen las ecuaciones de la superficie (su definición analítica) y su dibujo (definición formal en modelo 3D).

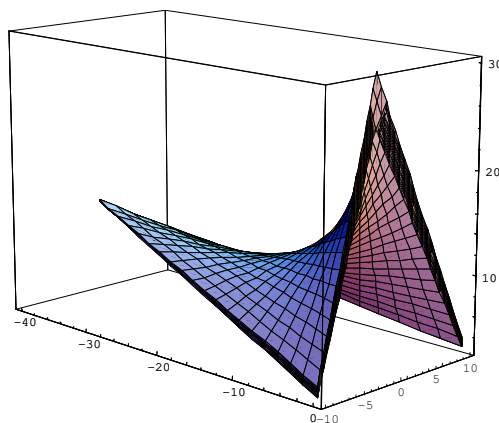


### Ejemplo del uso de estas superficies para el diseño de cubiertas

Estas superficies responden a unas ecuaciones que, según se ve en Ec.8, son combinaciones lineales de las coordenadas cartesianas de los vértices del polígono. Por tanto es fácil imponer las simetrías que presente el polígono alabeado, facilitándose mucho la implementación del algoritmo.

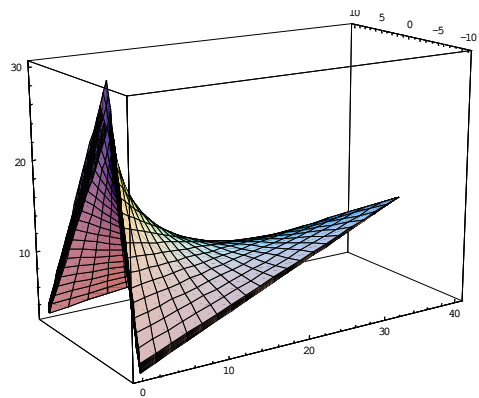
Los parámetros de moldeo con los que se configuran cada una de las losas son las dimensiones en planta de ésta, las alturas de cada uno de las esquinas (puntos de control) y los espesores de la losa en cada una de las esquinas.

Usando esta metodología se ha diseñado la hoja de la izquierda de la cubierta cuya perspectiva aparece en la figura 3.



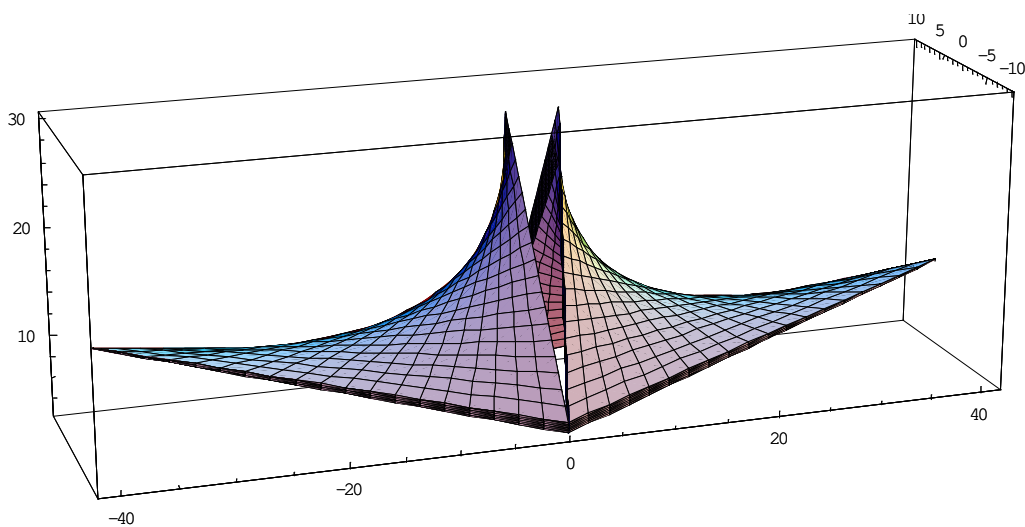
*Fig.3 -Perspectiva de la hoja izquierda de la obra*

Mediante una simetría respecto al plano ZY se obtienen las ecuaciones de la hoja derecha de la cubierta y consecuentemente su perspectiva tal como se muestra en la figura 4.



*Fig.4.- Perspectiva de la hoja derecha de la obra*

En la figura 5 se muestra una perspectiva general de la cubierta total con las dos hojas que la componen. Esta cubierta es una emulación de la diseñada por Félix Candela para la iglesia de San José Obrero en Monterrey.



*Fig.5- Perspectiva general de la cubierta de la iglesia*

Todos los parches que componen la cubierta son cuadriláteros planos o albeados.

### 3. Conclusiones

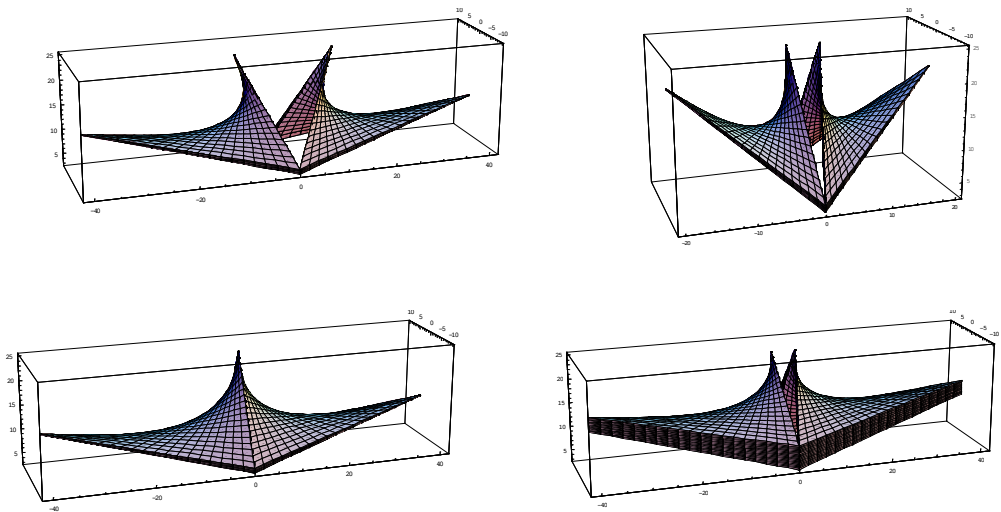
La metodología expuesta a lo largo de la ponencia resuelve el problema propuesto de rellenar un contorno, que es un cuadrilátero alabeado, mediante superficies que son de la misma tipología: cuadriláteros planos y alabeados.

Además el relleno se hace con superficies de estructura matemática muy simple, son formas bilineales en los parámetros  $t$  y  $u$ .

Como las ecuaciones paramétricas de cada uno de los parches que componen la obra son (ver Ec.10 ) lineales en las coordenadas cartesianas de los puntos de control resulta fácil imponer traslaciones, giros y simetrías. Así la parte derecha de la obra es simétrica de la izquierda, respecto al plano ZY, con lo que las ecuaciones de aquella son inmediatas a partir de una traslación de las de la izquierda.

La metodología aporta además las ecuaciones de cada uno de los parches que componen la solución adoptada como relleno, información que resulta muy útil para hacer cualquier análisis profundo de dichas formas ya sea de tipo estructural, de mediciones o funcional.

También se genera un modelo 3D de la solución de relleno adoptada. Este modelo se puede hacer depender de unos parámetros de moldeo y por tanto es susceptible de manipulación. Por tanto puede servir para generar diversas soluciones alternativas; tal como se muestra en la figura 6



*Fig. 6. – Distintas variantes surgidas durante el estudio de alternativas*

## 4. Revisión Bibliográfica

[1] Delgado Olmos, A.; "Modelado de superficies polinomiales y su aplicación a la técnica". Tesis Doctoral. Universidad de Granada 1995

[2] Delgado Olmos, A.; Cobos Gutiérrez; C; "Modelado de superficies polinomiales que pasan por una red de puntos fijos", Jaén (España) VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Publicaciones de la Universidad de Jaén 1996. ISBN: 84-88942-71-0

[3] Delgado Olmos, A.; "Diseño de superficies de acuerdo. Propuestas de solución", Bilbao (España) IX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería UPV/EHU 1997. D.P.: BI-788-97

[4] Delgado Olmos, A.; "Diseño de cubiertas. El paraboloide hiperbólico como elemento configurador de soluciones", Barcelona (España) IV Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación, Servicio de Publicaciones de la UPC 1997. D.P.: B-45417-97

[5] Delgado Olmos, A.; "Elementos autoencajables. Diseño y uso", Málaga (España) X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyecto 1998. ISBN: 84-89791-04-x

[6] Delgado Olmos, A.; "Diseño de Superficies Regladas de Generatrices Equiespaciadas", Logroño-Pamplona (España) XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Secretaría del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.1999. ISBN: 84-699-0475-2

[7] Delgado Olmos, A.; Cobos Gutiérrez, C. "Diseño de superficies de borde fijo", Pamplona (España) VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, T.G. Ediciones S.L. Navarra .1996. ISBN: 84-921319-718-5

[8] Delgado Olmos, A.; "La Formalización Gráfico-Analítica del Proyecto. Un Proceso Armonizador", San Sebastián (España) VII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, Arkitektura Saila UPV/UPC .1998. ISBN: 84-8373-073-5

[9] Delgado Olmos, A.; "Diseño y análisis de formas arquitectónicas singulares. Nuevas tecnologías para su realización", Barcelona (España) VIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, Servei d'Informació, Imatge i Publicacions UPC 2000 . ISBN: 84-7653-743-3

[10] Delgado Olmos, A.; Marquez García, L.; "Two Tools for the Design of Cover-Roofs: Polynomials Curves and Coons Surfaces", San Sebastián (España), Nathaniel A. Friedman, 1999. ISBN: 84-930669-0-7

[11] Delgado Olmos, A.; " Sección variable o cercha. Soluciones al diseño de bóvedas de grandes luces", Badajoz (España) XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Departamento de Expresión Gráfica 2001. ISBN: 84-699-5057-6

[12] Delgado Olmos, A.; " Diseño de estructuras arbóreas", Granada (España) VI Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación, S.D.G.LL. Ediciones 2001. ISBN.: 84-699-6561-1

[13] Delgado Olmos, A.; " Diseño de estructuras partiendo de un boceto", Granada (España) VI Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación, S.D.G.LL. Ediciones 2001. ISBN.: 84-699-6561-1

[14] Blachman, N.; " Mathematica. Un enfoque práctico" Ariel Informática, Barcelona.1993. ISBN:84-344-0478-8

[15] Bohm, W.;" Geometrics Concepts for Geometric Design A.K. Peters , Wellesley, Massachusetts.1994.

[13] Farin, G.; " Curves and surfaces for computer aided geometric design" Academic Press, INC.1988.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### EL MODELADO ANALÍTICO-PARAMETRICO FRENTE A LA CREACIÓN GRÁFICA DIRECTA. VENTAJAS E INCONVENIENTES

DELGADO OLMOS, Angel H.(1); MÁRQUEZ GARCÍA, Maria Luisa (2);  
RODRÍGUEZ RUIZ, Francisco de Asís (3)

<sup>(1)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

E-mail: ahdolmos@goliat.ugr.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Arquitectura, Departamento de Matemática Aplicada

E-mail: mmarquez@goliat.ugr.es

<sup>(3)</sup> Universidad de Granada. España

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

E-mail: asis\_ing@hotmail.com

### RESUMEN

La presente comunicación pretende contrastar y conjugar dos métodos de creación: el modelado analítico, y el modelado gráfico; analizando las ventajas e inconvenientes, descubriendo cuales son los cometidos que han de cumplir cada una dentro del proceso de ideación-diseño-ejecución.

Propondremos, por tanto, una metodología para la creación de algoritmos que permita generar las múltiples soluciones de un problema, haciéndolo depender de una serie de parámetros característicos.

Igualmente se extrapolarán dichas conclusiones al terreno de la práctica, a través de ejemplos, exponiendo las diferencias así como las ventajas e inconvenientes del uso de los programas de diseño gráfico de tipo convencional con respecto a los programas de análisis matemático.

**Palabras clave:** creación gráfica, creación analítica, paramétrico, representación fotorealística



# ABSTRACT

The present communication seeks to contrast and to conjugate two methods for the creation: the analytic modeling, and the graphic modeling; analyzing the advantages and inconveniences, discovering which are the assignments that they have gives to complete each one inside the brainstorming-design-execution process

We will propose, therefore, a methodology for the creation of algorithms that it allows to generate the multiple answers to a problem, making it depend of a series of characteristic parameters.

Equally this summations will be extrapolated to the land of the practice, through examples, exposing the differences, as well as the advantages and inconveniences of the use of conventional graphic design softwares in comparison with matematical softwares.

**Key words:** graphic modeling, analytic modeling, parametric, photorealistic representation.

## 1. Introducción

Los problemas de diseño, optimización y representación de las soluciones a un problema ingenieril requieren en la actualidad de una solución cada vez más rápida y precisa. ¿Somos capaces de generar las diversas soluciones a un problema con la suficiente rapidez, precisión y claridad?

Para la resolución de los problemas de diseño de la técnica, nos apoyamos en el estudio de una serie de alternativas, modelos que si bien son iguales en su esencia y concepción, difieren en su forma.

Con este estudio mostraremos tanto la metodología de creación de algoritmos que nos permiten generar las múltiples soluciones a un problema, haciéndolas depender de una serie de parámetros característicos; como la limitación y posibilidades al campo el diseño de formas complejas de los paquetes de diseño CAD de mayor difusión.

## 2. El modelado analítico-paramétrico

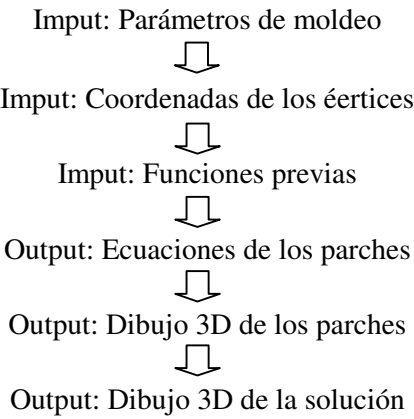
### Definición

Llamamos modelado analítico-paramétrico al proceso mediante el cual generamos un elemento geométrico de modo analítico, haciendo depender sus proporciones o medidas de una serie de valores característicos llamados parámetros, los cuales son establecidos por el programador. Un ejemplo de ello sería dibujar un toro, cuyos parámetros de definición fuesen su volumen y el diámetro del agujero central.

### La implementación

El proceso para desarrollar esta metodología responde a un organigrama como el que aparece a continuación:, en el que partiendo de las coordenadas cartesianas de los puntos vértices de la superficie – dependientes de unos parámetros – y de una serie de

funciones previas, se obtienen las ecuaciones de la superficie (su definición analítica) y su dibujo (definición formal en modelo 3D).



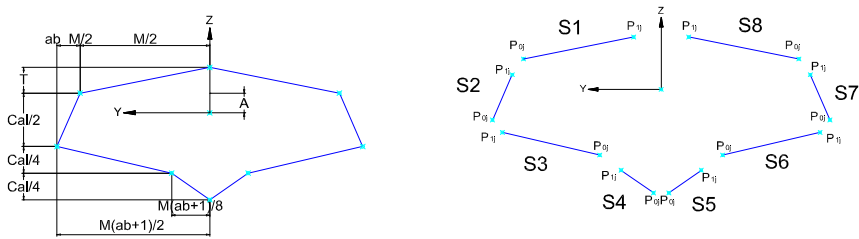
**Ejemplo de aplicación**

Vamos a ver a través de un ejemplo cada uno de los pasos mediante los cuales podemos crear las rutinas necesarias que nos permitirán modelar un objeto complejo, como puede ser una embarcación tipo kajak, de tal modo que podamos crear variantes de dicho elemento de acuerdo a variaciones de los parámetros característicos.

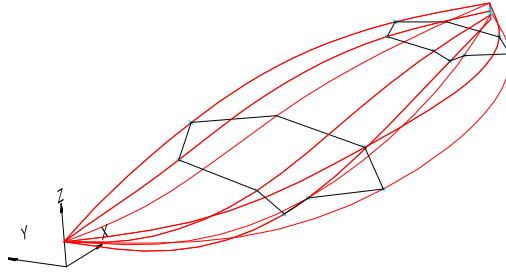
- Definición de los parámetros

El kayak estará generado por una sección tipo, paralela al plano YZ, que se desplaza a lo largo del eje X, variando su forma ( fig. 2) y dando lugar a una serie de superficies: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 y S8. S1, S2, S3 y S4 correspondientes a la parte derecha (estribor), y S5, S6, S7 y S8a la parte izquierda (babor) respectivamente, siendo ambos grupos simétricos respecto al plano ZX. (figura 1)

La sección tipo junto con la indicación de cada un de los lados que corresponden a cada superficie se muestran en la figura 1



*Figura 1*



*Figura 2*

Observando la sección vemos que las coordenadas de los puntos se han establecido a través de unos parámetros que denominaremos “de moldeo”; los cuales son de dos tipos:

1º Parámetros de moldeo de forma:

Controlan las medidas de la sección de la embarcación.

- Es Eslora, longitud del casco
- M Manga, ancho de la parte superior del casco
- A Distancia desde el eje al eje de medida de M
- ab Coeficiente que nos da el “abombamiento” del casco
- Cal Calado
- T Altura de cubierta

2º Parámetros de moldeo de sección

Aplicados sobre los anteriores parámetros para cada una de las secciones , controlan la variación de su forma a lo largo del eje longitudinal de la embarcación, el eje X.

ej	Coeficiente sobre la eslora
mj	Coeficiente sobre la manga
aj	Coeficiente sobre la distancia desde el eje al eje de medida de M
abj	Coeficiente sobre el “abombamiento” del casco

cj	Coeficiente sobre el calado
tj	Coeficiente sobre la altura de cubierta

- Definición de las coordenadas de los puntos

Por tanto los puntos que van a definir las superficies vendrán dados en función de los parámetros anteriormente mencionados. Los puntos de control dependientes de parámetros de moldeo nos permitirán aislarnos de las coordenadas numéricas de los puntos obteniéndolas a partir de los valores característicos de la forma del modelo en conjunto (en nuestro caso un kayak).

- Funciones previas

Para el modelado de la forma del casco hemos recurrido al uso de una serie de superficies conectadas entre sí. La envolvente del conjunto nos definirá el casco que buscamos.

Dichas superficies serán paramétricas de tipo polinomial, en nuestro ejemplo definidas por  $2 \times 4$  puntos, (puntos de control de superficie dependientes de unos parámetros de moldeo)

La justificación de la utilización de superficies polinomiales está en el hecho de que dichas superficies con propiedades de independencia entre  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , nos permite hacer uso de las simetrías. También está en que tienen la propiedad de que si los puntos de control son los mismos a lo largo de una línea que es borde común de dos superficie, dichas superficies conectan perfectamente, sin huecos ni solapes, a lo largo de los infinitos puntos de esta línea de borde

Ejemplo de funciones para un modelo  $2 \times 2$  puntos (cuadrilátero alabeado) serian:

$$\left. \begin{aligned} x &= acx00 + bcx10 + adx01 + bdx11 \\ y &= acy00 + bcy10 + ady01 + bdy11 \\ z &= acz00 + bcz10 + adz01 + bdz11 \end{aligned} \right\} \quad a = t - 1; \quad b = t; \quad c = -u + 1; \quad d = u$$

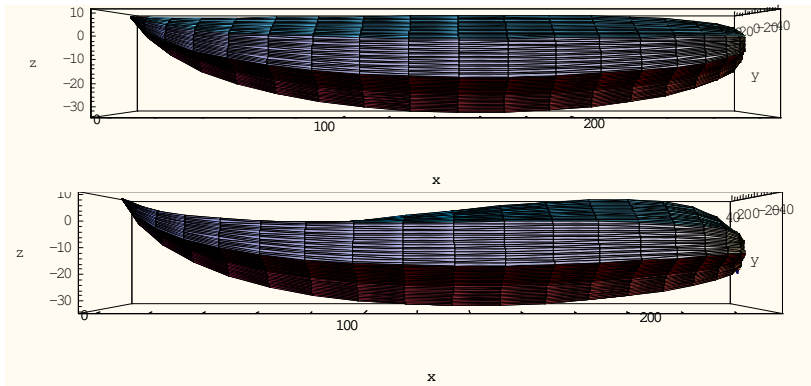
- Ecuaciones de la superficie

Una vez sustituidas las coordenadas de cada uno de los puntos en dichas funciones, tendremos las ecuaciones de todas y cada una de las superficies que constituyen el modelo. Recordemos que dichas funciones dependerán de los valores de los parámetros de moldeo.

- Dibujo 3D de los parches y de la solución total.

A partir de las ecuaciones representaremos los modelos tridimensionales de las superficies individualmente o en conjunto mediante los programas informáticos

oportunos, como MATHEMÁTICA. (Figura 3) pudiendo generar diversas soluciones alternativas



*Figura 3*

### 3. Creación gráfica directa: ventajas y problemática

#### Introducción.

Por creación gráfica directa entenderemos el proceso por el cual obtenemos la definición de la superficie buscada de modo gráfico, en este caso mediante el uso de un programa de software de CAD de uso general como AUTOCAD o 3D STUDIO

El igual que el caso anterior para definir un modelo gráfico necesitamos conocer una serie de medidas definitorias o características del objeto, así como el tipo de superficie con el que se pretende modelar.

#### Ventajas e inconvenientes

Las ventajas que la creación gráfica nos ofrece, aunque en un principio parezcan enormes - mayor rapidez, mejor visualización, realización inicial mas directa- hay que tomarlas con cautela.

Si bien en geometrías “sencillas” y para problemas cuya solución es conocida a priori su uso es adecuado, cuando lo que pretendemos es resolver problemas de mayor envergadura la utilización de esta herramienta se muestra inadecuada.

La limitación que tenemos con el uso de esta herramienta en la resolución de problemas viene dado por los siguientes factores:

- Desconocemos las ecuaciones exactas de superficie que nos está generando, por lo que no conoceremos la idoneidad desde el punto de vista constructivo, mecánico, etc

- Una vez realizada no podemos modificarla mediante parámetros característicos de la misma, tal como hemos logrado mediante la implementación matemática, teniendo que repetir todo el proceso gráfico cada vez que queramos una nueva alternativa.

## **Un ejemplo de las limitaciones: Relleno de cuadriláteros alabeados**

De resultados de la implementación matemática mediante superficies polinomiales sobre cuadriláteros alabeados, sabemos que los algoritmos utilizados dan como superficie solución un paraboloide hiperbólico.

El paraboloide hiperbólico esta generado por dos familias de rectas que se cortan llamadas generatrices y directrices y aunque el modo más “fácil” de rellenar un cuadrilátero alabeado sea mediante el paraboloide hiperbólico existen infinitas maneras de hacerlo. En la actualidad los programas de CAD como AUTOCAD solo permiten generar una limitada colección de superficies, a diferencia de los *softwares* matemáticos.

AUTOCAD utiliza para rellenar el área existente entre cuatro curvas cualesquiera unidas por sus vértice una aproximación discreta de la superficie Coon, correspondiente a ese perímetro, en concreto, según nos indica el propio programa: “una malla poligonal, aproximación de una superficie Coon, la cual es una superficie bicúbica, ( una en la dirección M y otra en la dirección N) interpolada entre los cuatro bordes.”

Por tanto la limitación con respecto al método matemático es triple:

1 Realiza un aproximación discreta, con la consiguiente perdida de información entre los puntos conocidos.

2 Por tratarse de una malla de puntos la precisión se obtendrá aumentando el número de los mismos, con el consiguiente aumento del tamaño de memoria necesaria.

3 La superficie está definida por el programa, no por el usuario, lo que limita enormemente, hasta invalidar el método , como en nuestro ejemplo.

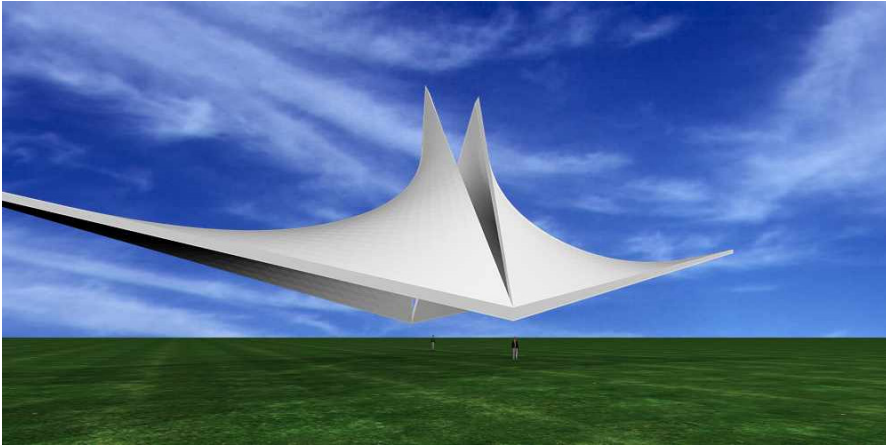
## **Aplicaciones posibles**

Si bien la creación exacta de esta superficie y de muchas otras ( helicoides, superficies que tengan por directriz alguna curva “técnica” como cicloides, clotoides, etc.) mediante paquetes comerciales de CAD resulta inviable, esta herramienta convenientemente utilizada puede ser de gran ayuda, tanto desde el punto de vista del diseño, como de la representación visual.

Sin llegar a tener la potencia, versatilidad y exactitud del método de implementación matemática expuesto al principio podemos valernos de la creación gráfica para “encajes previos”, bocetos que debido a su rapidez permiten “ver” lo que

pretendemos acometer con más rigor, siempre teniendo en cuenta el funcionamiento y limitaciones internas del programa.

El punto fuerte de estos programas radica en la visualización final de los proyectos, dado que aunque las definiciones de los elementos no son del todo exactas, si podemos crear representaciones “fotorrealísticas” de los mismos de gran efecto estético. (figura 4)



*Fig. 4- Generación fotorrealista de la superficie de la cubierta diseñada por Félix Candela para la iglesia de San José Obrero en Monterrey.*

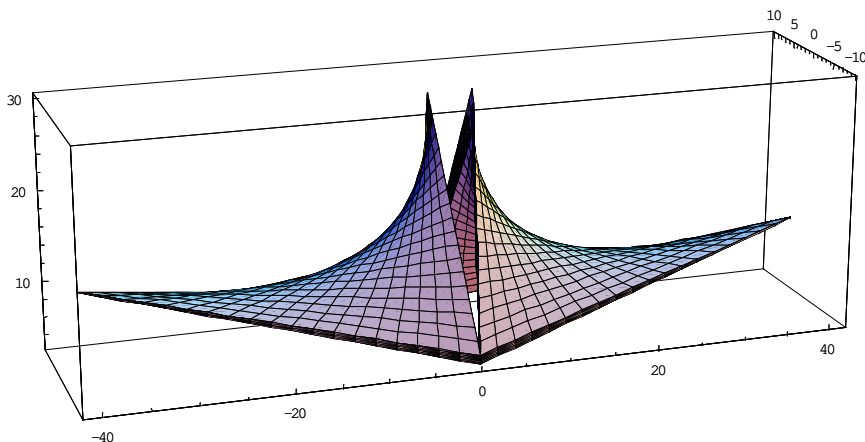
#### **4. Conclusiones**

Como hemos visto en el epígrafe 3 las soluciones generadas directamente mediante programas de diseño gráfico CAD no satisfacen las necesidades de definición a nivel ingenieril debido a los siguientes factores:

- la gran mayoría de usuarios no conocen el tipo de superficie que el programa genera
- el tipo de superficie usada por el programa para rellenar el cuadrilátero es única y no puede ser definida a priori por el usuario
- las superficies generadas por este tipo de programas están pensadas para problemas complejos en otros campos más propios del diseño “artístico” en el cual las características intrínsecas de la superficie no son de interés

Esto da lugar a superficies excesivamente “engorrosas” para solucionar problemas en el campo ingenieril, en el que las superficies que se emplean suelen ser más variadas desde el punto de vista matemático .

A estos factores hay que añadir que la generación matemática a priori de las soluciones que pretendemos adoptar no solo permite la creación gráfica de la misma y su análisis métrico, sino también el análisis de propiedades estructurales, estáticas, etc, de importancia primordial.



*Fig.5- Perspectiva general de la cubierta de la iglesia obtenida, mediante métodos paramétricos*

## 5. Revisión Bibliográfica

[1] Delgado Olmos, A.; "Modelado de superficies polinomiales y su aplicación a la técnica". Tesis Doctoral. Universidad de Granada 1995

[2] Delgado Olmos, A.; Cobos Gutiérrez; C; "Modelado de superficies polinomiales que pasan por una red de puntos fijos", Jaén (España) VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Publicaciones de la Universidad de Jaén 1996. ISBN: 84-88942-71-0

[3] Delgado Olmos, A.; "Diseño de superficies de acuerdo. Propuestas de solución", Bilbao (España) IX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería UPV/EHU 1997. D.P.: BI-788-97

[4] Delgado Olmos, A.; "Diseño de cubiertas. El paraboloide hiperbólico como elemento configurador de soluciones", Barcelona (España) IV Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación, Servicio de Publicaciones de la UPC 1997. D.P.: B-45417-97

[5] Delgado Olmos, A.; "Elementos autoencajables. Diseño y uso", Málaga (España) X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyecto 1998. ISBN: 84-89791-04-x

[6] Delgado Olmos, A.; "Diseño de Superficies Regladas de Generatrices Equiespaciadas", Logroño-Pamplona (España) XI Congreso Internacional de



Ingeniería Gráfica, Secretaría del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.1999. ISBN: 84-699-0475-2

[7] Delgado Olmos, A.;Cobos Gutiérrez, C. " Diseño de superficies de borde fijo" , Pamplona (España) VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, T.G. Ediciones S.L. Navarra .1996. ISBN: 84-921319-718-5

[8] Delgado Olmos, A.; " La Formalización Gráfico-Analítica del Proyecto. Un Proceso Armonizador" , San Sebastián (España) VII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, Arkitektura Saila UPV/UPC .1998. ISBN: 84-8373-073-5

[9] Delgado Olmos, A.; " Diseño y análisis de formas arquitectónicas singulares. Nuevas tecnologías para su realización" , Barcelona (España) VIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, Servei d'Informació, Imatge i Publicacions UPC 2000 . ISBN: 84-7653-743-3

[10] Delgado Olmos, A.; Marquez García, L.; " Two Tools for the Design of Cover-Roofs: Polynomials Curves and Coons Surfaces" , San Sebastián (España), Nathaniel A. Friedman, 1999. ISBN: 84-930669-0-7

[11] Delgado Olmos, A.; " Sección variable o cercha. Soluciones al diseño de bóvedas de grandes luces" , Badajoz (España) XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Departamento de Expresión Gráfica 2001. ISBN: 84-699-5057-6

[12] Delgado Olmos, A.; " Diseño de estructuras arbóreas" , Granada (España) VI Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación, S.D.G.LL. Ediciones 2001. ISBN.: 84-699-6561-1

[13] Delgado Olmos, A.; " Diseño de estructuras partiendo de un boceto" , Granada (España) VI Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación, S.D.G.LL. Ediciones 2001. ISBN.: 84-699-6561-1

[14] Blachman, N.; " Mathematica. Un enfoque práctico" Ariel Informática, Barcelona.1993. ISBN:84-344-0478-8

[15] Bohm, W.;" Geometrics Concepts for Geometric Design A.K. Peters , Wellesley, Massachusetts.1994.

[13] Farin, G.; " Curves and surfaces for computer aided geometric design" Academic Press, INC.1988.

[14] Juan M. Cordero Valle, José Cortés Parejo "Curvas y Superficies para Modelado Geométrico . Ra-Ma 2002 ISBN. 84-7897-531-4

[15] Autocad User's Guide. (Ayuda interna del programa Autocad)



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### APROXIMACIÓN DE SUPERFICIES DE APEROS AGRÍCOLAS MEDIANTE SPLINES DE BASE

GUTIERREZ DE RAVÉ, Eduardo (1); MUÑOZ PIORNO, José M. (2); AGÜERA VEGA, Juan (2); HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael E. (1); GIRÁLDEZ CERVERA, Juan V. (3)

<sup>(1)</sup>Universidad de Córdoba, España

Departamento de Ingeniería Gráfica

irlgurae@uco.es; [mc1agvej@uco.es](mailto:mc1agvej@uco.es); g32mupij@uco.es

<sup>(2)</sup>Departamento de Ingeniería rural

[mc1agvej@uco.es](mailto:mc1agvej@uco.es); g32mupij@uco.es

<sup>(3)</sup>Departamento de Agronomía. aglgicej@uco.es

### RESUMEN

Para demostrar la conveniencia de los algoritmos de aproximación en el control de calidad de los aperos agrícolas, se ha caracterizado una vertedera con varios métodos basados en el algoritmo, o curva de Bézier y en los esplines de base, racionales o no.

Siendo muy sencillo de uso el algoritmo de Bézier, es el que produce la aproximación de peor calidad. La aproximación con una superficie constituida por esplines de base solos o combinados con Bézier es de mucha mejor calidad, superada tan sólo por el uso de esplines de base racionales no uniformes, o *nurbs*. Con éste último método se alcanzan eficiencias de hasta 0.995, con el apero empleado.

**Palabras clave:** algoritmos de aproximación, curvas y superficies de Bézier, esplines de base, *nurbs*.

### ABSTRACT

The use of geometrical approximation algorithms is a convenient tool for quality control purposes, specially in an area like the agricultural machinery, where there is a wide variety of forms and shapes. In this work surfaces developed with Bézier curves and B-Splines have been fitted to one mouldboard plow. Being very simple the algorithms based on Bézier curves yield the poorer fits to the plow surface. With B-Splines based surfaces, and, more specifically with rational B-Splines surfaces, *nurbs*, the fits were closer. The efficiency of the best fit was .995.

**Key words:** approximation algorithms, Bézier curves and surfaces, B-Splines, *nurbs*.  
Introducción

# 1. Introducción

La gran variedad de las condiciones ambientales, climatológicas, edafológicas y agronómicas, ha dado lugar al desarrollo de numerosos tipos de aperos agrícolas, que requieren una caracterización sencilla. Las nuevas modalidades de la Agricultura de conservación, y la Agricultura de precisión, necesitan nuevos aperos que han de ser caracterizados también. El uso de algoritmos geométricos que describan las superficies de forma sencilla permitirá a los agricultores y fabricantes de maquinaria realizar controles de calidad efectivos.

Los algoritmos de aproximación se desarrollaron gracias a los esfuerzos de la industria automovilística, especialmente desde la propuesta de Pierre Bézier de la curva que lleva su nombre en la década de los cincuenta, (Rogers, 2001, Cap. 2; Buss, 2003, §VII.1). Posteriormente los desarrollos de la Industria y las Universidades han conducido a una amplia gama de técnicas que están siendo empleadas de forma paulatina en el campo de la maquinaria agrícola (Craciun y Leon, 1998) y la extensión de su uso para resolver el problema de definición de los aperos, entre ellas del uso de las superficies de Bézier como han sugerido Richey y col. (1989).

En este trabajo se mejora el ajuste a una vertedera introducido por Gutiérrez de Ravé y col. (2002) al examinar una propuesta previa de Ravonison y Destain (1994). En dicho trabajo se usaban las curvas de Bézier para describir la forma geométrica de una vertedera. En este informe se amplía el estudio incluyendo el uso de esplines de base y esplines de base racionales, o nurbs en las siglas inglesas.

# 2. Material y métodos

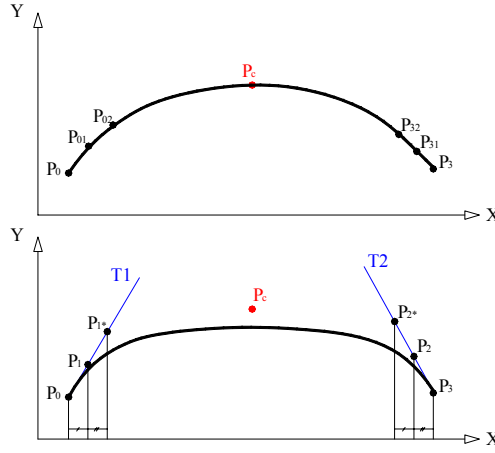
Se ha empleado la misma vertedera de Gutiérrez y col. (2002), medida con un perfilómetro provisto de un emisor láser, como se describió allí. Con objeto de refinar las medidas en el contorno del apero se proyectó ortogonalmente la misma vertedera sobre una retícula, midiendo en ella la cota de cada punto proyectado. Ambos conjuntos de datos fueron integrados en un sistema de referencia común.

El algoritmo de Ravonison y Destain, (ARD), se basa en una superficie bicúbica constituida por curvas de Bézier. Las curvas de Bézier, cuya expresión es

$$C(u) = (1 - u)^3 P_0 + 3u(1 - u)^2 P_1 + 3u^2(1 - u)P_2 + u^3 P_3$$

representando los coeficientes  $P_i$  las coordenadas de los puntos de control, y siendo  $u$  un parámetro que varía en el intervalo  $(0, 1)$ .

Los puntos de control se determinan en los bordes del cuadrilátero que, de forma aproximada determina la superficie de la vertedera. Partiendo de los extremos de estas curvas, que constituyen los puntos de control  $P_0$  y  $P_3$ , los puntos interiores son determinados seleccionando incrementos proporcionales de distancia en las tangentes trazadas en los extremos a dichas curvas, de tal modo que la curva de Bézier resultante pase por un punto intermedio de coordenadas conocidas, como se muestra en la figura 1.



*Figura1: Cálculo de los puntos de control según ARD*

La superficie bicúbica de Bézier es

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 P_{ij} \frac{3!}{(3-i)!i!} \frac{3!}{(3-j)!j!} u^i (1-u)^{3-i} v^j (1-v)^{3-j} \quad (2.6)$$

con  $P_{ij}$  como las coordenadas de los puntos de control y  $u$  y  $v$  como los parámetros variando también en el intervalo  $(0,1)$ , es necesario determinar los puntos de control interiores. Para ello en ARD se anulaban sus derivadas cruzadas, escritas como

$$\frac{\partial^2 S(0,0)}{\partial u \partial v} = 9(P_{00} - P_{01} - P_{10} + P_{11})$$

$$\frac{\partial^2 S(0,1)}{\partial u \partial v} = 9(P_{30} - P_{31} - P_{20} + P_{21})$$

$$\frac{\partial^2 S(1,1)}{\partial u \partial v} = 9(P_{33} - P_{32} - P_{23} + P_{22})$$

$$\frac{\partial^2 S(1,0)}{\partial u \partial v} = 9(P_{03} - P_{02} - P_{13} + P_{12})$$

lo que Gutiérrez de Ravé y col. (2002), ARDGR, mostraron que producía un peor ajuste que en el caso alternativo de su estimación reduciendo al mínimo la suma de

cuadrados de las diferencias entre los valores calculados y medidos. Para ello usaron el error cuadrático medio, *ecm*.

$$ecm = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(z_i - \hat{z}_i)^2}{n-1}}$$

La figura 2 muestra una comparativa del borde de la vertedera de los valores observados y generados según los métodos ARD y ARDGR.

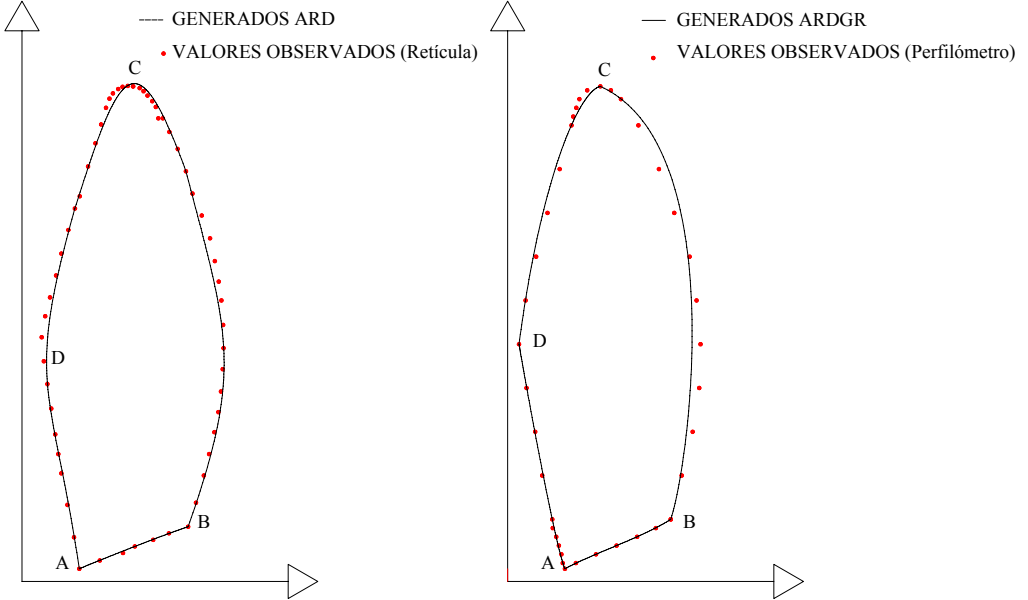


Figura 2: Valores observados y generados según ARD y ARDGR

Alternativamente se pueden usar los esplines de base, definidos como

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t) \quad t_{\min} \leq t < t_{\max} \quad 2 \leq k \leq n+1$$

siendo los coeficientes  $B_i$  las coordenadas de los puntos de control, y  $N_{i,k}$  los esplines de base de grados sucesivos calculados por la relación de recurrencia de Cox-de Boor:

$$N_{i,k}(t) = \begin{cases} 1 & i=1 \quad x_i \leq t < x_{i+1} \\ 0 & i=1 \quad t < x_i \quad t \geq x_{i+1} \\ \frac{t - x_i}{x_{i+k-1} - x_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{x_{i+k} - t}{x_{i+k} - x_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t) & i > 1 \end{cases}$$

asociada a un vector de nodos determinado.

La superficie formada por esplines de base es

$$S(u, v) = \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} B_{ij} N_{i,k1}(u) N_{j,k2}(v)$$

con los nuevos puntos de control  $B_{ij}$  y los esplines de base  $N$ . La identificación de los parámetros de los puntos de control internos se efectúa mediante reducción al mínimo del error cuadrático medio, como en ARDGR, siguiendo las indicaciones de Piegl y Tiller (1997, § 9.2.5).

Un desarrollo posterior es el espline de base racional con intervalos no uniformes, o nurbs, definido como

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{ij} B_{ij} N_{i,k1}(u) N_{j,k2}(v)}{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{ij} N_{i,k1}(u) N_{j,k2}(v)}$$

siendo  $N_{i,k1}(u)$  y  $N_{j,k2}(v)$  los splines de base asociados a los vectores de nodos en  $u$  y  $v$  ( $S_u = \{u_0, \dots, u_r\}$ ,  $S_v = \{v_0, \dots, v_s\}$ ), los coeficientes  $B_{ij}$  los puntos de control, y  $w_{ij}$  los coeficientes de ponderación, o pesos, que determinan la importancia de cada punto de control en la geometría de la superficie.

Además del error cuadrático medio se ha usado como indicador de la bondad del ajuste el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe, (e.g. Beven, 2000, § 7.3) que presenta la ventaja de normalizar el  $ecm$  con la varianza de las cotas medidas  $\sigma^2$ . De esta forma el índice de eficiencia es  $ef$

$$ef = 1 - ecm / \sigma^2$$

### 3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1 en la que los métodos usados se denominan respectivamente, además de los mencionados ARD y ARDGR, EBBZ consistente en la determinación de los puntos de control del contorno por esplines de base y la aplicación de la superficie de Bézier, ajustando los puntos interiores por minimización de errores. En la figura 3 se muestran los valores observados y generados para este caso. Se designa como EB el método de ajuste de una superficie cuadrática de esplines de base, y NURBS al de ajuste con una superficie formada por esplines de base racionales con intervalos no uniformes.

En la figura 4 se muestran los puntos de control obtenidos para generar la superficie en el caso de los métodos ARDGR, EBBZ y EB y en la figura 5 la distribución de errores obtenida en los métodos de mejor resultado.

Tabla 1: Error cuadrático medio e índice de eficiencia de los métodos utilizados

Método de aproximación	ecm, mm	ef
ARD	14.4	.685
ARDGR	8.1	.901
EBBZ	2.3	.992
EB	2.2	.993
NURBS	1.9	.995

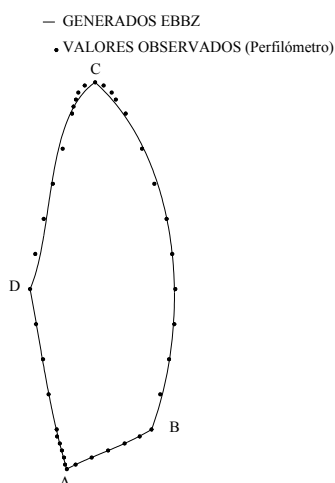


Figura 3. Valores observados y generados mediante el método EBBZ

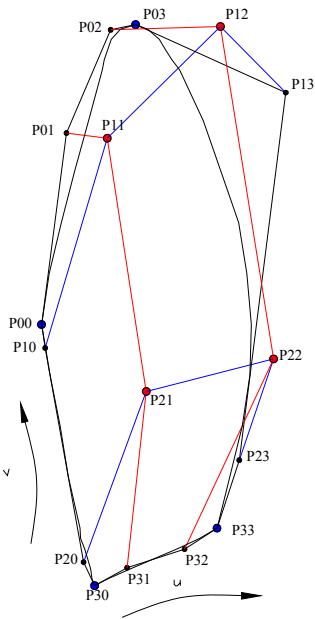
## 4. Conclusiones

El uso de esplines base mejora el grado de aproximación a la superficie de la vertedera estudiada. Si bien las superficies formadas por esplines de base representan una mayor complicación en la resolución, su uso es muy asequible disponiendo de un ordenador personal sencillo.

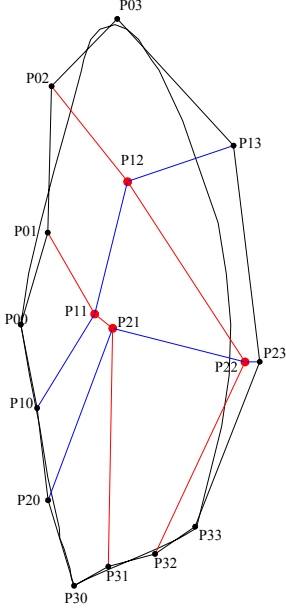
El uso de esplines de base racionales, o nurbs, mejora aún más la aproximación, por lo que es el método más recomendable de los estudiados.

Para el futuro se prevé usar alternativas como superficies de mezcla o parches que permitan un ajuste más flexible aún.

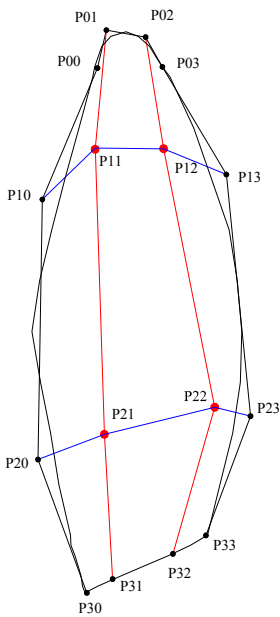
PUNTOS DE CONTROL ARDGR



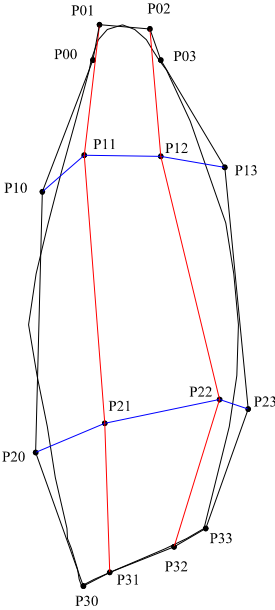
PUNTOS DE CONTROL EBBZ



PUNTOS DE CONTROL EB



PUNTOS DE CONTROL NURBS



P. CONTROL	PESOS
P30	29.00
P20	20.96
P10	21.03
P00	21.10
P31	15.00
P21	21.05
P11	24.03
P01	20.89
P32	27.92
P22	20.99
P12	20.91
P02	20.91
P33	23.96
P23	20.64
P13	21.17
P03	26.26

Figura 4: Puntos de control para los métodos ARDGR, EBBZ, EB y NURBS.



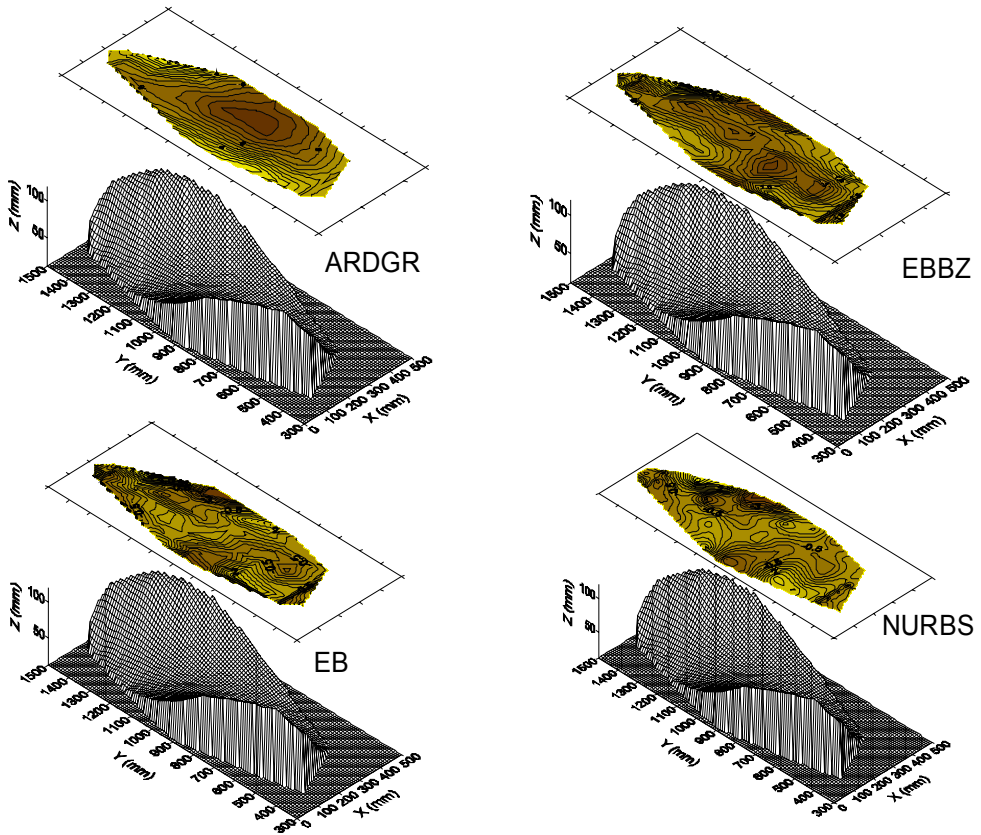


Figura 5: Distribución de los errores para los métodos ARDGR, EBBZ, EB y NURBS

## Referencias

- 1) RAVONISON, N. M.; M. F. DESTAIN. *Parametric cubic equations for modelling mouldboard plough surfaces*. Soil Till. Res. 31:363-373, 1994.
- 2) GUTIÉRREZ DE RAVÉ, E.; J. V. GIRÁLDEZ; J. AGÜERA; J. GIL. *Caracterización geométrica de aperos de labranza mediante métodos de aproximación sencillos. Revisión del algoritmo de Ravonison y Destain*. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 2002.
- 3) CRACIUN, V.; D. LEON. *An analytical method for identifying and designing a moldboard plow surface*. Trans. ASAE. 41: 1589-1599, 1998.
- 4) ROGERS, D. F. *An introduction to NURBS*. Morgan-Kaufmann, Nueva York, 2001.

- 5) PIEGL, L.; W. TILLER. *The nurbs book*. Springer, Berlín, 1997.
- 6) BUSS, S.R., *3-D Computer graphics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2003.
- 7) BEVEN, K.J., *Rainfall-runoff modelling*, J.Wiley, Chichester, 2000.
- 8) RICHEY, S.B.; A.K. SRIVASTAVA; L.J. SEGERLIND. *The use of three dimensional computer graphics to design mouldboard plough surfaces*. J. Agric. Engng Res. 43: 245-258, 1989.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA EVOLUCIÓN EN LAS ALMAZARAS, ENTRE 1850 Y 1950, MEDIANTE TÉCNICAS DE DIBUJO ASISTIDO POR ORDENADOR (DAO)

LÓPEZ DE HERRERA, Juan Carlos (1); GÓMEZ-ELVIRA GONZÁLEZ, Miguel Ángel (2)  
ROJAS SOLA, José Ignacio (3)

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de MADRID, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Área de EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

Correo electrónico: [juanlopez@ica.etsia.upm.es](mailto:juanlopez@ica.etsia.upm.es)

<sup>(2)</sup> Universidad Politécnica de MADRID, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Área de EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

Correo electrónico: [mageg@ica.etsia.upm.es](mailto:mageg@ica.etsia.upm.es)

<sup>(3)</sup> Universidad de JAEN, España

Escuela Politécnica Superior de Jaén, Área de EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

Correo electrónico: [jrojas@ujaen.es](mailto:jrojas@ujaen.es)

### RESUMEN

El trabajo presenta una reconstrucción gráfica y animación de la evolución en las almazaras desde 1850 hasta 1950. Estudia el progreso en los métodos de extracción y su mejora en el rendimiento. La historia de las almazaras es una historia de la evolución industrial y la mejora de los seres humanos. Los cambios sufridos en esos años por las almazaras, han sido mayores que en los veinticinco siglos anteriores.

El trabajo presenta una recopilación bibliográfica y estudio de las almazaras en dicha época. Realizamos la generación y acotación de planos de despiece de las máquinas y utensilios necesarios en las almazaras. Posteriormente se realiza el tratamiento de animación mediante técnicas de DAO. El análisis gráfico de las diferentes máquinas que intervienen en el proceso productivo, tales como molinos, prensas, depósitos de decantación y almacenamiento, da una visión del nivel de adaptación y establece las mejoras que fueron realizadas.

El análisis histórico de la evolución sirve para hacer una valoración crítica de las mejoras realizadas.

Concluiremos con la reconstrucción y la animación gráfica en 3D de la evolución histórica. Analizando las mejoras en su capacidad de extracción, rendimiento y calidad de los aceites de oliva elaborados.

**Palabras clave:** evolución de las almazaras, animación en 3D, realidad virtual, simulación de los molinos y prensas, mejoras en la calidad, aceite de oliva, historia del diseño de las prensas.

## ABSTRACT

The work investigation searches the graphic reconstruction of the old oil olive industries and the evolution from 1850 to 1950. The investigation will study the progress on the systems extraction and their improvement in the efficiency.

The history of the almazaras is the history of the industrial evolution and the improvements of the human people. The changes in this industry during that century are bigger than in the twenty-five centuries before.

The work presents a previous summary bibliographical and study of the almazaras from that time. We made the generation of plans from machines pieces and existent implements in the almazaras. Subsequently the treatment animation though techniques CAD of this graphic information will be carried out.

The graphic analysis of the different machines that belong to the productive process, such as mill, oil press, deposit of decant and storage, will lead us at settle down the improvements who was taken place in order to increase his productive capacity and the efficiency.

We will conclude with the reconstruction and the graphic animation in 3D of the historic evolution. Analysing the improvements in their capacity of extraction, humility and quality of the produced oils olive.

**Key words:** oil olive industries evolution, animation in 3D, virtual reality, simulation of the mill and oil press, improvement in the quality, oil olive, history of the oil press design

## 1. Introducción

La elaboración del aceite de oliva en las almazaras ha sufrido una serie de cambios desde 1850 hasta 1950. Esta evolución ha supuesto una mejora en el rendimiento de la extracción y sobre todo en la calidad del aceite. La mejora en el rendimiento se debe, en gran medida, al aumento de la presión sobre la pasta de aceituna después de molida. El trabajo es una investigación de arqueología industrial sobre las diferentes almazaras existentes durante esa época, que ya inició de una forma pionera el Dr. Rojas Sola en la Universidad de Jaén [ROJAS, 1997] y al que siguieron trabajos como los del Dr. Montes Tubío de la Universidad de Córdoba. Se han realizado las mediciones necesarias para el levantamiento de los planos acotados y la reconstrucción tridimensional de la maquinaria. Asimismo se han realizado fotografías digitales de los molinos, prensas, depósitos y utensilios hallados para aplicar las texturas necesarias y posteriormente se han animado las escenas haciendo una representación virtual de cómo funcionaban las antiguas almazaras.

## 2. Labores previas a la extracción

**RECOLECCIÓN DE LA ACEITUNA.** La elaboración de un buen aceite de oliva comienza con unas labores previas a las operaciones realizadas en las almazaras. El olivicultor completa sus faenas con la recolección de las aceitunas y la industria de la almazara que elabora el aceite, las comienza. Para elaborar aceites finos es importante que ésta labor se realice en el momento que los frutos tengan el color morado y cuando la aceituna esté madura, pero no pasada.

Según. [MANJARES, 1905], *“en el campo, y al pie del mismo olivo conoceremos el estado de madurez de la aceituna, después de aplastarla entre los dedos o abriéndola con la uña, por el color de la carne o pulpa. Si el color de ésta es violeta, el fruto ha llegado a su perfecta madurez; si es más o menos blanquecino, es una señal de no haber llegado completamente a la madurez”*. Solamente cuando las aceitunas están moradas, casi negras, es cuando dan el máximo de aceite, disminuyendo la cantidad antes y después.

Los procedimientos para recoger la aceituna durante la época de nuestro estudio histórico son tres principalmente: 1.º Coger la aceituna a medida que va cayendo del árbol: 2.º Varear el árbol para que caiga el fruto: 3.º Hacer la recolección a mano.

**EL ACARREO O TRANSPORTE.** Aunque parezca que esta operación no posee importancia, no es así, tiene que hacerse con toda clase de precauciones. Precisamente en el transporte o acarreo puede magullarse mucha aceituna. El olivicultor debe cuidar que la aceituna entre en el molino sana, entera, bien limpia y en buenas condiciones para molerse, utilizando los medios más apropiados para ello.

**SELECCIÓN Y LIMPIA DE LA ACEITUNA.** Si antes de empezar la recolección de la aceituna a ordeño, se hubiese cogido alguna cantidad de la caída espontáneamente del árbol, o impulsada por fuertes vientos, u otras causas, es preciso no mezclarla con la recolectada a mano, pues al paso que ésta puede dar siempre exquisito aceite, aquélla raramente lo dará. Es necesario que se limpie bien de hojas, piedras, etc. Si tuviera barro pegado lávese bien en un depósito preparado al efecto y dentro de un pequeño cesto o también haciendo uso de un lavador y después extráigase de ella la mayor cantidad posible de aceite, destinándose a la industria, y nunca como comestible por estar en malas condiciones.

Jamás se mezcla la aceituna caída con la cogida a mano, pues aún cuando aquélla fuera poca cantidad, puede contribuir en gran manera a echar a perder todo el aceite. Cosecheros de gran fama aconsejan que ni siquiera se muelan en un mismo molino ni se prensen en las mismas prensas, sino que se destinen para ellas un molino y una prensa especiales. Ello es debido a que siempre quedan residuos en los molinos o los capachos de las prensas, estropeando el aceite de las aceitunas sanas recogidas por ordeño a mano.

No entramos a discutir si este sistema es o no práctico o económico: sólo diremos que después de un sistema racional de recolección, el apartado y limpia de la aceituna son una garantía más de la excelente calidad del aceite que se obtendrá. Es necesario que se haga una buena selección y limpia de la aceituna si se quieren obtener buenos aceites.

**CONSERVACIÓN DE LA ACEITUNA ANTES DE MOLERLA.** Recibe el nombre de entrojado una antiquísima costumbre de depositar las aceitunas en trojes, hasta que le llega el turno de la molienda. Esta práctica es muy perniciosa, aunque practicada por la mayor parte de los olivicultores, nadie la puede aconsejar como buena. Se realiza por la escasa capacidad productiva en la molienda y prensado de las almazaras.

Es indudable que la aceituna desde las espuelas debía entrar, o en el molino para ser triturada inmediatamente (si ya llega limpia y escogida del olivar) o a un sitio destinado para hacer la indispensable división de clases y limpieza completa del fruto. De este modo se elaborarían exquisitos aceites. Pero la gran cantidad de aceituna recolectada en poco tiempo, hace inviable la molienda y el prensado para la obtención de aceite con los medios que se tienen en ese siglo. Hay alguna excepción que muele y prensa toda la aceituna recolectada en menos de 24 horas ya en la primera década del siglo XX. Por tanto, hablemos algo del entrojado.

Los cosecheros en pequeña escala pueden prescindir muy bien de él; pero tanto éstos como cualquier otro que necesita retener algún tiempo la aceituna antes de molerla, suelen tener un lugar que reúne buenas condiciones. En las zonas cálidas suele ser simplemente un cobertizo situado en sitio fresco y aireado, en dirección de este a oeste, a fin de que una cara mire al norte y otra al sur. En otros lugares es indispensable preservar la aceituna de la intemperie, y sobre todo, librarlas de las heladas. Siendo preciso para esto cerrar el local con paredes, abrir grandes ventanales para facilitar la ventilación y que estos tengan sus respectivas puertas para librar al fruto de las bajas temperaturas, sobre todo, durante la noche y en tiempo de las grandes heladas. Nunca se deja la aceituna al aire libre. En uno y otro caso el pavimento mejor es de asfalto o de baldosa bien cocida, o mejor aún, de azulejo. Procurando que tenga una ligera inclinación para que escurra el alpechín que pueda soltar la aceituna y se recoge en un depósito destinado al efecto. A veces dividen todo el local en pequeñas porciones por medio de ladrillos, no teniendo estas paredes de división más altura de 15 a 20 centímetros, dejando el espacio suficiente para que puedan trabajar bien los operarios. Depositán en estas divisiones la aceituna recolectada y ya escogida, esto es, la sana y entera, no teniendo más espesor de 10 centímetros la capa de aceituna colocada en estos pequeños compartimientos. El ideal es que la temperatura de la aceituna nunca pase de 12 a 15 grados centígrados. Lo más que pueden estar así las aceitunas son 30 días, moviéndolas diariamente con gran precaución para no dañarlas: transcurrido este tiempo, empieza la descomposición y por lo tanto, la fermentación obteniendo aceites de peor calidad.

### **3. Evolución en los molinos**

La principal evolución en las almazaras durante el período estudiado se ha realizado en las dos operaciones básicas de las almazaras, es decir: en la molienda y en el prensado. La evolución en los molinos vino a ser similar a la evolución en los molinos de los cereales. En un principio fueron molinos de muelas, luego de rulos y posteriormente trituradoras [PEQUEÑO, 1879] y [ROJAS, 1996]. Ahora describiremos estas formas de moler.

**MOLINOS DE UNA O VARIAS MUELAS.** Inmediatamente después de recolectada y limpia la aceituna está en las mejores condiciones de ser molida, sin que esto quiera decir que se recoja primero y después se muele, sino que es preciso ir moliendo a medida que se va recolectando, y evitar en lo posible, como antes hemos dicho, el entrojado.

Los antiguos molinos de muelas son imperfectos y su labor es bastante deficiente. La cantidad de aceituna que muelen es muy pequeña. Constan generalmente de dos ruedas o muelas de cuarzo, estando una de ellas fija en el suelo y en sentido horizontal. Sobre ésta gira a su alrededor la otra en posición vertical sobre el eje central. A un extremo del eje lleva los arreos necesarios para ser arrastrada por una caballería, siendo preciso que un operario vaya echando la aceituna que ha de triturar o moler.

Posteriormente le añaden una pequeña tolva con una abertura en su extremo inferior por la que se desliza la aceituna que ha de ser triturada. Algunas otras modificaciones han sufrido, pero todas ellas dejan muchísimo que desear y están muy lejos de hacer una labor mediana. Decimos esto porque, para moler nada más que regularmente la aceituna, emplean mucho tiempo, no evitando el entrojamiento. Por otra parte, dejan bastante aceite en el orujo, por lo que se ha procurado mejorar la piedra volandera, nombre que recibe la muela giratoria.

A este fin construyen muelas de gran tamaño con las que se hace una molienda bastante buena, pero exigen gran tracción, y ante esta nueva dificultad hicieron colocar dos y hasta tres muelas más pequeñas. Con estos molinos han venido triturando bastante tiempo la aceituna; pero desde luego renunciamos a su diseño gráfico por no reportar ventaja ninguna a causa de ser muy pesadas las muelas y, además, la labor que hacen es defectuosa. También han sustituido las muelas de piedras por otras de hierro, pero sustancialmente los resultados vienen a ser los mismos.

**MOLINOS DE RULOS.** El rulo es un cono truncado de piedra que gira alrededor de un eje que es la verdadera altura del cono, o la perpendicular trazada desde el centro de la base superior al centro de la base inferior, cuya longitud viene a ser un metro próximamente; de modo que la generatriz de la superficie del cono que apoya en la muela es de 1,25 metros poco más o menos teniendo la misma longitud el diámetro de la base mayor.

Empezando por los de un solo rulo, diremos que el cono truncado gira sobre la solera, del mismo modo que las muelas cilíndricas alrededor de un eje de hierro apoyando sobre el empiedro<sup>1</sup> una de las generatrices rectilíneas de dicho cono. Dicho eje va afianzado contra el árbol vertical que arranca del centro de la solera, de modo que el rulo puede dar vueltas alrededor de dicho árbol, girando al propio tiempo sobre sí mismo. Téngase, sin embargo, en cuenta que la prolongación del eje de hierro, que es al propio tiempo eje del cono truncado, puede encontrar al árbol vertical en el centro de la solera o más arriba o más abajo de dicho punto, según el ángulo que forme el eje del rulo con el plano horizontal.

Si el punto donde se encuentran los dos ejes es precisamente el centro de la solera, el rulo gira sobre sí mismo encima de la solera sin resbalar, porque el desarrollo de la superficie cónica truncada de bases paralelas coincide exactamente con la corona circular que marca encima de la solera al recorrerla. Pero si, por el contrario, el eje del rulo en su prolongación encuentra el plano de la solera más arriba

---

<sup>1</sup> Solería horizontal, sobre cuya superficie se deslizan los rulos.

o más abajo de aquel centro, entonces dicho rulo tiene que rodar y resbalar o arrastrar a la vez, porque los caminos recorridos por una y otra base serían de radios menores que las circunferencias que han de recorrer.

Esto es precisamente lo que se procura acercando más o menos el suelo al árbol vertical para que no coincida el vértice ideal del cono con el centro material del empiedro. No conviene que el rulo tenga mucho arrastre, porque resulta muy pesado y además se afina y desgasta mucho y, por consiguiente, hay que picarlo a menudo.

La forma de las tolvas que han de surtir de aceituna ha sido objeto de minuciosos estudios. La aceituna cae desde la tolva de madera por un tubo de hoja de lata, llamado tolvin.

Un eje vertical (que va en medio de la tolva) recibe el movimiento, a la vez que el rulo, por la caballería enganchada en una palanca que sale de la parte superior del eje del rulo, poniendo en movimiento todo el aparato.



*Figura 1: Molino de rulo cono truncado (Museo de Mora, Toledo).*

En los molinos de dos rulos pueden éstos disponerse simétricamente, respecto del árbol vertical, o bien de modo que los ojos de los mismos formen ángulo recto, que es lo más común. Al lado opuesto del rulo hay una palanca con contrapeso, de hierro para equilibrar el esfuerzo de tracción que ejerce el motor, con cuyo contrapeso hay completa seguridad de conservar la vertical del árbol central.

Para la producción en pequeña escala se construyen a finales del siglo XIX, unos molinos trituradores de hierro fundido compuestos de un plato o solera de fundición de 1,80 metros de diámetro, sobre el cual giran cuatro rodillos cónicos; también de hierro fundido, huecos para rellenarlos hasta que tengan el peso que convenga. En el centro llevan una tolva provista de un regulador que distribuye la aceituna.

Una caballería mediana puede mover el aparato (figura 1), moliendo cada hora de trabajo de tres a cuatro fanegas de aceituna, obteniéndose una pasta muy superior a la



producida con rulos de piedra, pudiéndose también disponer de tal manera que puedan ser movidos por motor, fuerza hidráulica, etc., etc., llevando el engrane en la parte inferior.

**TRITURADORAS.** También se han construido máquinas para triturar la aceituna, llamadas Trituradoras, las cuales dan excelentes resultados, triturando la aceituna lo mismo blanda que seca, y dejando la pulpa y hueso reducidos a pasta. Se componen de una caja con dos cilindros de acero templado que girando en sentido inverso aplastan la aceituna, reduciendo pulpa y hueso, como hemos dicho, a una pasta más o menos fina, según se desee.

Para concluir diremos que la molienda influye también en la buena calidad del aceite, de tal modo que para obtener un producto de primera, es preciso triturar solamente la aceituna, pues el hueso bien molido, esto es, reducido a pasta, da aceites de inferior calidad.

#### 4. Evolución en las prensas

**PRENSAS.** Después de triturada la aceituna, forma una pasta, llamada vianda en algunas regiones, la cual se transporta a la prensa en cubos o herradas esmaltados por dentro y por fuera de porcelana blanca, con el fin de extraerle el aceite.

La evolución en las prensas es la siguiente: prensas de viga y quintal, las llamadas de tornillo, de volante y engranaje e hidráulicas. Hacemos mención de la antiquísima prensa de viga y quintal (figura 2), bastante conocida y usada en nuestro país hasta el año 1942. La describimos, entre otras razones, por la imperfección de su labor, pues prensa relativamente poca cantidad de vianda, y ésta la deja mal prensada. Es preciso hacer gran uso del agua caliente para obtener mayor cantidad de aceite, por cuyo motivo jamás pueden elaborarse aceites finos y buenos.



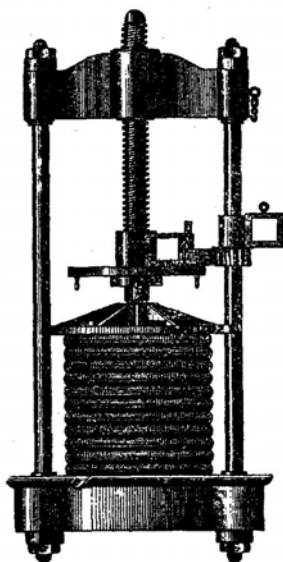
*Figura 2: 'Frames' de la animación por ordenador de la prensa de viga y quintal.*

El modelo sólido de la citada prensa de viga y quintal se ha realizado con el software AutoCAD de Autodesk. Para ello fueron necesarios extensos trabajos de campo que nos proporcionaran las medidas en los croquis realizados y las fotografías realizadas sobre las prensas encontradas para poder aplicar posteriormente el texturado

al modelo de la prensa y dar una imagen que fuera un fiel reflejo de la realidad. Asimismo una vez realizado el modelo, se exportó a 3Dstudio Max de la misma firma Autodesk, para obtener la animación por ordenador de la morfología que será expuesta en el Congreso. Se consigue de esta forma utilizar las técnicas infográficas en la recuperación del patrimonio industrial y a partir de esta información gráfica proceder a su estudio desde el punto de vista de la ingeniería. Sólo las personas con la citada formación podrán realizar a posteriori dicho estudio riguroso. Con esta comunicación se pretende subrayar una vez más la importancia de las técnicas gráficas en actividades ingenieriles o de recuperación de nuestro patrimonio.

Para evitar que nuestro juicio sea considerado una arbitrariedad, transcribimos lo que acerca de esto escribió el señor Payo Vicente<sup>2</sup> en su libro *Arte de cultivar el Olivo*, cuyos inconvenientes enumera en esta forma: «La pérdida de tiempo y la excesiva mano de obra; el no cargar por igual la viga y, por lo tanto, la facilidad con que se ladea el cargo; el poco trabajo que se obtiene, pues en las veinticuatro horas sólo pueden hacerse dos presiones de ocho fanegas cada una; el precio de la madera para hacer la viga y las frecuentes recomposiciones que necesita». Diremos que en España se estuvo utilizando hasta 1942, más de un siglo después de desaconsejarla este autor, en Nigüelas (Granada) y otros lugares de Andalucía o Extremadura.

**PRENSA DE TORNILLO.** Desde luego renunciamos a la descripción de las piezas, porque siendo tan variado su mecanismo, aun tratándose de las de la misma índole, podemos omitir algún detalle que tenga un sistema determinado, o exponer más datos de los que pueda haberles dado su inventor, por lo que nos limitamos tan sólo a decir que las hay de dos, tres y cuatro columnas, cumpliendo bien su función tanto unas como otras.



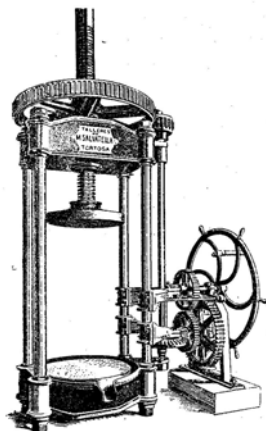
*Figura 3: Prensa de tornillo con dos columnas.*

---

<sup>2</sup> Payo, Vicente. *Arte de cultivar el Olivo*. Valencia, 1840.

La que marca el grabado de la figura 3 es bastante sólida, sin complicación alguna en su mecanismo. Pueden darse tres movimientos: 1.º *Rápido*, por medio de los pomos que lleva en la cara inferior del plato. 2.º *Medio*, poniendo la palanca junto al husillo. 3.º *Muy lento*, si se coloca la palanca con el engrane lateral. Como se ve en la figura, funciona con capachos de unos 55 a 80 centímetros de diámetro: su altura de pie es de 1,15 a 1,25 metros y su consistencia podrá apreciarse al saber que el diámetro del husillo mide de 12 a 16 centímetros.

**PRENSAS DE VOLANTE Y ENGRANAJE.** Estas prensas son ordinariamente de cuatro columnas (figura 4), poniendo en movimiento el husillo por medio del volante que lleva en el lado derecho, y aunque serían suficientes dos hombres para obtener una buena presión, por la buena combinación de sus ruedas dentadas, pueden, no obstante, funcionar también con otra fuerza motriz, como vapor, etc., para lo cual se construyen con poleas para avance y atrás con su correspondiente disparo. Su altura es próximamente de 1,50 metros, con una base de 80 centímetros. Dan muy buenos resultados y su labor es excelente.



*Figura 4: Prensa de volante y engranaje.*

**PRENSAS HIDRÁULICAS.** Estas, sin duda alguna, son las mejores prensas que pueden utilizarse. Si se trata de pequeñas explotaciones puede mover la bomba un hombre, hallándose así dispuesta la de la figura 5; pero es preferible utilizar fuerza animal o de vapor, sirviendo esta misma bomba con sólo adicionarle un sencillo mecanismo. La prensa hidráulica con su respectiva bomba hidráulica, va provista de un cigüeñal con dos juegos de engranajes, uno que sirve para apresurar la presión al principio y otro juego de engranaje para cuando la prensa alcanza presión.



*Figura 5: Prensa hidráulica.*

En las grandes y bien montadas almazaras, donde hay instaladas varias prensas hidráulicas van de ordinario acompañadas de vagonetas, que marchando en sus respectivos rieles, llevan el cargo, economizando mucho tiempo y trabajo.

Para las grandes producciones y cuando deben trabajar muchas prensas, se emplean *Buffets* que constan de varios cuerpos de bomba reunidos en una sola caja o recipiente, funcionando por medio de un solo eje, siendo muy conveniente que el agua vaya a un *Acumulador* y desde éste puede dirigirse la fuerza a las distintas prensas en acción, resultando un trabajo continuo y uniforme con grandes ventajas.

Estas prensas funcionan, por regla general, con capachos; aunque la llamada Prensa hidráulica diferencial funciona por medio de una jaula metálica, de cuya disposición resultan las siguientes ventajas: 1.<sup>a</sup> El peso del material empleado se reduce aproximadamente a la mitad, y por lo tanto, su precio es mucho menor que el de las otras prensas hidráulicas. 2.<sup>a</sup> Estas Prensas diferenciales son más baratas que las de husillo, con la inmensa ventaja de que en la hidráulica se aprovecha toda la fuerza, mientras que en las de husillo absorbe éste casi la mitad de la fuerza. 3.<sup>a</sup> El eje que sirve para obtener la presión es central, de modo que quedan suprimidas las columnas, con lo que se obtiene mayor libertad para el trabajo de la extracción del aceite.

## **5. Conclusiones**

El trabajo de reconstrucción gráfica y animación de las principales prensas es posible gracias a los actuales programas de representación y animación por ordenador. Gracias al trabajo realizado se han podido modelar en 3D mediante AutoCAD las citada morfologías y exportándolas al 3Dstudio Max realizar la animación por ordenador de su funcionamiento, lo que nos ha permitido conocer los principales parámetros de funcionamiento y códigos de diseño, de una máquinas que forman parte del legado en cuanto patrimonio industrial que nuestros antepasados nos han dejado.

Gracias a la animación podemos visualizar, reconstruir y comparar la evolución sufrida desde 1850 hasta 1950 en la industria de extracción del aceite de oliva, calcular la mejora en el rendimiento y en la calidad de los aceites obtenidos.

## Referencias

MANJARES, Ramón. *El aceite de Oliva*. Sevilla, 1905

PEQUEÑO, Diego. *Elaboración de aceite de olivas*. Imprenta de la Sociedad Tipográfica. Madrid, 1879.

ROJAS SOLA, José Ignacio; DOMÍNGUEZ SOMONTE, Manuel; SEBASTIÁN PÉREZ, Miguel Ángel. *Reconstrucción gráfica de una prensa de aceite en el siglo XV*. VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Jaén 1996.

ROJAS SOLA, José Ignacio., *Estudio histórico-tecnológico de molinos y prensas para la fabricación de aceite de oliva. Aplicación al estudio en detalle y reconstrucción gráfica de una prensa de viga y quintal*. Diputación Provincial de Jaén. Instituto de Estudios Giennenses. Jaén 1997.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA SOLID EDGE

Primer Autor: APERRIBAY MAIZTEGUI, Víctor<sup>(1)</sup>

Coautores: MARTIN AMUNDARAIN, Iñaki<sup>(1)</sup>; SAN MARTÍN DÍAZ, José Javier<sup>(2)</sup>;  
ALONSO GIRÓN, Jesús M<sup>a</sup><sup>(1)</sup>; ARRIETA ALBIZU, José M<sup>a</sup><sup>(2)</sup>; JIMÉNEZ  
ARABAOLAZA, Mikel<sup>(2)</sup>; PEREZ MANSO, Ángel<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar. Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
e-mail: eppmaami@sb.ehu.es

<sup>(2)</sup> Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar. Departamento de Ingeniería Eléctrica  
e-mail: iepsmidj@sb.ehu.es

### RESUMEN

El objetivo de esta comunicación es mostrar las posibilidades de la programación en Visual Basic para crear macros enfocados a Solid Edge para automatizar operaciones repetitivas. Son programas dirigidos al alumnado de la EUITI de Eibar para ser utilizados en distintas asignaturas de cualquier Departamento que requieran el uso del programa Solid Edge y, sobre todo, en la realización de proyectos fin de carrera de los alumnos.

Las macros son programas que se ejecutan dentro del entorno de otro programa. En este caso, ambas aplicaciones deben ejecutarse a través de Solid Edge. Pueden tratarse desde pequeñas aplicaciones que automatizan algún proceso hasta programas de mayor entidad que, como en el caso que nos ocupa, realizan diversas operaciones de mayor importancia.

**Palabras clave:** Diseño Industrial, Automatización, Visual Basic, Programación.

### ABSTRACT

The target of this communication is to show the possibilities of the programming in Visual Basic to create macros focused Solid Edge to automate repetitive operations. They are programs directed to the pupils of the EUITI of Eibar to be used in different subjects of any Department that need the use of the program Solid Edge and, especially, in the achievement of graduation theses of the pupils.

The macros are programs that are executed inside the environment of another program. In this case, both applications must be executed across Solid Edge. They can talk each other each other from small applications that automate some process up to programs of major entity that, as in the case that occupies us, realize diverse operations of major importance.

**Key words:** Industrial Design, Automation, Visual Basic, Programming.

## **1. Introducción**

El objetivo de esta comunicación es presentar las posibilidades que permiten los macros para utilizarlas dentro de los sistemas de CAD, en nuestro caso el programa Solid Edge, para automatizar operaciones repetitivas. Son programas dirigidos al alumnado de la EUITI de Eibar para que pueda disponer de ellos, sobre todo en los proyectos fin de carrera que requieran el uso del programa Solid Edge. En este trabajo se presentan dos programas, una macro denominada “Biblioteca de Tornillos” que permite al usuario seleccionar entre una infinidad de tornillos normalizados, mientras que la macro “Propiedades” posibilita la modificación de las propiedades de los archivos de pieza y conjunto, facilitando la creación del dibujo bidimensional, al incluir una plantilla específica, y automatiza el proceso de rellenado del cajetín.

## **2. Desarrollo de trabajo**

### **Antecedentes**

Evitar costos superfluos desde la primera etapa del proyecto es una exigencia cada vez más habitual en el funcionamiento de una empresa moderna. Se trata de introducir el concepto de optimización de procesos. Con ello se pretende evidenciar el ahorro de tiempo que se puede alcanzar con la programación en el Diseño Industrial.

Las tareas repetitivas que se realizan en el Diseño Industrial, suponen un consumo de tiempo excesivo en ciertas tareas que se pueden automatizar, aumentando así el proceso y tiempo creativo de Ingeniero. En muchos casos, esto se puede evitar con la utilización de macros.

Las macros son programas que se ejecutan dentro del entorno de otro programa. En este caso, a través del sistema de CAD, Solid Edge. Pueden ser, desde pequeñas aplicaciones que automatizan algún proceso, hasta programas de mayor entidad, como el que se detallará a continuación.

La idea de crear este tipo de aplicaciones surge de la necesidad de la Sección Departamental de Expresión Gráfica en la EUITI de Eibar para disponer de unas herramientas que automaticen el uso del programa de C.A.D. Solid Edge, tanto para crear planos, con los detalles específicos del cajetín, como para poder utilizar ciertas piezas normalizadas, previamente creadas. Se crearán dos macros, para evitar el diseño de las mismas piezas normalizadas en el desarrollo de los Proyectos Fin de Carrera que se realizan en la EUITI de Eibar, y también para automatizar la inserción de los datos en los cajetines.

### 3. Objetivos

Para el desarrollo y consecución de las macros se han debido tener en cuenta una serie de necesidades propias y específicas. En concreto, los objetivos fijados para los mismos han sido los siguientes:

- Automatizar procesos repetitivos y poco creativos en la realización de Proyectos Fin de Carrera de la EUITI de Eibar.
- Mostrar a los alumnos las ventajas de la utilización de las macros.
- Establecer un modo de trabajo para proyectar futuras macros que se podrían realizar y aumentar la automatización de procesos.

### 4. Planteamiento de soluciones

Para solucionar el problema de automatización del cajetín, se realiza una macro llamada “Propiedades”, que permite al usuario modificar ciertas propiedades de archivos de Solid Edge Pieza (Part) o Solid Edge Conjunto (Assembly). No se puede trabajar con archivos que están siendo creados, ya que primero deben ser guardados.

La macro incluye una plantilla de Solid Edge Plano (Draft) en la que los campos del cajetín y de la lista de piezas se rellenarían automáticamente. Por lo tanto, supone una herramienta muy útil para realizar un plano de pieza, de una forma sencilla y rápida, ya que basta con rellenar los campos de texto de la macro “Propiedades” y, a continuación, crear el archivo Solid Edge Plano desde la propia macro. Para la operación del dibujo bidimensional, el usuario simplemente debe elegir las vistas a incluir. El cajetín se rellenará automáticamente con las propiedades modificadas en la macro, donde únicamente deberá añadir la escala del mismo.



*Figura 1: Iconos de acceso directo.*

Sobre la plantilla “UPV.dft”, se ha utilizado la herramienta “llamadas” en Solid Edge Plano, para incluir los datos en el cajetín, puesto que ofrece muy buenas posibilidades de automatización. Así, el usuario se puede desentender de la macro una vez que haya modificado las propiedades y centrarse, exclusivamente, en realizar los dibujos bidimensionales.



*Figura 2: Icono de macro*





Por otra parte, los menús permiten realizar la selección del tipo de tornillo, así como acceder a unas breves instrucciones del funcionamiento del programa e información sobre el mismo tales como versión, descripción, autor, etc.

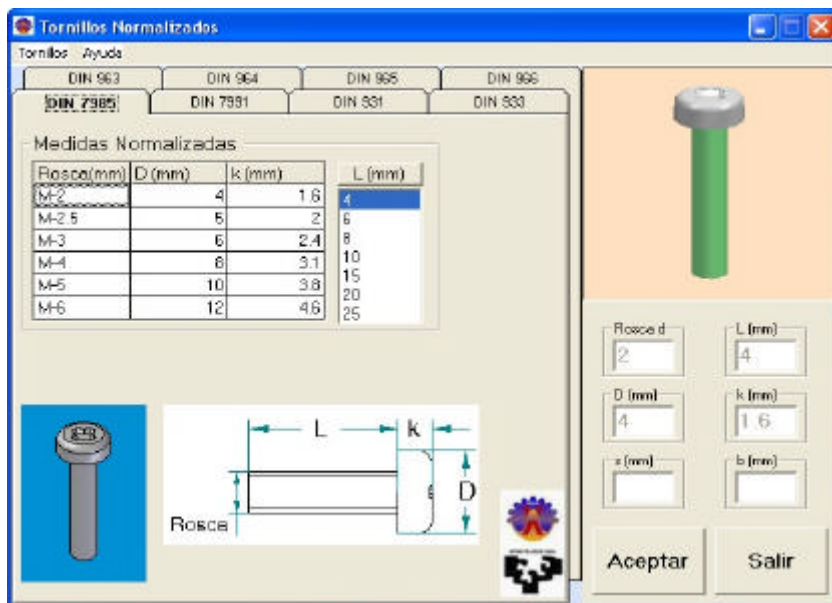


Figura 4: Macro “Biblioteca de Tornillos”.

Aparte del programa en sí, también se incluyen los archivos de los tornillos:

- DIN 7985.par
- DIN 7991.par
- DIN 932.par
- DIN 933.par
- DIN 963.par
- DIN 964.par
- DIN 965.par
- DIN 966.par

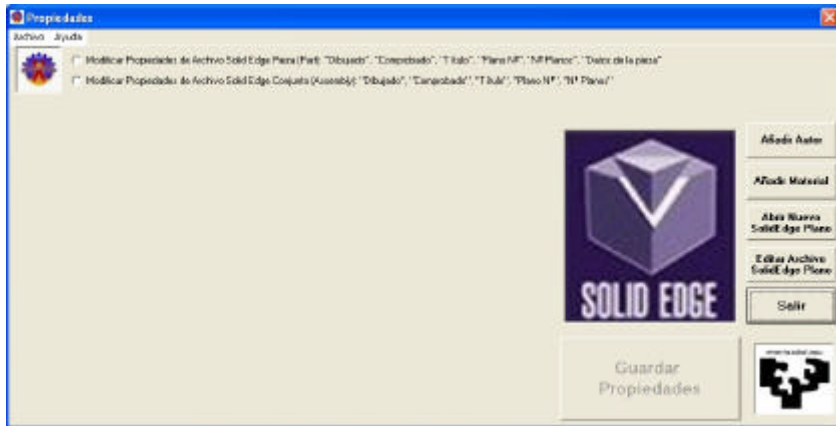
Además, el programa también incluye varios archivos de texto que incluyen las roscas y las longitudes disponibles así como las instrucciones.

También se ha añadido el archivo de la imagen de la UPV (“UPV.bmp”) para poder crear el icono en Solid Edge.

## 6. Propiedades

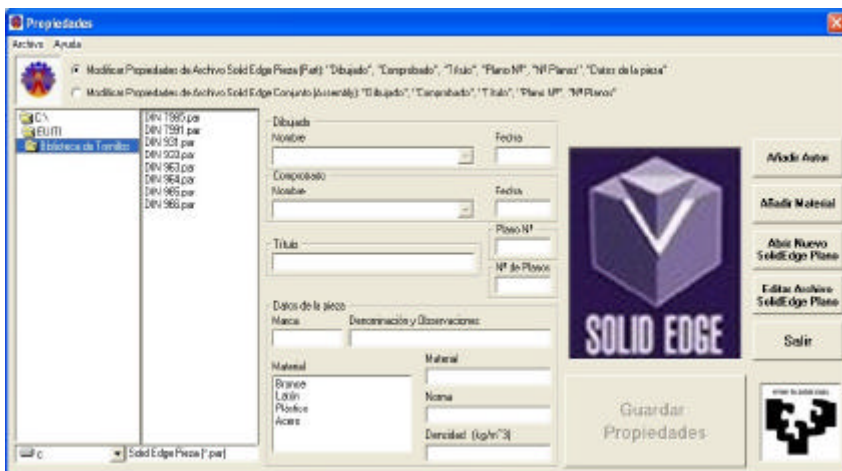
Esta macro permite la modificación de las propiedades de los archivos Solid Edge Pieza y Solid Edge Conjunto de una forma sencilla. Así mismo, se puede crear el dibujo en dos dimensiones rápidamente, ya que los datos se incluyen automáticamente en el cajetín, utilizando la plantilla apropiada (“UPV.dft”).

La ventana de la macro aparece en un principio prácticamente vacía. El primer paso es seleccionar el tipo de tarea que se va a realizar, para lo cual se utilizan dos botones de selección alternativa (no se pueden seleccionar los dos a la vez).



*Figura 5: Macro “Propiedades”*

Tras realizar la selección, se verán los elementos (lista de unidades, lista de directorios y lista de archivos) que permiten escoger el archivo con el que se va a trabajar. También se descubrirán los campos de texto disponibles en cada caso donde se modificarán las propiedades correspondientes.



*Figura 6: Macro “Propiedades”. Opciones para el diseño de piezas.*

Una vez seleccionado el archivo se mostrarán, si procede, las propiedades del mismo. Entonces se podrán modificar escribiendo en cada caja de texto.

En la parte izquierda de la ventana se encuentra una muestra del archivo tridimensional (sólo disponible en el caso de trabajar con archivos Solid Edge Pieza). Esta muestra se puede rotar pulsando el botón izquierdo del ratón y moviéndolo. Sobre este elemento aparecerá el nombre del archivo seleccionado.



*Figura 7: Ventana de Visualización.*

El resto de objetos son botones. Uno de ellos permite abandonar el programa (“Salir”). Otro sirve para guardar las modificaciones realizadas en las propiedades del archivo (“Guardar Propiedades”). El botón “Añadir Autor” sirve para incluir un nombre en las listas “Dibujado por...” y “Comprobado por...”. De igual manera, el botón “Añadir Material” permite que el usuario introduzca en la lista de materiales la densidad (en  $\text{kg/m}^3$ ) y la norma.

Otro de los botones (“Abrir Nuevo SolidEdge Plano”) permite abrir la plantilla “UPV.dft”, que está realizada con el cajetín, de modo que las propiedades modificadas en la macro se introduzcan en él de forma automática al crear los planos del archivo. El último botón (“Editar Archivo SolidEdge Plano”) permite al usuario abrir algún archivo ya existente para poder trabajar con él.



*Figura 8: Insertar Autor*



*Figura 9: Insertar propiedades*

En cuanto a la barra de menús, el menú “Archivo” incluye las mismas opciones que los botones ya mencionados, mientras que el menú “Ayuda” permite, por un lado, abrir una nueva ventana con instrucciones sobre el funcionamiento del programa y, por otro, acceder a información sobre la macro, como la versión del mismo, autor, etc.

Pasando a analizar los archivos incluidos, aparte del imprescindible ejecutable “Propiedades.exe”, también hay otros sin los que el funcionamiento de la macro sería imposible. Así, tenemos los archivos de texto que incluyen la información de los materiales (Material.txt, Densidad.txt, Norma.txt) y los archivos con los nombres de autores (Nombres.txt, Comprobado.txt). El último archivo de texto es el que permite visualizar las instrucciones desde la macro (instrucciones.txt).

Por otro lado, se encuentra la plantilla de Solid Edge Plano (“UPV.dft”) y el archivo que hace posible la creación de un botón en la barra de herramientas de Solid Edge con el icono de la UPV (“UPV.bmp”).

## 7. Conclusiones

Eliminar costes, desde la primera etapa del proyecto, es una exigencia imprescindible en el funcionamiento de una empresa moderna. Se trata de introducir el concepto de optimización de procesos. Con ello se pretende evidenciar el ahorro de tiempo que se puede alcanzar con la programación en el Diseño Industrial.

Las tareas repetitivas que se realizan en el Diseño Industrial, suponen un consumo de tiempo excesivo en ciertas tareas que se pueden automatizar, aumentando así el proceso y tiempo creativo de Ingeniero. En muchos casos, esto se puede evitar con la utilización de macros.

En este trabajo se han presentado dos ejemplos de las mismas y su aplicación está prevista, en un principio, para los alumnos de asignaturas del Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de la EUITI de Eibar, y la realización de Proyectos Fin de Carrera. No obstante, cualquier Departamento de la Escuela podrá disponer de los citados programas.

## Referencias

RAMOS BARBERO, B., GARCÍA MATÉ, E. *Dibujo Técnico. 2ª edición*. AENOR, Madrid, 2000.

HOWHEE, H. *MCSD Training Guide: Visual Basic 6 Exams*. New Riders Publishing, United States of America, 1999

HALVORSON, Michael, *Visual Basic 6.0* Mc Graw Hill, 1998

FACTOR FABRICANTES TORNILLERÍA, S.L. (<http://www.factorsl.es>)



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### MÉTODOS DE GENERACIÓN EN EL DISEÑO DE SUPERFICIES DE ESTILO - CONSTRUCTION METHODS IN SURFACE STYLING

MÍNGUEZ GABIÑA, Rikardo (1); ARIAS COTERILLO, Agustín (1); BARRENETXEA  
APRAIZ, Lander (1); SIERRA URIA, Egoitz (1)

<sup>(1)</sup>Universidad del País Vasco, España  
Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
Correo electrónico: eppmigar@bi.ehu.es

### RESUMEN

A finales de 2002 un grupo de investigación formado principalmente por profesores del área de Expresión Gráfica de la Escuela de Ingenieros de Bilbao inició una línea de investigación sobre Ingeniería Inversa y sus posibles aplicaciones en beneficio de las Pymes de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Como resultado de este trabajo en común hemos analizado los métodos de generación de las superficies en el diseño de superficies de estilo que se utilizan hoy en día.

Por una parte, se considera la interpolación de datos (puntos, tangentes y curvaturas) frente a la utilización de polos o vértices de control.

Por otra parte, se estudia la generación de las superficies bien mediante una malla de curvas, bien por barrido de curvas, o bien mediante generación directa de una superficie mediante la edición dinámica de sus polos.

En el estudio también se incluye una comparación de los métodos y de los programas más importantes del mercado: Alias, ICEM, UGS NX2 y, Catia V4 y V5.

**Palabras clave:** Metodología y técnicas: Superficies de Estilo, Ingeniería Inversa, Superficie NURB.

### ABSTRACT

At the end of 2002, a new research group was formed in the Graphic Expression area in the Faculty of Engineering of the University of the Basque country. This group started an investigation about Reverse Engineering and its applications in the small and medium enterprises of the Basque Autonomous Community.

As a result of this groupwork we have analyzed the surface Construction Approaches in the styling design as they are used nowadays.

Thus, we have considered data interpolation (points, tangents, curvatures) and the use of poles or control vertices.

Besides, we have considered surface construction approaching with mesh of curves, sweeping or direct construction of the surface with the interactive edition of its poles.

In this study, we present a comparison of these approaches and we also compare the most extended programs in the market, such as: Alias, ICEM, UGS NX2 and, Catia V4 and V5.

**Key words:** Methodology and Techniques: Surface Styling, Reverse Engineering, NURB Surface.

## 1. Introducción

En la presente comunicación pretendemos analizar los métodos existentes de generación de superficies en el diseño de superficies de estilo.

Los paquetes de CAD han experimentado un notable progreso. Hoy en día se diseñan en tres dimensiones cosas impensables hasta hace muy pocos años. También se han hecho grandes progresos en la asociatividad y variacionalidad de los programas [4]. Actualmente se está llevando un proceso de absorción y unión de los principales vendedores de sistemas de CAD. Esto hace que cada vez sean menos los programas llamados de alto nivel.

También se ha intentado progresar en campos que antes no eran prioritarios o que antes por la potencia de cálculo que requerían sólo eran incluidos en los programas de más alto nivel. Al día de hoy los programas considerados “medios” como Solid Edge o Solid Works también incorporan sofisticadas herramientas para el tratamiento y análisis de superficies, pero las empresas siguen ofreciendo sus últimos avances en los programas de más alto nivel como pueden ser Unigraphics, Catia, Pro-E ó Ideas.

Otro aspecto a resaltar es la poca visión del usuario de empresa media sobre las funcionalidades de cada programa. ¿Qué programa es mejor? Todo dependerá de la fase de diseño en la que estemos, de lo que queramos hacer y para quien estemos trabajando. Hay que tener en cuenta que los programas para traducir ficheros de un modelador a otro mejoran día a día, pero a la vez, es inevitable perder datos en el proceso por lo que hay que conocer sus limitaciones [7].

Queremos destacar que esta comunicación se enmarca dentro de un estudio del grupo de investigación que desde finales de 2002 es dirigido por profesores del área de Expresión Gráfica de la Escuela de Ingenieros de Bilbao en la Universidad del País Vasco. La línea de investigación profundiza en la Ingeniería Inversa y sus posibles aplicaciones en beneficio de las Pymes de la Comunidad Autónoma Vasca. En este grupo también participa la Fundación UNITEC que es miembro de la Red Vasca de Tecnología e Innovación.

2. Procesos empleados en el Diseño de Superficies

Dentro del proceso de diseño cuanto antes empecemos a producir datos digitales mejor. Realmente no importa mucho como hayan sido creados esos datos digitales (construcción directa o ingeniería inversa desde una maqueta), pero son importantes para que la ingeniería de producción con el correspondiente desarrollo de sus utillajes pueda empezar cuanto antes. Las superficies de estilo cambiarán a lo largo del proceso, por supuesto, pero la asociatividad con la que contamos en el CAD debería minimizar el sobretrabajo que causen los cambios [8], [3].

Cuando estamos cerca de conseguir la aprobación del diseño final, hay que estar seguros de que el modelo digital está razonablemente puesto al día (es decir, que no está detrás de la maqueta). Si la maqueta no se modifica nunca manualmente, esto está garantizado. Si modificamos la maqueta, necesitaremos hacer algún tipo de ingeniería inversa de los cambios manuales para trasladarlos al modelo digital. El objetivo general es minimizar el trabajo a realizar en el modelo digital para conseguir ir desde el diseño aprobado a la entrega de la superficie final en el menor tiempo posible.

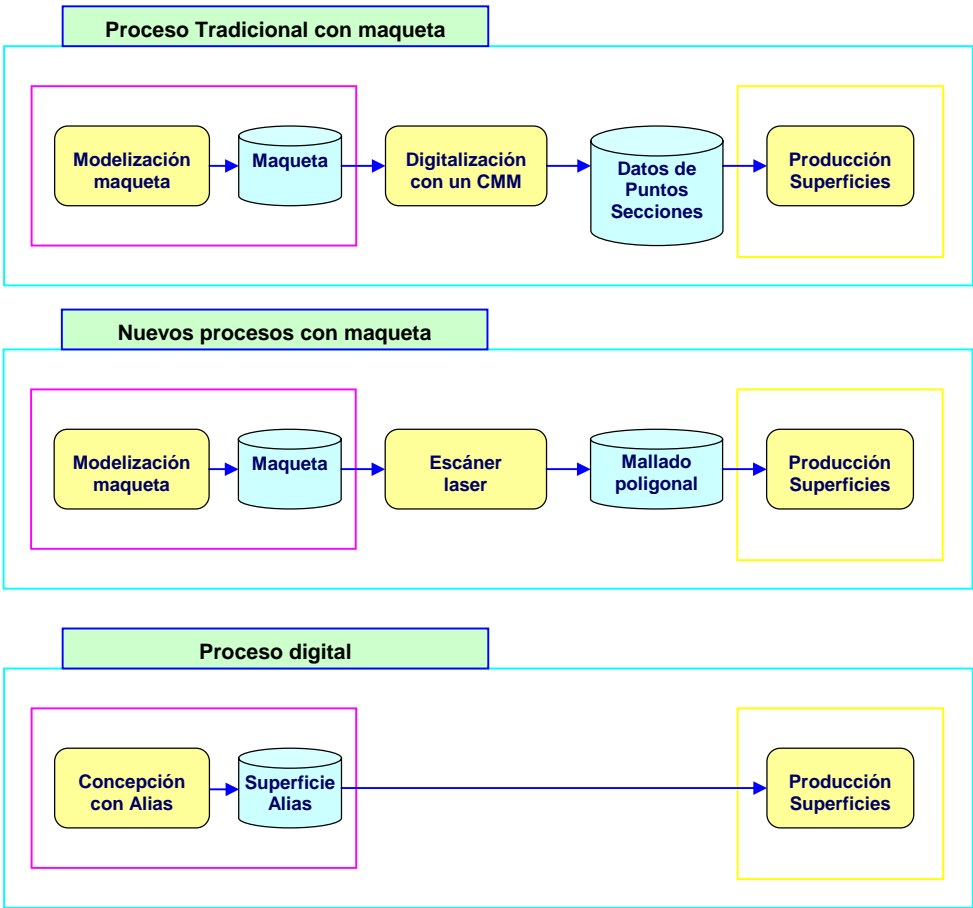


Figura 1 – Flujos de trabajo típicos en el diseño de superficies



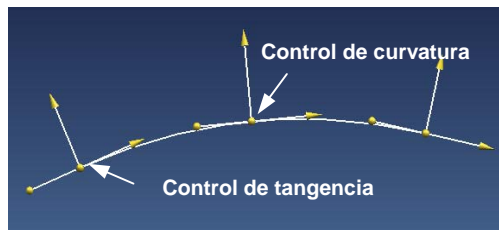
¿Cuál es el mejor proceso? Según las actitudes y tecnologías actuales, el modelo físico es generalmente necesario para la aprobación final del diseño. El modelo digital es siempre necesario para la ingeniería de producción y el desarrollo de herramientas, y cuanto antes esté disponible mejor.

¿Cuál debe ser el medio que mande, el digital o el físico? Las herramientas en las que manda lo digital se están desarrollando rápidamente, mientras que los métodos de modificación manual de las maquetas difícilmente variarán. Al final las herramientas digitales serán mejores y más rápidas (si no lo son ya) y , hoy en día, el ir de lo digital a lo físico es más fácil que lo contrario.

El modelo digital se necesita antes. No necesitamos el modelo físico hasta la aprobación final del diseño (si ésta se produce alguna vez). Modelos digitales rápidos son muy útiles en el “salto” a la ingeniería de producto y desarrollo de los utillajes. La elección del medio que mande depende de los técnicos disponibles y su cualificación. Si la empresa tiene gente que sabe esculpir maquetas entonces seguirá trabajando con maquetas [9], [13].

### 3. Métodos de Construcción de Curvas

#### (1) Interpolación

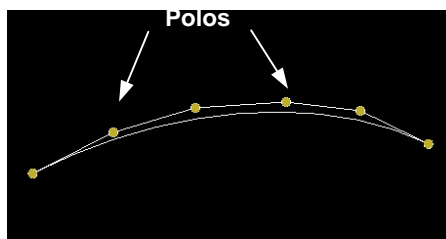


*Figura 2 – Curva por puntos*

La curva se ajusta (interpola) en algunos datos introducidos (puntos, y quizás tangentes y también curvaturas). Se adapta la forma de la curva modificando los datos de interpolación.

Pros/contras: Hay un control directo de la posición de la curva, pero es más difícil de controlar el “carácter” y las curvaturas.

#### (2) Uso de Polos



*Figura 3 – Curva por polos*

La curva se ajusta empujando los “polos” de forma interactiva (vértices de control). Al principio no parece natural ya que los polos no están en la curva.

Pros/contras: sólo hay control indirecto de la posición de la curva, pero es más fácil de controlar el “carácter” y las curvaturas [1], [2], [5].

4. Métodos de Construcción de Superficies

(1) Métodos basados en curvas

(a) Método por mallas de curvas

Se encaja la malla de curvas en los puntos dato.

Construimos la superficie a través de la malla de curvas.

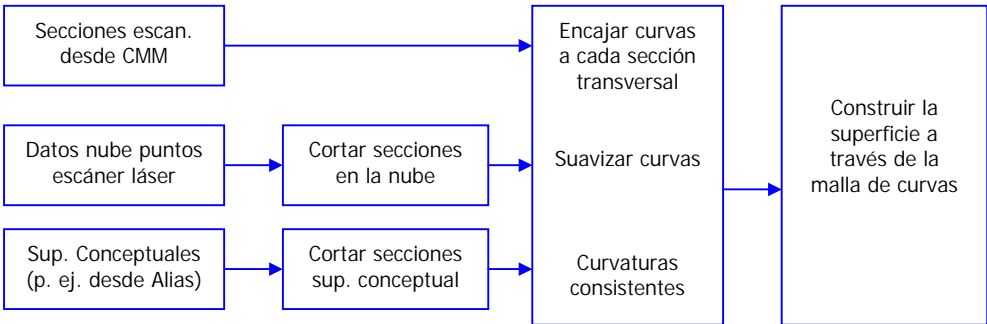
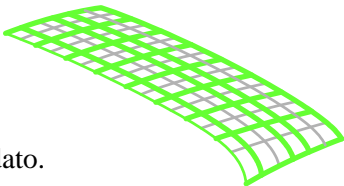


Figura 4 – Método por malla de curvas

(b) Método por barrido

Construimos “rafles” y curvas que guían el barrido.

Se “barren” las formas simples por las guías [14].

Es el método usado con Catia V4 [12].

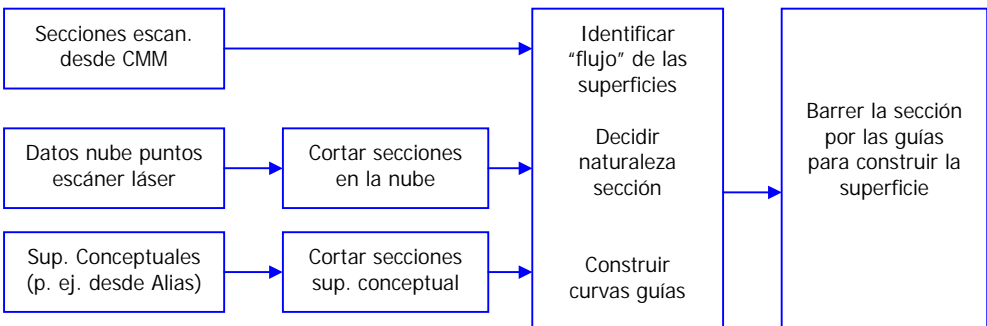
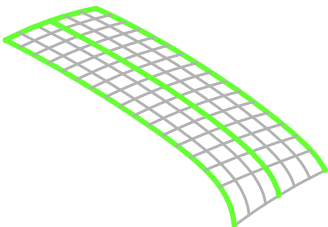


Figura 5 – Método por barrido

(2) Métodos basados en superficies (editando polos)

Se encaja la superficie directamente en los puntos.

Se arrastran interactivamente los “polos”.

Tenemos un diagnóstico gráfico en tiempo real.

Es el método usado con ICEM Surf [16].

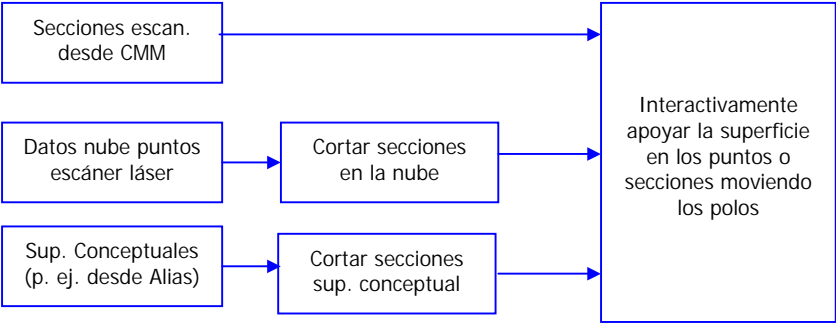
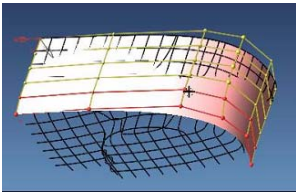


Figura 6 – Método editando polos

5. ¿Qué método de Construcción de Superficies es mejor?

Tabla 1 – Comparación métodos de construcción de superficies

	Malla de curvas	Barrido	Edición de Polos
Conformidad con los datos escaneados	Garantizada	A menudo mala. Medida después de generarla	Información desviaciones después de generarla
Información de forma durante construcción	Ninguna hasta superficie totalmente construida	Ninguna pero formas fáciles de predecir	Mucha
Editabilidad	Mala	Buena	Muy buena
Aplicación	En cualquier sitio	Bloques simples, norm.	En cualquier sitio
Requiere prep. curva	Mucha	Poco	Nada
Necesita interacción estilista / modelador	Baja, justo encaja lo escaneado	Alta, si queremos la máxima eficiencia	Alta, si queremos la máxima eficiencia
Tiempo total (incluy. prep. curva)	Alto, trabajo de suavizar y correlacionar curvas	Bajo, sólo 3 o 4 curvas a suavizar	Medio
Fabricantes vehículos principales	GM, Mitsubishi, Mazda, Nissan	Chrysler, Volvo, Toyota	Resto (usuarios ICEM)

Para grandes formas “uniformes”, donde la aproximación por barrido es aplicable, ésta es probablemente la aproximación más rápida, y produce muy buenas superficies.

Para formas que no son lo suficientemente uniformes para hacerse por barrido, parece que la aproximación editando los polos será la más rápida. También produce muy buenas superficies.

Deben aún desarrollarse más técnicas especiales para modelizar transiciones (por ejemplo el borde de estilo de Unigraphics). Los usuarios de Icem construyen bordes empujando polos (no tienen otra alternativa), pero no parece lo más eficiente [15].

El enfoque a utilizar depende en gran medida del personal y la formación que tengan. Las empresas tradicionales no tienen “empujadores de polos”, especialmente en producción de superficies, aunque podrían aprender a “arrastrar polos”. Lo más difícil trabajando con superficies de clase A es el tener la habilidad de mirar la forma de un cuerpo y decidir como romper este en parches o superficies. Una vez que tenemos esta habilidad, la podemos utilizar en cualquiera de las tres formas de enfocar la construcción de las superficies. Por el contrario, si no tenemos desarrollada esta habilidad nunca podremos crear buenas superficies con ninguna herramienta o método de aproximación.

La velocidad de la producción de las superficies puede estar fuertemente influenciada por las relaciones del estilista y del modelador. Si la relación es distante y desconfiada, el estilista le da al modelador algunos puntos escaneados y pequeñas tolerancias, y le pide que “cumpla” las tolerancias lo cual lleva mucho tiempo. Si la relación es de confianza y colaborativa, el estilista y el modelador trabajan juntos para crear formas que capturan las intenciones del estilista, sin tener que usar las tolerancias del escáner como límite de obligado cumplimiento. Esto es mucho más rápido [11].

Tabla 2 – Métodos soportados por los sistemas

	Alias	ICEM	UG	Catia V4	Catia V5
Malla de curvas	Bueno	Malo	Bueno	Normal	Normal
Barrido	Bueno	Normal	Bueno	Bueno	Normal
Edición polos de la superficie	Normal	Bueno	Normal	Malo	Normal

Unigraphics ha tenido que ponerse al día muchas veces: Mejoró las funciones de mallado de curvas para remplazar CGS en GM, mejoró las funciones de barrido para remplazar Catia en Saturn (filial de GM), y mejoró la edición de polos para remplazar ICEM en Isuzu.

Muchas funciones de barrido de SURF2 en Catia V4 desaparecieron al principio en V5. Afortunadamente regresaron a partir de la R7 [10], [13].

Tabla 3 - Comparación Funcional Resumida

	Alias	ICEM	UG	Catia V4	Catia V5
<b>Interfaz atractiva para estilistas</b>	Excelente	Normal	Normal	Pobre	Bueno
<b>Asociatividad</b>	Normal	Débil	Bueno	Débil	Normal
<b>Generación desde malla de curvas</b>	Bueno	Pobre	Bueno	Normal	Bueno
<b>Generación por barrido</b>	Bueno	Normal	Bueno	Excelente	Bueno
<b>Generación/edición a partir de polos</b>	Normal	Excelente	Bueno	Pobre	Bueno
<b>Encaja tangencias, curvaturas</b>	Bueno	Excelente	Bueno	Normal	Bueno
<b>Análisis de curvatura en tiempo real</b>	Sí	Sí	Sí	No	Bueno
<b>Análisis de reflexiones en tiempo real</b>	Sí	Sí	Sí	No	Normal
<b>Análisis de secciones en tiempo real</b>	Sí	Sí	Sí	No	Bueno
<b>Chequeo desviaciones en tiempo real</b>	Bueno	Bueno	Normal	Pobre	Bueno
<b>Imágenes dinámicas en tiempo real</b>	Bueno	Pobre	Bueno	Pobre	Normal
<b>Imágenes estáticas fotorealísticas</b>	Excelente	Normal	Bueno	Bueno	Normal
<b>Animaciones y películas fotorealíst.</b>	Excelente	No	Bueno	Pobre	??
<b>Interfaz con sistemas de VR</b>	Sí	??	Sí	??	??

## 6. Aplicación y Consideraciones Finales

Este análisis de los métodos de Construcción en el Diseño de Superficies de Estilo es una guía interesante de cara a asesorar a empresas que deseen implantar un sistema CAx (CAD/CAE/CAM) de alto nivel y que se adapte a las especificaciones de la empresa. En particular UNITEC está asesorando a la empresa fabricante de palos de golf Makser en la puesta en marcha de sus procesos de ingeniería inversa [6].

El objetivo es pasar de un sistema de diseño artesanal a una metodología de producción basada en las últimas tecnologías. Desde la conceptualización hasta el CAM.

Las cabezas de los palos de golf se caracterizan por su gran complejidad geométrica y por una elevada calidad de los acabados. Estas, sólo se podrán conseguir con una ingeniería dotada de los últimos adelantos en herramientas de diseño y

análisis en las siguientes áreas: digitalizado óptico, prototipado rápido, CAS (Computer Aided Styling), CAD, CAE, CAM.

Para la elección del paquete de CAD se han tenido en cuenta algunas particularidades:

- Deseo de la empresa de trabajar con un único distribuidor.
- Complejidad de las superficies y unión entre ellas.
- Falta de cualificación del personal de oficina técnica.
- Subcontratación de la producción.
- Análisis del reparto de pesos, centros de gravedad y de percusión.

En principio, la designación del paquete de CAD a comprar parece clara. Sin embargo, la decisión final siempre está en manos de las empresas que muchas veces tienen más en consideración intereses económicos y, la mayoría de las veces, corporativos, que los criterios técnicos expuestos anteriormente.

## Agradecimientos

Los autores de la presente ponencia queremos agradecer a la Fundación UNITEC la ayuda prestada para desarrollar el proyecto de investigación sobre Ingeniería Inversa en el que se enmarca la presente comunicación.

## Referencias

[1] BRUNET, P.; HOFFMANN, C.; ROLLER, D. (Eds.). *CAD Tools and Algorithms for Product Design*. Springer-Verlag, 2000.

[2] FARIN G., *Curves and surfaces for computer aided geometric design: a practical guide*. Academic Press, 1993.

[3] Fiores Project, *Inclusión de métodos de ingeniería inversa en sistemas CAS/CAD para la optimización del proceso de diseño de productos*, Brunet P., Vinacua A., Mata M. Universitat politècnica de Catalunya.

[4] LEE, Kunwoo. *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*. Addison-Wesley, 1999.

[5] MARSH, Duncan. *Applied Geometry for Computer Graphics and CAD*. Springer-Verlag, 1999.

[6] MÍNGUEZ, R.; ISPIZUA, R.; RUIZ, R.; LINARES A. *State-of-the-art in Reverse Engineering in the Spanish Market*. IV Italian-Spanish Seminar on Reverse Engineering Techniques and Applications, Nápoles (Italia), 2003.

[7] PIEGL L.; WOODWARK J. *CAD after 2000: integrated, intelligent, collaborative*. Elsevier, 2000.

- [8] ROLLER, D.; BRUNET, P. (Eds.). *CAD Systems Development. Tools and Methods*. Springer- Verlag, 1997.
- [9] Web site CADence [www.cadenceweb.com](http://www.cadenceweb.com)
- [10] Web site CADsever [www.cadserver.co.uk](http://www.cadserver.co.uk)
- [11] Web site [www.aliaswavefront.com](http://www.aliaswavefront.com)
- [12] Web site [www.catia.com](http://www.catia.com)
- [13] Web site [www.design-engine.com](http://www.design-engine.com)
- [14] Web site [www.eds.com](http://www.eds.com)
- [15] Web site [www.elsevier.com/locate/comaid](http://www.elsevier.com/locate/comaid) (Computer Aided Geometric Design)
- [16] Web site [www.icem.com](http://www.icem.com)



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CONCEPTO DE CALIDAD EN EL DISEÑO DE SUPERFICIES DE ESTILO - QUALITY CONCEPT IN SURFACE STYLING

MÍNGUEZ GABIÑA, Rikardo (1); RUIZ RUIZ, Javier (2); ISPIZUA ANDUIZA, Rafael (1);  
GOROZIKA BIDAURRAZAGA, Jokin (1)

<sup>(1)</sup>Universidad del País Vasco, España  
Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
Correo electrónico: eppmigar@bi.ehu.es

<sup>(2)</sup>Fundación UNITEC, España  
Dirección Técnica  
Correo electrónico: jrr@ikertia.com

### RESUMEN

En esta comunicación presentamos un análisis del concepto de calidad en el diseño de superficies de estilo. Estas superficies son de forma libre y están basadas principalmente en matemática NURB. Se usan en las primeras fases del diseño de productos donde el aspecto visual es determinante a la hora de su comercialización (electrodomésticos, automóviles, etc.). En los paquetes de CAD de alto nivel tenemos variadas herramientas y caminos para comprobar la calidad de estas superficies: Reflexiones de escenas naturales, reflexiones con bandas de luz y reflexiones simuladas. En función de la superficie a analizar, también podremos realizar un análisis de las curvas isoclinas, de las curvas sección o de los mapas de curvatura.

Siempre habrá que buscar el equilibrio entre un aumento de calidad y la viabilidad económica y por tanto un rápido y veraz análisis de la superficie nos ahorrará mucho tiempo y esfuerzo.

**Palabras clave:** Metodología y técnicas: Superficies de Estilo, Ingeniería Inversa, Superficie Nurb.

### ABSTRACT

In this paper we try to analyze the quality concept in surface styling. The kind of surfaces to work with are free form surfaces and are based mainly in NURB mathematics. They are used in the first steps in product design when the visual appearance is very important as it must be commercialized (household-electrics, automobiles, etc.).



In the upper level CAD packages we can find varied tools and ways to verify the quality of the surfaces: Reflections with natural scenes, reflections with light strips and simulated reflections. Depending on the surface to analyze we can also make an analysis of the isocline curves, the cross section curves or maps of curvature.

It is always necessary to look for the balance between an increase of quality and the economic viability so a quickly and truthful analysis of the surface will save us long time and efforts.

**Key words:** Methodology and Techniques: Surface Styling, Reverse Engineering, Nurb Surface.

## 1. Introducción

Si consideramos los fabricantes más importantes de automóviles y los paquetes CAD que utilizan nos hacemos las siguientes preguntas:

¿Por qué aunque Ford y Jaguar usen esencialmente las mismas herramientas informáticas, sus coches todavía parecen tan diferentes? Lo mismo sucede si comparamos el Cadillac CTS (parecido al Opel Vectra) y el Chevy SSR (retro). Uno tiene un aspecto atractivo y el otro tiene aspecto de estar enfadado.

GM cambió de un sistema de producción de superficies (CGS) a otro (UG) en 1997. ¿Se puede decir que sus vehículos han cambiado considerablemente?

PSA ha firmado un contrato con ICEM e Isuzu está en el proceso de cambiar de ICEM a Unigraphics. ¿Sus últimos diseños son diferentes de los antiguos?

El Mazda Miata tiene buenas ventas en Europa, es bonito pero la producción de sus superficies es pésima. Los contornos y superficies de forma libre ayudan a enmascarar la calidad de la superficie, al igual que la cantidad de pulido utilizado con las herramientas y moldes.

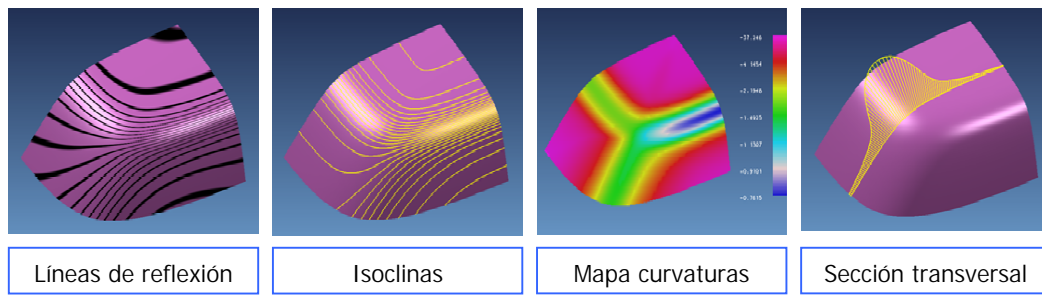
Aunque el producto final está condicionado por las herramientas y procesos de modelizado, lo que la gente desea empuja a los fabricantes: VW busca el montaje y el acabado, a la vez que se estimula la iniciativa de los artesanos de Ford. La calidad se vuelve más importante a medida que las herramientas evolucionan [9], [11], [12].

Hoy en día una de las preocupaciones principales que observamos en los diseñadores industriales es el intentar que las cosas parezcan “orgánicas” más que “mecánicas” [14].

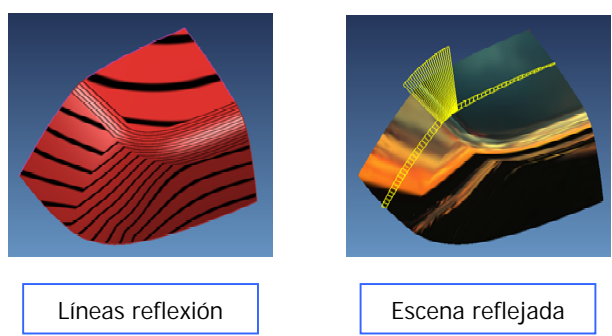
Antes cuando se trabajaba con las primeras versiones de los denominados programas paramétricos de tres dimensiones, los bordes circulares y los redondeos, tal como se generaban con los algoritmos de combinación (blending), no tenían mucho uso en aplicaciones estéticas, ya que tendían a que todo pareciera “duro” y “mecánico”. Esto es debido a los cambios bruscos en la curvatura en la frontera donde la superficie combinación se encuentra con la superficie “base”.

Un diseñador industrial moderno nunca va a aceptar este tipo de perfil. Siempre pretenderá introducir el “lead-in” o “entrada” lo cual es una transición más gradual desde las superficies lisas del bloque hasta los bordes curvados más “tirantes” [10].

Las figuras 1 y 2 nos muestran este hecho sobre una superficie. Podemos observar que la “entrada” produce una diferencia notable en los reflejos de las vías de luz en las superficies. El diseño “mecánico” produce esquinas puntiagudas en las líneas de reflexión, lo cual no es deseable. La “entrada” en el modelo “orgánico” suaviza estas esquinas, produciendo reflejos más agradables.



*Figura 1 – Curvaturas ajustadas*



*Figura 2: Curvaturas desajustadas*

Los cambios bruscos en curvatura no son deseables desde el punto de vista aerodinámico. Este tipo de consideraciones son también importantes en el diseño de los alabes de una turbina y en el barrido mediante secciones o “lofting” de elementos de aviones o barcos [3], [5].

Por último los autores queremos destacar que la presente comunicación tiene su origen dentro de un estudio del grupo de investigación que desde finales de 2002 es liderado por profesores del área de Expresión Gráfica de la Escuela de Ingenieros de Bilbao en la Universidad del País Vasco. La línea de investigación profundiza en la Ingeniería Inversa y sus posibles aplicaciones en beneficio de las Pymes de la Comunidad Autónoma Vasca. En el grupo de investigación también participa la Fundación UNITEC que es miembro de la Red Vasca de Tecnología e Innovación.

## 2. Terminología

Siempre que se habla de superficies de estilo se lleva asociada la idea de automoción y clase A. Esto es debido a que el mundo del automóvil es uno de los campos en los que más está presente el diseño. Atendiendo a la definición de superficies de clase A, se entiende el porqué de su asociación y su empleo en el sector de la automoción. En general, la necesidad de este tipo de superficies debería abarcar a todos aquellos productos en los que la visualización sea un factor importante en el diseño.

Las superficies de Estilo o Superficies de Clase A o Superficies C2 son las superficies visibles y donde la apariencia es importante. Matemáticamente hablando, estas superficies deben contar con continuidad en curvatura, y a su vez, el diseño ha de realizarse con la representación matemática más sencilla posible capaz de adaptarse a la forma deseada. Por lo tanto, no cuenta con ninguna curvatura ni ondulación indeseada [6], [7].

Se considera necesaria la clase A debido a que hoy en día, el diseño no se realiza basándose únicamente en la funcionalidad sino que los criterios estéticos se tienen muy en cuenta en el desarrollo conceptual. Ésta es la razón por la que el mercado, a igualdad de calidades y funcionalidades, se decante por un producto u otro. El hacer un producto más atractivo que otro, depende en gran medida del buen acabado superficial y éste se obtiene con la utilización de superficies de estilo.

## 3. Matemática de las Superficies

Tabla 1 – Tipos de Superficies utilizadas: Bézier y Nurb.

Superficies Bézier	Superficies NURB (Non-Uniform Rational B-spline)
Se desarrolla la formulación de las curvas en Citroën & Renault en los años 60	Se desarrolla la formulación de las curvas en los EEUU en los años 70
Un solo “parche” con una sola ecuación	Múltiples “parches”, cada uno con su ecuación.
Normalmente con “grados” altos.	Normalmente con “grados “ bajos.
Se añade libertad al añadir grados	Se añade libertad al añadir grados o parches.
“Infinitamente” suave, luego inflexible en cierta manera	Se pueden ajustar los niveles de suavidad en los parches.
Usadas en los primeros sistemas	El estándar en la industria CAD/CAM

La diferencia es mínima puesto que los dos tipos están muy relacionados. Una superficie Bézier es una superficie NURB que tiene únicamente un parche y a la

inversa una malla de superficies Bézier (apropiadamente) unidas es una superficie NURB. Ambas formas matemáticas trabajan con las mismas funciones para generación y edición de superficies [2], [8].

Otras superficies de forma libre, usadas en el pasado se pueden considerar obsoletas. Podemos encontrar los parches de “Coons” todavía usados en unos pocos sistemas aislados y las superficies Gordon, desarrolladas por GM en los años 60 [13].

#### 4. ¿Qué es mejor Bezier ó Nurb?

Lo que importa es la construcción de la superficie y las funciones de análisis, no la forma matemática subyacente. De hecho, el usuario medio no debería darse cuenta de la forma matemática que está usando.

Los sistemas basados en NURBs tienen pequeñas ventajas. Cualquier superficie Bezier es una superficie NURB, por lo tanto las NURBs son más generales. En tanto que son más generales, es más fácil importar geometría hacia un sistema basado en NURBs, y por último las NURBs son en cierto modo más flexibles. Se puede controlar el nivel de suavidad (continuidad) sin afectar a múltiples superficies.

En algunas compañías, por ejemplo, no aceptan superficies NURB (multi-parche) como superficies “clase A”. El razonamiento es que aunque la superficie esté verdaderamente “suavizada” la naturaleza del multi-parche le permite que esta se convierta en no “suave” durante la edición. Esto es cierto si la superficie tiene un grado bajo o si ésta tiene una alta multiplicidad de nudos y la superficie es editada mediante un retocado de los polos. En el otro lado, una superficie NURB de grado 5 con nudos simples tiene una continuidad C4 o mejor y es difícil de ver que ésta no sea considerada superficie de “clase A” si realmente las reflexiones son buenas.

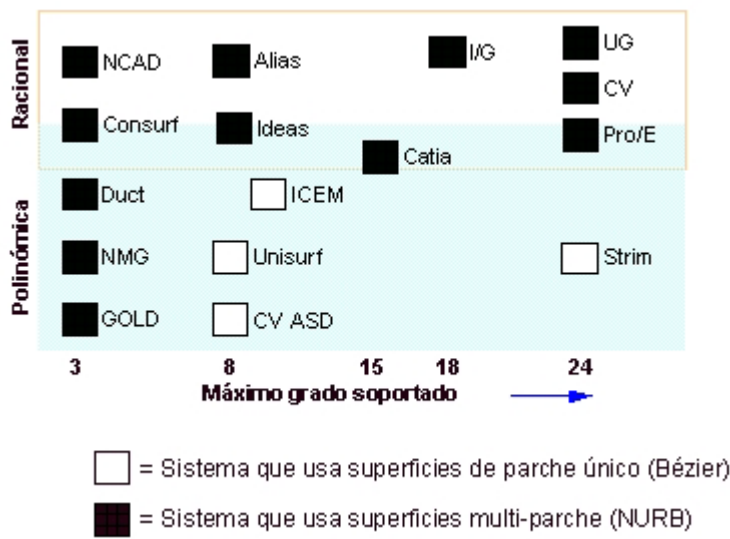


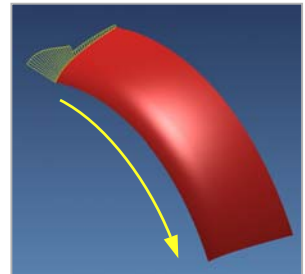
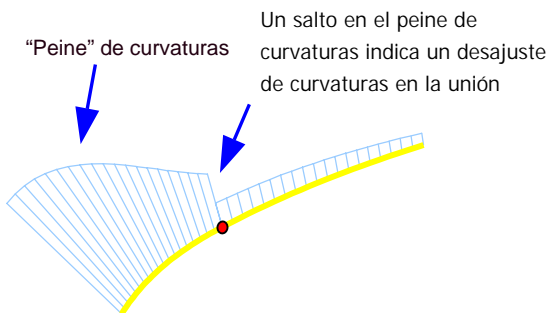
Imagen 3 – Grados soportados por los distintos sistemas

El hecho de que un programa soporte ordenes grandes en las NURBS tiene ciertos beneficios. Necesitamos al menos un grado 4 para conseguir buenos reflejos y que el sistema soporte grados mayores da al usuario una oportunidad cuando se necesita mayor flexibilidad: o bien se puede incrementar el grado o bien incrementar el número de segmentos o parches [1], [4].

El mayor beneficio del uso de grados altos es que permite importar datos desde otros sistemas sin tener que utilizar aproximaciones. Por ejemplo, la única razón para que Unigraphics NX soporte grado 24 es para importar geometría desde cualquier otro sistema sin tener que hacer aproximaciones. Eligieron 24 porque era el mayor grado soportado por otro sistema de la competencia (el sistema STRIM).

Por ejemplo, la no homogeneidad en el grado creó problemas en el proceso de diseño de Ford. ICEM es capaz de crear geometría de grado 9 mientras que Ideas sólo soporta grado 7. Por esto, la geometría de grado 9 de ICEM debe ser aproximada cuando se trae a Ideas, lo cual es una fuente de problemas [15].

## 5. Impacto de la Continuidad en las Reflexiones – Impacto de la Forma de la Curva en la Apariencia de las Superficies



*Imagen 4 – Peine de curvaturas*

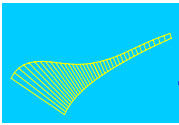
Podemos observar un perfil típico. O bien utilizamos dos curvas Bézier o bien una curva Nurb con dos segmentos.

Para comprobar la calidad de las superficies deberemos utilizar las diferentes herramientas que disponen los sistemas avanzados de CAD.

## Reflejos de Escenas Naturales

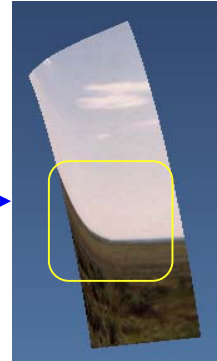
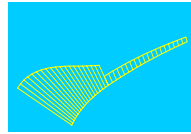
Desajuste de ángulo =  $0,0^\circ$   
No desajuste de curvatura  
Unión perfecta

Curva buena



Desajuste de ángulo =  $0,5^\circ$   
Desajuste de curvatura

Curva mala

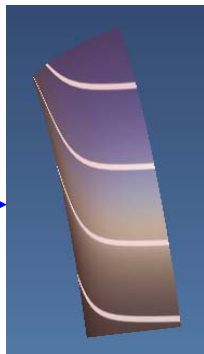
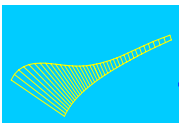


Como se puede comprobar los problemas en la superficie no son muy visibles con ambientación natural.

## Reflejos de Bandas de Luz

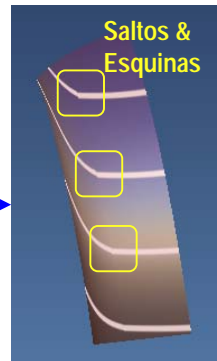
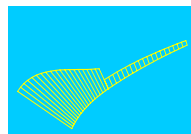
Desajuste de ángulo =  $0,0^\circ$   
No desajuste de curvatura  
Unión perfecta

Curva buena



Desajuste de ángulo =  $0,5^\circ$   
Desajuste de curvatura

Curva mala

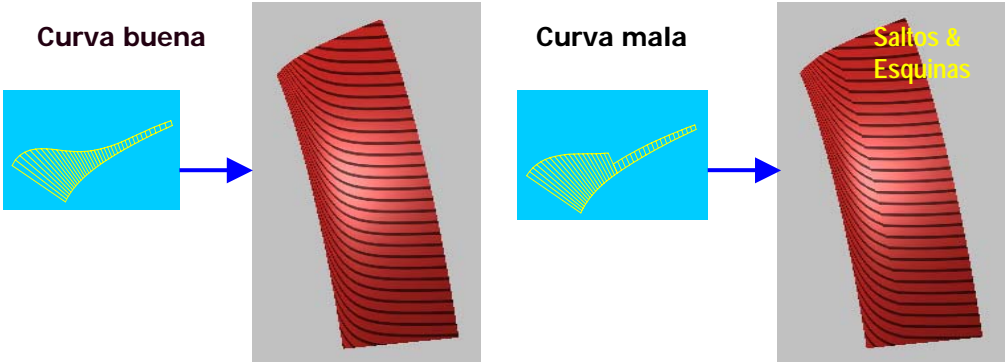


Los desajustes de ángulos producen saltos; los desajustes de curvatura esquinas.

## Reflexiones Simuladas

Desajuste de ángulo =  $0,0^\circ$   
No desajuste de curvatura  
Unión perfecta

Desajuste de ángulo =  $0,5^\circ$   
Desajuste de curvatura



Las funciones de análisis hacen los saltos y esquinas más visibles.

## 6. Consideraciones Finales

Si utilizamos correctamente las herramientas que nos proporciona el sistema para comprobar la calidad del diseño, como son los reflejos de escenas naturales, bandas de luz u otras simulaciones o directamente las curvas sección y los mapas de curvatura, e indirectamente las curvas isoclinas, podremos llegar a tener una idea “subjetiva” de la idoneidad de la superficie. El carácter, la posición, las proporciones y la distribución de “masa” son probablemente lo más importante a la hora de enjuiciar la estética de un producto de consumo.

La calidad de la superficie tiene impacto (los reflejos imprecisos no nos gustan) pero el flujo de los reflejos en general es probablemente mucho más importante. Aun así, una gran calidad de superficies no va a convertir un mal diseño en uno bueno.

Si examinamos el interior de un vehículo, el atractivo emocional depende fundamentalmente en la elección de los materiales y en menor medida en los perfiles.

La apariencia es más importante en el mercado europeo del automóvil, por lo que se enfatiza más el estilizado, sin embargo los americanos compran según el precio, seguridad, fiabilidad, utilidad.

Por tanto ¿En qué medida afectan las herramientas informáticas en el atractivo de un vehículo? El programa utilizado afecta a la calidad de la superficie (o al tiempo necesario para lograr una buena calidad), pero no está claro qué impacto tiene en la apariencia del vehículo. El nivel del programa hará que las ideas se hagan más pronto o

más tarde realidad, y si hay más tiempo para desarrollar ideas, hay más posibilidades de que algunas sean buenas.

En el proceso de diseño de muchas compañías del sector del automóvil, la mayoría del diseño real se hace con maquetas, y el ordenador es justo una herramienta para duplicar la forma de la maqueta.

Si esto es así, parece difícil ver cómo hay un impacto directo del paquete de CAD en el diseño (lo mismo que un procesador de texto no nos hace escribir mejor).

Sin embargo, en el mundo globalizado actual las diferencias en el diseño, si comparamos los mercados europeo y americano, tienden a desaparecer. Creemos que esta homogeneización está muy relacionada con las herramientas informáticas y los procesos utilizados para la creación de geometría.

## **Agradecimientos**

Los autores de la presente ponencia queremos agradecer a la Fundación UNITEC la ayuda prestada para desarrollar el proyecto de investigación sobre Ingeniería Inversa en el que se enmarca la presente comunicación.

## **Referencias**

- [1] BRUNET, P.; HOFFMANN, C.; ROLLER, D. (Eds.). *CAD Tools and Algorithms for Product Design*. Springer-Verlag, 2000.
- [2] FARIN G., *Curves and surfaces for computer aided geometric design: a practical guide*. Academic Press, 1993.
- [3] KUSIAK, Andrew. *Engineering Design. Products, Processes and Systems*. Academic Press, 1999.
- [4] LEE, Kunwoo. *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*. Addison-Wesley, 1999.
- [5] MACHOVER Carl. *The CAD/CAM handbook*. McGraw Hill, 1996.
- [6] MARSH, Duncan. *Applied Geometry for Computer Graphics and CAD*. Springer-Verlag, 1999.
- [7] MÍNGUEZ, R.; ISPIZUA, R.; RUIZ, R.; LINARES A. *State-of-the-art in Reverse Engineering in the Spanish Market*. IV Italian-Spanish Seminar on Reverse Engineering Techniques and Applications, Nápoles (Italia), 2003.
- [8] PIEGL, Les; TILLER, Wayne. *The NURBS Book (Monographs in visual communication)*. Springer-Verlag, 1997.



- [9] Web site CADence [www.cadenceweb.com](http://www.cadenceweb.com)
- [10] Web site CADsever [www.cadserver.co.uk](http://www.cadserver.co.uk)
- [11] Web site [www.conceptcar.co.uk](http://www.conceptcar.co.uk)
- [12] Web site [www.design-engine.com](http://www.design-engine.com)
- [13] Web site [www.eds.com](http://www.eds.com)
- [14] Web site [www.elsevier.com/locate/comaid](http://www.elsevier.com/locate/comaid) (Computer Aided Geometric Design)
- [15] Web site [www.icem.com](http://www.icem.com)

---

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA SECCIÓN LONGITUDINAL DE LA IGLESIA CATEDRAL DE GUADIX (GRANADA)

MARTÍNEZ RUIZ, Alfonso (1); VALDERRAMA ZAFRA, José M. (2); CASTRO  
GUZMÁN, Pedro (3)

<sup>(1)</sup>Universidad de JAÉN,  
Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos  
Correo electrónico aruiz@ujaen.es

<sup>(2)</sup>Correo electrónico:jmzafra@ujaen.es

<sup>(3)</sup>Universidad de JAÉN,  
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
Correo electrónico pjcastro@ujaen.es

### RESUMEN

El levantamiento del Conjunto Catedralicio de Guadix forma parte de un subproyecto para Andalucía y Canarias, y que pertenece al proyecto a nivel nacional de I+D titulado: “*Comportamiento de las Catedrales del Barroco al Neoclasicismo*”, dirigido por el profesor D. Pedro Galera Andreu, Catedrático de Historia del Arte de la Universidad de Jaén.

Este trabajo se ha realizado en dos etapas:

- Toma de datos, por medio de croquis acotados técnico-artísticos y técnicas de topografía clásica apoyadas en la tecnología de lectura sin prisma de reflexión, a sólidos con estaciones totales láser, lo que permitió obtener la posición de puntos en el espacio relativos a una red compensada de bases topográficas establecida a tal efecto.
- Tratamiento gráfico de gabinete, tomando como base la proyección ortogonal de los elementos de fábrica obtenidos por los medios topográficos indicados, y dibujo de los elementos ornamentales en el mismo sistema de proyección a partir de los croquis realizados y de fotografías digitales de media-alta resolución, eliminando las deformaciones por medio de algoritmos de computación gráfica.

**Palabras clave:** Diseño Asistido por Ordenador, Topografía, Arqueología Multimedia.

### ABSTRACT

The topography of the cathedral environment of guadix it's a part of a sub-project for Andalucía and Canarias, that is under a national level project of I+D title: “*Comportamiento de*

*las Catedrales del Barroco al Neoclasicismo*”, that is directed by D. Pedro Galera Andreu, University professor of History of the Art of the University of Jaén.

This work has been made in two phases:

- a) Data collection, by means of supported technical-artistic contour sketches and technical of classic topography with technology of reading, without using a reflection prism, to solids with total stations laser, which allowed obtaining the position of points in the space relative to a compensated network of topographic bases established.
- b) Graphical Treatment in office, taking as it bases the orthogonal projection of the elements of factory obtained by indicated topographic means, and drawing of the ornamentals elements in the same system of projection from the made sketches and digital photographs of upper middle resolution, eliminating the deformations by means of algorithms of graphical computation.

**Key words:** Computed Aided Design, Topography, Multimedia Archaeology.

## 1. Introducción

El Patrimonio Artístico-Monumental es un campo donde las aplicaciones gráficas y multimedia tienen en la actualidad una gran importancia para su desarrollo y expresión.

Si consideramos el papel que ha jugado la grafía en el estudio analítico y conceptual de Arte a lo largo del tiempo no descubrimos nada nuevo, pues se han empleado medios gráficos en registros planos en el Arte en toda la Historia. Pero si le añadimos los medios topográficos de última generación, nos encontramos con unas posibilidades inmensas como se está demostrando en los últimos años.

En el caso del presente trabajo el objetivo es obtener la sección longitudinal de la Catedral de Guadix para completar de esta manera el catálogo monumental de dicha institución. Este proyecto se enmarca en el subproyecto para Andalucía y Canarias que pertenece al proyecto a nivel nacional de I+D titulado: “*Comportamiento de las Catedrales del Barroco al Neoclasicismo*”, y que está dirigido por el profesor D. Pedro Galera Andreu, Catedrático de Historia del Arte de la Universidad de Jaén.

Así, nos encontramos con la realización de un levantamiento topográfico de la sección longitudinal de un edificio de grandes dimensiones. Hasta no hace mucho tiempo esta operación se venía realizando con medios tradicionales de medida, como puede ser el nivel y mira junto a la cinta métrica y el teodolito para dimensiones acimutales; estos últimos años y actualmente se vienen empleando medios en torno a la fotogrametría terrestre, como posteriormente veremos, con aparatos actualizados que permiten obtener unos resultados de gran precisión en torno a 1cm.

Pero estos sistemas dan unos datos gráficos relativos a dos dimensiones para su expresión gráfica, y lo que este trabajo aporta es un sistema que permite obtener directamente un modelo geométrico en 3D, con las posibilidades que ello comporta

para la obtención de representaciones bidimensionales y también aplicaciones en el campo virtual.

Así pues, en los capítulos que siguen se mostrará el proceso seguido para la obtención de dicho levantamiento, y cómo se han compaginado medios técnicos con medios artísticos apoyados en la previa definición geométrica de los elementos de fábrica.

La toma de datos y la representación de objetos se obtienen por topografía clásica para la obtención de la geometría tridimensional y posterior representación, así como la proyección de elementos en la sección longitudinal. Además, el sistema seguido en este caso posibilita añadirle los elementos ornamentales con exactitud, obtenidos con otros medios “traducidos” al entorno CAD y escalándolos en su justa proporción al obtenerse los huecos que circunscriben cada uno de ellos.

Esta metodología abre un gran campo en aplicaciones técnico-artística de cualquier aspecto en obras monumentales y artísticas, y que supone, en fin, una relación muy fructífera a corto y medio plazo.

## **2. Breve Reseña Histórica: La Catedral de Guadix.**

La primitiva basílica de la época visigoda, es transformada por los musulmanes en mezquita. Según Jerónimo Münzer en su viaje por España y Portugal realizado entre 1494 y 1495, dice: *“La mezquita, que es hexágona, tiene sesenta columnas exentas y en el centro un lindo jardín para las abluciones, según la costumbre mora”*.

El Cardenal D. Pedro González de Mendoza es autorizado por los Reyes Católicos a organizar la Iglesia en Guadix y Baza. Según la Bula que firmó en la Alhambra el 21 de mayo de 1492 *“erigiendo en catedral la iglesia de Guadix y en colegial a la iglesia Mayor de Baza”*. Por otro lado se *“erigieron iglesias parroquiales, fundándolas en las mezquitas que tenían los moros”* como se venía realizando desde las conquistas de Fernando III.

La mezquita se reformó y adaptó al gusto gótico, al parecer sólo se aprovechó la cimentación y la distribución de pilares de la mezquita; así se convirtió en un edificio de tres naves.

Este templo cuya traza era de estilo gótico tardío, los transformó Diego de Siloé al nuevo gusto “a lo romano”, pues hacia 1549 se le pagan 20 ducados por los días que ocupó en la traza de la Iglesia. A partir de esta reforma, aparecieron los problemas económicos y se pararon las obras; en la interrupción sufrida las trazas de Siloé se perdieron.

La situación creada, y su continuación en el siglo siguiente, demuestran que existieron problemas políticos y económicos por la guerra de sucesión, entre otras razones. Ya, con los Borbones en el trono y por el apoyo prestado por el Cabildo a su causa, en 1713 se ordena la concesión de diezmos para la continuación de la obras.

Así, es llamado en 1714 el maestro mayor de la Catedral de Jaén, Blas Antonio Delgado y realiza la traza del interior y exterior, plasmando la asimilación del renacimiento que Andrés de Vandelvira proyectara en Jaén. Posteriormente intervienen diferentes maestros, como Vicente Acero incorporado en este último año, que continua con lo propuesto por Delgado, y el interior va adquiriendo formas renacentistas aunque se aprovechan parte de los materiales de la iglesia gótica, como se puede apreciar fácilmente en elementos constructivos y sobre todo en algunos fustes situados en la parte oculta del coro.

Y ya, de 1754 a 1760, Acero que sustituyó a Delgado, vuelve por segunda vez y dará las trazas definitivas de la fachada en los aspectos estructurales, siendo la decoración y detalles de Pechote y Cayón respectivamente. HENARES (1981)



**Figura 1:** *Vista de la S. I. Catedral de Guadix desde la Alcazaba*

### **3. Antecedentes.**

Es indudable la proliferación de actuaciones aplicando medios y métodos de la Ingeniería Gráfica para realizar investigaciones en diferentes aspectos, o poner en valor el patrimonio artístico-monumental de nuestros pueblos y ciudades, utilizando una documentación gráfica creada al efecto. Por ello, son numerosos los trabajos realizados mediante distintas técnicas topográficas para obtener los datos geométricos exactos de distintos conjuntos arquitectónicos de interés patrimonial, cultural e histórico.

Tradicionalmente este tipo de actuaciones se han desarrollado con una metodología principalmente artística. En la actualidad se demanda, además, una exactitud en las medidas de los elementos representados, lo cual se consigue con los avances técnicos aplicados en los medios instrumentales.

Así tenemos, entre otros, el levantamiento topográfico de la Casa Torre de Mártioda (Álava) realizado en 1998 por un equipo multidisciplinar de la UPV, o el trabajo titulado “Documentación Fotogramétrica de la Catedral de Burgos”, realizado en 2002 por el Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría – Expresión Gráfica de la UPM.

Asimismo, dependiendo de las necesidades, características y la propia configuración del entorno y del propio equipo de trabajo, se pueden plantear diferentes metodologías para abordar este tipo de trabajos desde el punto de vista topográfico. A pesar de que en numerosas ocasiones se ha empleado la técnica de bisección angular, como es el caso del estudio geométrico de la cúpula del Sagrario de la Catedral de Jaén (Mesa y Ruiz, 1993). La forma más comúnmente utilizada para abordar este tipo de trabajos ha sido el uso de técnicas de fotogrametría terrestre, como los trabajos de documentación de la Capilla de El Salvador de Úbeda (Jaén) (Jiménez, 1998), el estudio de la plaza monumental de Tembleque (Toledo) (Martínez, 1999) o la cartografía del Palacio de Jabalquinto (Jaén) (Avilés, 1998).

Aunque son indudables las ventajas de esta técnica, ya que reduce considerablemente los trabajos de campo, obtiene precisiones más que suficientes y permite la obtención de distintos productos derivados, aparte de la propia topografía del levantamiento, como las ortofotografías o los entornos de realidad virtual con la textura de las propias imágenes geoméricamente proyectadas; pero también presenta inconvenientes a veces de difícil solución, el mayor de ellos es la imposibilidad de realizar las fotografías de determinadas zonas atendiendo a los requisitos de la propia técnica.

Por otro lado, desde la aplicación de la tecnología láser en el campo de la topografía, y el avance que supone la medición directa a elementos sólidos sin necesidad de prisma reflector, se abre una nueva vía de trabajo como alternativa a la fotogrametría terrestre (Alonso et al., 2002), evidentemente con sus ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas podemos destacar que es un método directo de obtención de datos geométricos de los elementos, ya que los trabajos posteriores a la lectura de los datos son mínimos. También presenta gran precisión y, combinado con técnicas de toma de datos tradicionales, acceden a cualquier tipo de elemento.

Es preciso aclarar que son de gran complejidad los trabajos de campo y requieren de un riguroso orden en la toma de los datos, así como una gran claridad de ideas en cuanto a lo que se necesita definir y como se va a definir, porque de lo contrario no será posible interpretarlo posteriormente en gabinete.

En cualquier caso estas técnicas topográficas son el apoyo del posterior dibujo técnico-artístico de aquellos elementos ornamentales de complicada definición geométrica.



Así mismo se decidió representar la parte derecha del templo (entrando por la portada principal), por ser la más representativa al incluir el órgano y la entrada al Sagrario.

En esta primera visita y dada la metodología a utilizar que nos obliga a implantar una red de bases de toma de datos tanto interior como exterior al edificio, se aprovechó para estudiar la posible localización de los puntos de la red, en función del campo de visión para la toma de datos, y de la inevitable intervisibilidad entre ellas, al menos desde cada punto de estacionamiento con el anterior y el posterior.

También se estudió la organización de los trabajos dividiendo el templo en partes coincidentes con los intercolumnios; de esta manera se relaciona la representación de la fábrica con arreglo a los diferentes motivos ornamentales específicos según sea su estilo o época.

Con respecto a la toma de datos de la ornamentación, se comprobó que era necesaria la realización de fotografías generales de zonas más o menos amplias como apoyo al trabajo de gabinete.

## **4.2 Medios utilizados.**

### Instrumental fotográfico y de medición:

- Cámara Digital *Epson PhotoPC 3100Z*. Resolución de 4.8 Mega Píxel.
- Distanciómetro *Intrac, Modelo Aisto*: para la toma de medidas in situ.

### Software:

- *Autocad 2000*: utilizado como herramienta de dibujo bidimensional.
- *Microstation J*
- Letop Dra

### Topografía

- Estación total *Leica TCR 705*. Precisión angular  $15^{\circ}$ , en distancia  $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ )

## **4.3 Orden de operaciones.**

En el reparto de tareas se concluyó que en la fase de toma de datos se trabajara de manera simultánea, tanto en la topografía como en la croquización del mobiliario y ornamentación al ser diferentes los componentes del equipo en estas dos funciones.

Así, con arreglo al estudio previo, se propuso el siguiente orden de operaciones:

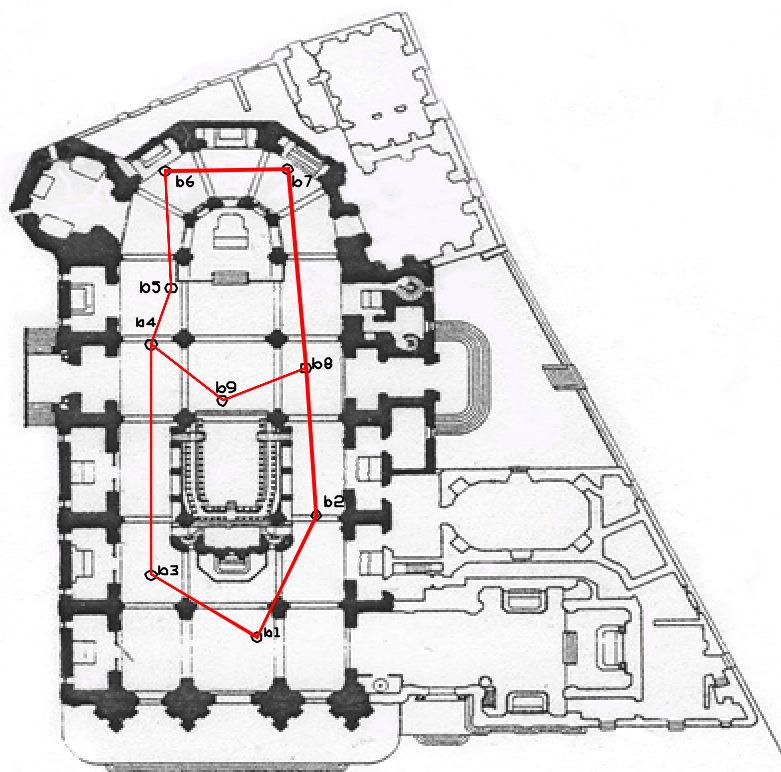
1. Establecimiento y cálculo de la Red de Bases (interior) / Croquizado artístico-técnico (Figura 2) de la ornamentación comenzando por lo pies del Templo, y toma de fotografías de los pórticos de la nave derecha y central.



2. Establecimiento de los códigos para la toma de puntos con la estación total directamente a sólido / Continuación de la croquización.
3. Planteamiento en planta de la línea perimetral / Fotografías de la situación de la bases, y continuación de la croquización.
4. Toma de datos por medio de la determinación de coordenadas de puntos con sus códigos / Croquización acotada de los elementos de la Sillería Coral y fotografías de la misma.
5. Continuación de la toma de puntos / Croquizado artístico-técnico del órgano.
6. Toma de datos desde las bases establecidas en el exterior / Fotografías de la situación de la bases del exterior, y fotografías de la fachada principal desde la puerta central (tomando el perfil).
7. Trabajo de gabinete. Recopilación de datos topográficos según códigos / Dibujo en CAD de la ornamentación sin escalar.
8. Paso a proyección ortogonal de las geometrías definidas en la topografía / Dibujo y encaje a escala de los elementos ornamentales según los datos anteriores.

## **5. Establecimiento, observación y cálculo de la Red de Bases.**

El establecimiento de la posición de las bases que configuraron la red principal de apoyo se realizó en función de la necesaria intervisibilidad entre ellas, procurando que el campo de visión para la toma de datos fuera lo más generoso posible y, por supuesto, en función de que la geometría de la red resultante cumpla con los requisitos necesarios para que su compensación esté dentro del rango tolerable de error, vigilando para ello parámetros como la distancia media entre bases y los ángulos que se forman interiormente. Así, fueron necesarias 8 bases para la obtención de los datos de las diferentes naves de la Catedral y una novena base para los detalles del coro.



### *C. Guadix*

*Figura 3.- Esquema de la red de apoyo.*

Hubo de considerar también una red exterior de bases que se uniría con la interior a través de la puerta principal. Esta red exterior es necesaria para la definición exterior de la sección y la toma de datos de la cubierta, presentando esta última fase gran complejidad debido a lo que en principio parecía difícil de definir por no tener definido desde donde tomar los datos. Finalmente se consiguió acceder a la torre del campanario desde donde se divisa toda la cubierta.

En cuanto a la necesaria materialización física de las bases se optó, en el caso de la red interior, por pintar unas marcas en el suelo, ya que instalar clavos en el interior no nos estaba permitido. Esto nos obligaría a repasar de forma continuada la pintura de las marcas o corríamos el peligro de perderlas entre sesiones. También tuvimos que utilizar soportes metálicos en forma de estrella para garantizar la estabilidad del trípode durante la toma de datos, ya que el mármol del suelo de la catedral condicionaba, de forma importante, el estacionamiento. Para el exterior no hubo problema en utilizar clavos que garantizaran su permanencia.



**Figura 4:** Estacionamiento en la base  
B1

Las bases de la red de apoyo fueron perfectamente reseñadas y fotografiadas para su posterior localización.

El aparato utilizado es una estación total Leica TCR 705. Se trata de un aparato muy práctico y versátil que aporta una gran precisión, tanto angular ( $15''$ ) como en distancia ( $\pm 2 \text{ mm.} + 2 \text{ ppm}$ ). El método de observación empleado, “Moinot”, permite obtener una gran precisión en la determinación de las coordenadas de las bases.

En cuanto al cálculo y compensación de la red se utilizó el software topográfico Letop, consiguiendo un error de cierre planimétrico de  $\pm 3 \text{ mm}$  y altimétrico de  $\pm 1 \text{ mm}$  para las bases de la poligonal principal. Teniendo esto en cuenta, y contemplando también la precisión del instrumento y las pequeñas distancias de observación, se llega a la conclusión de que la posición de cada punto está determinada con un error inferior a  $15 \text{ mm}$ , más que suficiente para la escala de dibujo.

## **6. Levantamiento topográfico**

A partir de las distintas bases establecidas, se planificaron las tomas de los datos necesarios para definir tanto el perímetro en planta de la zona proyectada, como de los elementos de fábrica que posteriormente servirían para el dibujo de los elementos ornamentales. Como ya se ha comentado anteriormente la metodología a utilizar es la topografía clásica midiéndose los correspondientes puntos desde las estaciones con el uso de una estación total, capaz de medir mediante láser a elementos sólidos.

En una primera fase de la toma de datos se realizó el levantamiento de toda la planimetría que define el perímetro de planta de la catedral en cuya proyección estábamos trabajando. Esto era necesario no sólo como elemento fundamental del perfil, sino como base de los levantamientos tridimensionales posteriores; para esta fase se utilizó el mismo equipamiento pero sin necesidad de lectura a sólido, sino por medio de prisma.

Posteriormente, se pasó a la toma de todos los puntos de los elementos de fábrica, que según hemos comentado antes se realizó midiendo a sólido. En esta fase se decidió experimentar con dos tipos de estaciones. a) Se comenzó con una estación robótica con la que se puede programar la zona a medir y el intervalo de la malla de puntos y automáticamente realiza el trabajo. b) En el otro caso, es el operador el que apunta, decidiendo éste los puntos a tomar y empleando el criterio de códigos propuesto.

El inconveniente del uso de la estación robótica es que el resultado es una malla de puntos de difícil interpretación, de manera que para obtener un resultado fácil de interpretar habría que tomar los puntos con un intervalo muy pequeño y tratar la información como un modelo digital, para poder definirlo posteriormente como una superficie mediante técnicas de renderización, con el agravante de que a veces la triangulación de la pieza no se puede realizar teniendo como plano de referencia el horizontal o uno paralelo (para el que están diseñados la mayoría de los algoritmos de triangulación).

Del tratamiento de los datos obtenidos con las observaciones de campo se obtiene la posición de un punto en el espacio tridimensional. Acompañaremos esta información de posición con otra que nos permita identificar tanto el tipo de elemento al que pertenece el punto, como el comportamiento gráfico del mismo dentro de una determinada geometría.

Estos datos que acompaña a la información de la posición del punto son realmente importantes por varios razones:

1. En primer lugar, permiten identificar el elemento que estamos definiendo dentro de un conjunto de posiciones, esto lo conseguiremos asignando un código a cada tipo de elemento.
2. En segundo lugar, reduciremos el número de puntos a tomar en campo, ya que lo que se toma son los puntos mínimos que posteriormente nos permitan definir la geometría del elemento. Esta geometría se consigue definir utilizando unos códigos de control que indican cómo se ha de comportar gráficamente el elemento (puntual, lineal o superficial) que pasa por esa determinada ubicación
3. En tercer lugar, este sistema de códigos ayuda a organizar de una forma lógica la toma de datos de campo, lo cual es indispensable para el posterior tratamiento gráfico de la información de forma semiautomática, máxime en este tipo de trabajos donde se recogen miles de posiciones que después deben de interpretarse gráficamente en espacios tridimensionales.

Establecida la tabla de códigos a usar en campo se realizan los levantamientos de los distintos elementos.

Estos datos se tratan en gabinete y obtenemos un listado de puntos con sus correspondientes coordenadas y códigos. Debido a la magnitud del trabajo a desarrollar y, sobre todo, al nivel de detalle con el que trabajamos, se obtuvieron más de 10700 puntos definitorios de elementos característicos del alzado de la Catedral.

Punto	X	Y	Z	Código
b1	999.998	5000.002	500.006	500
b8	1004.718	5028.973	500.023	500
1	1003.855	5006.909	500.04	10 ST TMPL pc
2	1003.873	5006.91	500.169	11 ST
3	1003.895	5006.88	500.197	12 st
4	1003.922	5006.872	500.353	13 st
5	1003.9	5006.872	500.385	14 st
6	1003.926	5006.863	500.403	15 st
7	1003.939	5006.841	500.425	16 st
8	1003.923	5006.802	500.44	17 st
9	1003.932	5006.788	500.462	18 st
14	1003.527	5006.709	500.042	10
15	1003.386	5006.428	500.037	10

*Figura 5.- Listado de puntos.*

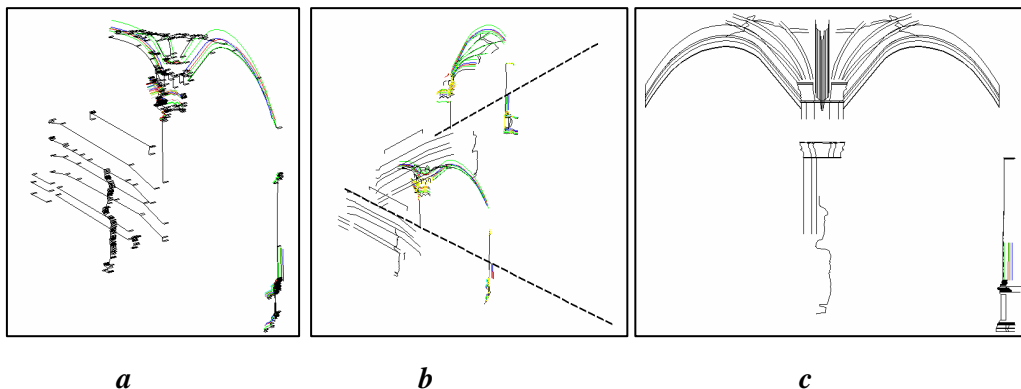
Este fichero lo introduciremos en un software que, de manera automática, represente las distintas posiciones en el espacio y genere las geometrías en función de los códigos y códigos de control que acompañan a los puntos.

Posteriormente, y dado que es grande la complejidad del trabajo, el programa genera figuras parciales que requieren de un tratamiento gráfico en un entorno CAD para depurarlas y definir las. Por lo tanto se crea un fichero de intercambio a CAD y, en este caso, se incorpora al entorno CAD de Microstation.

Se trabaja sobre él en tres dimensiones, y una vez terminado el elemento tridimensional, y dado que lo que se quiere es una proyección de la sección longitudinal, se tendrá que proyectar sobre uno de los planos del diedro. Previo a esta operación, hay que identificar los elementos que quedarán vistos y los que quedaran ocultos, para lo cual asignan colores en función de estos criterios para que cuando se proyecten se puedan identificar.

A partir de aquí se sigue un proceso que consiste en girar y abatir los elementos que hemos procesado, para lo cual se utiliza un fichero de referencia en el que se han definido gráficamente estos giros (Figura 6).

Por fin, sobre estos ficheros, ya bidimensionales, se trabaja la parte ornamental del levantamiento.



**Figura 6:** a) Datos crudos en 3D con sus Códigos. b) Dibujo girado para proyectar. c) Rectificado para pasar a trabajar sobre él la parte artística.

## 7. Elementos ornamentales.

### 7.1 Toma de Datos

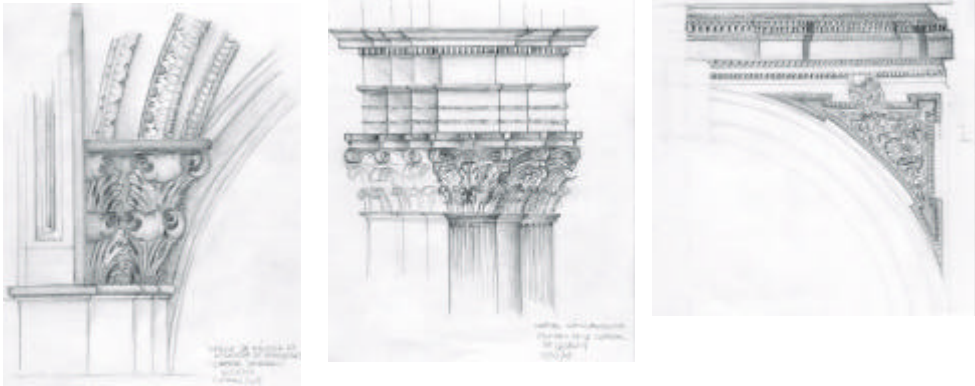
La toma de datos y el análisis y representación de la ornamentación se ha realizado por medio de croquis técnico-artísticos acotados por un lado, reflejando los elementos de detalle y los rasgos mas definitorios en su aspecto formal, y por otro con fotografías digitales como complemento a los anterior pues resultan de gran ayuda para la ubicación de componentes y concreción de detalles.

Es evidente que estos croquis serán determinantes para la confección de los dibujos en CAD, pero no sólo por las dimensiones que definen, sino porque suponen un análisis pormenorizado de qué es conveniente representar en el resultado, considerando la escala a la que se puede reproducir para la divulgación, y sobre todo, como parte del proceso de investigación (Figura 7).

En efecto, como anteriormente se ha afirmado, este proceso de dibujo es idóneo para el estudio de detalles constructivos y de otra índole que formen parte de obras de arte no transportables como monumentos y construcciones, pues frente a la fotografía como medio gráfico en la que no se aprecian las formas de manera inequívoca, en el dibujo sí se aprecian al sustituir la mancha por la línea.

Así mismo la metodología empleada en este proyecto, permite definir la forma de los elementos ornamentales de manera prácticamente exacta al contar previamente con la definición del perímetro, puntos y/o líneas importantes de éstos por medios

topográficos pues, como se ha visto, las deformaciones producidas por la perspectiva se rectifican automáticamente en el paso a la proyección diédrica. (Figura 8)



*a*

*b*

*c*

**Figura 7.** Croquis de: a) ménsula; b) fustes-capiteles-entablamentos  
c) pechina del crucero

## 7.2 Trabajo de Gabinete.

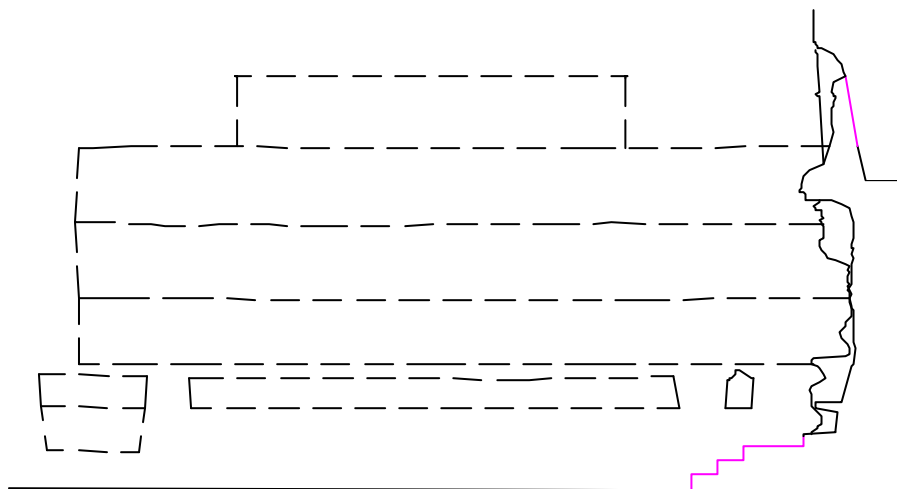
Partiendo de los croquis realizados, se construyen los elementos de la ornamentación utilizando en el dibujo la orden “Spline” sobre el esquema de la forma, o sea, la figura simple que circunscribe o inscribe a la ornamental. En este caso el dibujo es estimativo en el interior, pero puede ser exacto en su contorno, y por tanto en la relación con los elementos constructivos que lo soportan.

Una vez definida topográficamente la parte de fábrica que se ha obtenido como fichero CAD, se insertan los dibujos de la ornamentación en los recintos reservados para cada uno de ellos. Hay que aclarar que en esta fase la apreciación del autor en proporciones y formas es importante, no sólo por el resultado estético que resulte, sino para discernir las líneas definitorias que hay que potenciar en los dibujos “a pulso” para que se aprecien a una escala razonable.

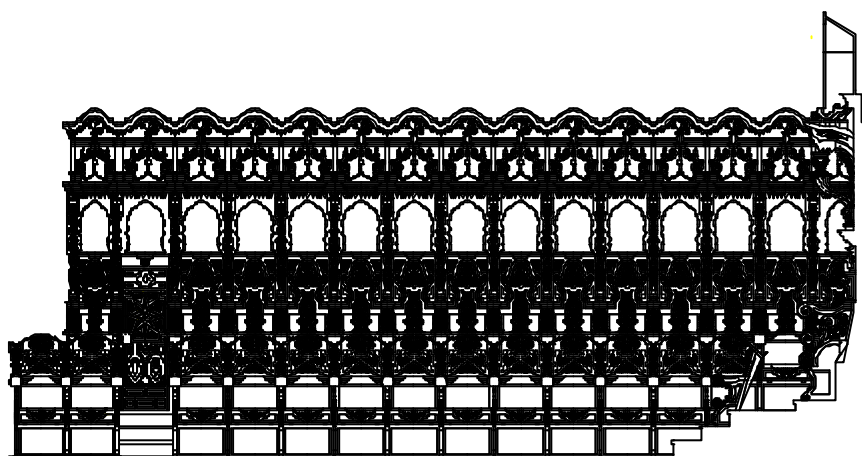
También hay que precisar que al disponer de los dibujos obtenidos por topografía, es necesario ajustar en unos casos y suprimir en otros las líneas que genera el programa de la estación total utilizada en la representación de los puntos no accesibles por el láser.

## 8. Resultados.

Los resultados que hasta la fecha se han obtenido se refieren a la representación completa de los pies del templo hasta el transepto o crucero, y la capilla de la girola adjunta a la capilla mayor.



*a*



*b*

**Figura 8:** a) Fichero topográfico de la Sillería del Coro; b) Resultado

Queda por definir el presbiterio, la girola y el crucero. En la Figura 8 se pueden apreciar la sillería del coro concluida.



## 9. Agradecimientos.

El equipo de investigación de este trabajo agradecen sinceramente al Cabildo de la S. I. Catedral de Guadix el permitir que se realizara, sobre todo al Deán D. Manuel Ruiz Ariza por su ayuda en todo lo que se le ha requerido, y al empleado Antonio por la amabilidad y consideración con que nos ha tratado en toda la toma de datos, facilitando el acceso al coro, sillería, torre, etc.

Así mismo agradecemos al profesor Galera Andreu el que nos ofreciera este trabajo, su ayuda en todo momento y la tolerancia con que nos ha tratado.

## 10. Bibliografía.

ALONSO, M.; LÓPEZ, A.; FARJAS, M.; AYORA, F. *Levantamiento de la cúpula de la Basílica del Monasterio de San Lorenzo de el Escorial*. Revista “Topografía y Cartografía”, 2002.

AVILÉS M. *Levantamiento fotogramétrico de la fachada del Palacio de Jabalquinto (Jaén)*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Jaén, 1999.

FERNÁNDEZ SEGURA, Francisco. *Historia de la Diócesis de Guadix*. <http://www.diocesisdeguaixbaza.org/historia.htm>. 2002

HENARES CUELLAR, Ignacio. *Granada (provincia)*; tomo II. Edit. Andalucía. Granada, 1981. pp. 561 – 569

JIMÉNEZ, M.A. *Levantamiento fotogramétrico de la Capilla de El Salvador de Úbeda (Jaén)*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Jaén, 1998.

MARTÍNEZ J. *Estudio de deformaciones y movimientos del pórtico de la plaza monumental de Tembleque (Toledo)*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Jaén, 1999.

MESA, J.L.; RUIZ, A.M. *Estudio geométrico de la cúpula del Sagrario de la S. I. Catedral de Jaén*. Revista “Topografía y Cartografía”, 1993.

SALINAS GONZÁLEZ, F. J.; VELILLA LUCINI M. C.; *Documentación Fotogramétrica de la Catedral de Burgos*. [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-egeo.asp?id\\_articulo=168](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-egeo.asp?id_articulo=168). 2002

### PROCESO DE DISEÑO INDUSTRIAL DENTRO DEL CONTEXTO DEL DESARROLLO DE PRODUCTO

TRESSERRAS PICAS, Josep; VERDAGUER PUJADES, Narcís;  
ESPINACH ORUS, Xavier; JULIÁN PÉREZ, Fernando

Departamento de organización, gestión empresarial y diseño de producto  
Unidad departamental de expresión gráfica en la ingeniería  
Escuela Politécnica Superior      Universitat de Girona.  
[jose.tresserras@udg.es](mailto:jose.tresserras@udg.es)

#### 1.- Introducción.

En el planteamiento y materialización de una idea en un producto es necesario estructurar un proceso concreto de desarrollo, en el que intervendrán diferentes profesionales y departamentos de las empresas, quienes realizarán diferentes actividades que en mayor o menor grado estarán relacionadas. Las áreas con más protagonismo serán las de *Marketing*, Ingeniería y Diseño Industrial. Asimismo intervendrán otros actores, normalmente con menor intensidad, como son las áreas de Compras, de Fabricación, Calidad, Logística, Financiera, así como, proveedores y clientes. Todo ello dentro de un contexto de interrelación propio de la Ingeniería Concurrente.

Dentro del proceso de desarrollo de productos aparece el proceso de diseño industrial que tiene carácter independiente, pero está integrado dentro de la globalidad del desarrollo y generación de productos. No podemos aislar el proceso de diseño industrial, puesto que realmente es un medio, y no un fin, dentro del contexto del desarrollo de productos. Este proceso tiene como finalidad presentar al mercado productos diferenciados, que incorporen valor que sea apreciado por los clientes/usuarios, y en consecuencia, se generen ventajas competitivas.

#### 2.- El proceso de diseño.

##### 2.1.- Características generales.

El proceso de diseño industrial tiene una estructura general que puede ser utilizada para todo tipo de producto, no obstante, tendrá diferencias apreciables en relación con los siguientes factores:

El proceso de diseño industrial incorpora diferentes procedimientos, justificación, aplicación de metodologías y técnicas concretas, basadas en la aplicación de planteamientos teóricos y empíricos, así como, con la reflexión en relación a la casuística propia de la actividad profesional específica.

El proceso tiene un carácter iterativo y heurístico, presentándose de forma secuencial. Este planteamiento está cambiando aproximadamente desde hace una década, en consecuencia de la incorporación de nuevas tecnologías aplicadas, la evolución de la informática gráfica, y de la competencia estratégica. Esta situación ha provocado la introducción de planteamientos de ingeniería simultánea que permiten efectuar actividades en paralelo en vez de en serie, y en consecuencia reducen el tiempo invertido en el desarrollo y disminuyen la incertidumbre y el riesgo. Asimismo, se promueve una comunicación más fluida entre los agentes implicados en el proceso.

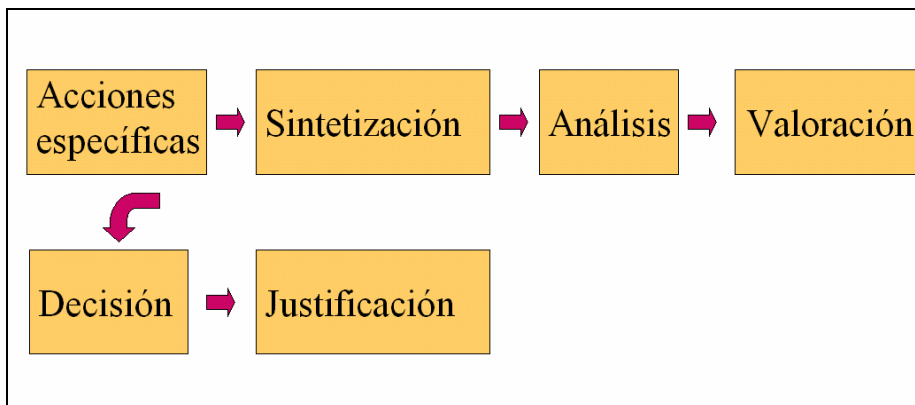
## 2.2.- Fases del proceso.

El proceso de diseño industrial se dividirá en diferentes fases encadenadas, al final de cada una de ellas núcleos de decisión donde convergen todas las acciones efectuadas. Se presentan de todas formas acciones no secuenciales entre intermedias.

El proceso se estructura en fases que con carácter general se presentaran de la siguiente manera.

- A.- Fase de Información y análisis.
- B.- Fase de Conceptualización / Alternativas.
- C.- Fase de desarrollo de la Alternativa.
- D.- Fase de Industrialización y Lanzamiento.

En todas ellas se planteará un procedimiento que consta de las actividades mostradas en la figura 1.



**Figura 1.** Procedimiento de decisión propio de las fases del proceso de diseño

### **2.2.1.-Fase de Información y Análisis.**

En esta fase inicial se estudiarán diferentes aspectos relacionados con:

- ❑ Los antecedentes del producto propio y de la competencia.
- ❑ Estudio de mercado analizando tendencias, segmentos, gama y posición.
- ❑ Estudio formal y funcional.
- ❑ Análisis ergonómico con un énfasis especial en la antropometría y la relación con la biomecánica.
- ❑ Análisis de uso.
- ❑ Soluciones de QFD.
- ❑ Recogida de información de consumidores, centros de investigación, ferias y congresos.

Al final de la fase se emitirá un informe de conclusiones donde se orientará la realización de diseño de producto en la fases posteriores, definiendo planteamientos que serán referentes.

### **2.2.2.- Fase de Conceptualización / Alternativas.**

Durante esta fase se configurarán, con carácter general, los posibles conceptos en respuesta a los requerimientos explicitados en la especificación y a sus posibles alternativas. Se desarrollaran un mínimo de dos y un máximo de cinco alternativas.

Se estudiarán los requerimientos de diseño; estéticos, de forma y funcionalidad, ergonomía, uso, conjuntamente con los aspectos de comunicación y los símbolos.

Las actividades propias de este estadio son:

- ❑ Actividades creativas utilizando bocetaje, maquetado y modelado.
- ❑ Definiciones volumétricas mediante diferentes soluciones CAS/CAD.
- ❑ Realización de documentación técnica de apoyo.
- ❑ Estudios ergonómicos y de uso específicos.
- ❑ Análisis simbólicos y de tendencias.

En el último estadio de la fase se acordará el concepto y alternativa elegida como recomendaciones o sugerencias planteadas como puntos de referencia para el inicio de la siguiente fase.

Como soportes de apoyo a la propuesta de alternativas se utilizarán:

- ❑ Modelos formales.
- ❑ Bocetos generales y de detalle (*renderings*).
- ❑ Modelizados 3D.
- ❑ Planos técnicos de conjunto orientativos (medidas generales).

volúmenes necesarios para la ubicación de elementos técnicos internos, así como sistemas de sujeción y ensamblaje.

Como apoyo se realizan:

- ❑ Modelos formales y funcionales.
- ❑ Definiciones volumétricas mediante programas de modelados 3D.
- ❑ Estudios CAD/CAE para asegurar las geometrías en base a los requerimientos.
- ❑ Documentación técnica definitiva con carácter provisional.

Al final de la fase se estudiarán los resultados y se contrastará toda la documentación con Ingeniería de Producto para evitar disfunciones en los aspectos en los que está interrelacionada con el diseño industrial.

Como punto final a esta fase debe estar totalmente concretada la alternativa para pasar a la última fase.

#### **2.2.4.- Fase de Industrialización.**

En esta fase las actividad de diseño se reduce a las posibles modificaciones causadas por la dificultad en la industrialización, producida por; los materiales, procesos y las partes y componentes del producto. Se tendrán en cuenta los resultados de las pruebas de laboratorio, ensayos, análisis de mercado focalizados en grupos de usuarios. No se puede olvidar la valoración de la serie 0 y de la pre-serie.

Estas modificaciones serán consecuencia de los análisis de la documentación especial de la validación de los prototipos, sean convencionales, *rapid prototyping*, modelos funcionales.

Asimismo, durante esta fase puede desarrollarse el envase o *packaging* y los procedimientos de instrucciones.

Los soportes de apoyo a esta última fase son:

- ❑ Prototipos, *rapid prototyping* o modelos funcionales.
- ❑ Documentación técnica definitiva (*as build*).
- ❑ Ensayos de laboratorio y test de mercado.
- ❑ Visualización y modelado 3D definitivos.
- ❑ Resultados de los ensayos de calidad i fiabilidad.
- ❑ Análisis de calidad percibida y carácter del diseño.

El proceso descrito es base general que puede sufrir variaciones, según la tipo de producto, pero que, por regla general, todos los productos seguirán la estructura de complejidad.

Es imprescindible, antes de dar comienzo a la definición del diseño estudiar con profundidad el concepto de producto desde la visión del *marketing*, las especificaciones básicas y la fase inicial de información y análisis, como referente que permita iniciar el proceso con mayores garantías de éxito evitando las incertidumbres y el fracaso. Siempre que sea posible se tratará de conseguir una primera fase con la máxima amplitud y alcance.



**Figura 2.** Proceso de diseño de una lijadora.

## Referencias

- [BURDEK,94] historia, teoría y práctica del diseño industrial. *Bernhard E. Bürdek* .Gustavo Gili. Barcelona. 1994
- [IVANÉZ,00] La gestión del diseño en la empresa. Mc. Graw-Hill. Madrid. 2000.
- [QUARANTE.92.1] Diseño Industrial 1, *Danielle Quarante*, CEAC. Barcelona. 2003.
- [QUARANTE.92.2] Diseño Industrial 2, *Danielle Quarante*, CEAC. Barcelona. 2003.
- [MALDONADO,93] El diseño Industrial reconsiderado, *Tomás maldonado*, Gustavo Gili. Barcelona. 1993.

---

**LAS MAQUETAS Y LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES COMO  
AUXILIARES DIDACTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA  
TOPOGRAFIA Y EL RIEGO.**

PAZ GÓMEZ, Oscar (1); MÁRQUEZ GURRI, Raimundo (2);  
BROWN MANRIQUEZ, Oscar (3); SEMIONOVNA BABIY, Larisa (4)

<sup>(1)</sup>Universidad de Ciego de Avila, Cuba  
Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos  
Correo electrónico: opaz @ingeniería. unica. cu

**RESUMEN**

Las maquetas constituyen excelentes medios didácticos para la enseñanza de diferente disciplinas y asignaturas técnicas, pues nos brindan una representación muy aproximada a la realidad objetiva, pudiéndose hacer sus representaciones a través de planos y en un ordenador como elemento simulador a través de su representación en modelos tridimensionales del terreno, los cuales ofrecen la posibilidad de llevarnos a través del empleo de novedosas tecnologías que nos permiten adentrarnos en el amplio mundo de la informatización de la ciencia (Pérez,López y González,1998).En el presente trabajo damos a conocer la utilización de las maquetas en la enseñanza de la Topografía y el Riego con el empleo de ambas técnicas.

**Palabras clave:** Maqueta, modelos tridimensionales, Topografía, Riego

**ABSTRACT**

The scale models constitute excellent didactic means for the teaching of different disciplines and technical subjects, because they offer us a very approximate representation to the objective reality, being able to make their representations through planes and in a computer like element shammer through their representation in three-dimensional models of the land, which offer the possibility to take us through the employment of novel technologies that you/they allow to go into in the wide world of the informatización of the science. Presently work gives to know the use of the scale models in the teaching of the Topography and the Watering with the employment of both techniques.

**Key words:** Scale model, Three-dimensional models, Topography, Watering.

## **Introducción**

### **y uso práctico.**

La superficie de la tierra ofrece los más variados aspectos de difícil clasificación, representación e interpretación. Conocer el relieve del terreno es de vital importancia no sólo para ejecutar cualquier obra de ingeniería, sino también en muchas otras ramas de la ciencia. Muchos de los problemas que en la práctica debe resolver el ingeniero agrónomo (Gómez y Aparicio, 1989), tales como los cultivos, en contornos, sistemas de riego y drenaje, etc. tienen íntima relación con el conocimiento que posee de las formas del terreno. El arquitecto necesita conocer el relieve del terreno para ubicar el lugar adecuado para proyectar sus construcciones. También le es útil conocerlo, a los geólogos, economistas, etc., y a toda persona interesada en el estudio de los recursos naturales de un país, estudios con fines productivos, investigaciones, etc. y como forma de Con la introducción de nuevas tecnologías y el empleo de las herramientas auxiliares de la informática se hace necesario en el desarrollo de una nueva visión al estudiantado y los especialistas, es por ello que se introducen los Modelos Digitales del Terreno (en lo adelante MDT), de manera ta

La superficie de la tierra ofrece los más variados aspectos de difícil clasificación, representación e interpretación. Conocer el relieve del terreno es de vital importancia no sólo para ejecutar cualquier obra de ingeniería, sino también en muchas otras ramas de la ciencia. Muchos de los problemas que en la práctica debe resolver el ingeniero agrónomo (Gómez y Aparicio, 1989), tales como los cultivos, en contornos, sistemas de riego y drenaje, etc. tienen íntima relación con el conocimiento que posee de las formas del terreno. El arquitecto necesita conocer el relieve del terreno para ubicar el lugar adecuado para proyectar sus construcciones. También le es útil conocerlo, a los geólogos, economistas, etc., y a toda persona interesada en el estudio de los recursos naturales de un país, estudios con fines productivos, investigaciones, etc. y como forma de Con la introducción de nuevas tecnologías y el empleo de las herramientas auxiliares de la informática se hace necesario en el desarrollo de una nueva visión al estudiantado y los especialistas, es por ello que se introducen los Modelos Digitales del Terreno (en lo adelante MDT), de manera tal que seamos capaces de llevar a los ordenadores los conjuntos de datos con el objetivo de formarlos y obtener digitalmente un producto desarrollable y útil en los ordenadores personales que es donde finalmente se procesan y se concretan los resultados de los mostrar los mismos, así como, la de representar gráficamente su interpretación l que seamos capaces de llevar a los ordenadores los conjuntos de datos con el objetivo de formarlos y obtener digitalmente un producto desarrollable y útil en los ordenadores personales que es donde finalmente se procesan y se concretan los resultados de los mostrar los mismos, así como, la de representar gráficamente su interpretación y uso práctico.

## **2. DESARROLLO**

Los planos topográficos muestran las características de un lugar como son: cañadas, ríos, áreas de cultivo, caminos, etc, en sus posiciones planimétricas correctas, utilizando para la obtiene la precisión y cantidad de datos que se deseen.

Cuando se quiere obtener en le plano el elemento vertical o relieve del terreno es necesario utilizar algún artificio que permita conseguir el objetivo propuesto.



El sistema que se utilice para mostrar el relieve, debe cumplir dos misiones fundamentales: debe mostrar la figura del terreno en forma adecuada al que utiliza el plano, es decir construir un modelo del terreno fácil de interpretar y debe suministrar la información necesaria para conocer la altura o elevación de cualquier punto que aparezca en el plano. situación de los mismos, mediciones de ángulos y distancias horizontales con las cuales se

De acuerdo a (Benitez, 1978) el método que nos ofrece de una forma clara y precisa no solo el relieve del terreno sino también la elevación de cualquier punto perteneciente al mismo es el método de curvas de nivel. Sobre los planos de curvas de nivel es que nos basamos para proyectar las obras ingenieriles.

Hemos podido comprobar a través de los años que llevamos impartiendo docencia que a los estudiantes no les resulta fácil la lectura e interpretación de los planos de curvas de nivel después de haber recibido la información necesaria de parte del profesor. Por tales razones nos vimos en la necesidad de crear un nuevo método de enseñanza para resolver esta problemática y recurrimos a las maquetas como medio didáctico. Hemos creado un modelo del relieve del terreno en una maqueta y a ese modelo le construimos el plano de curvas de nivel lo que da la posibilidad al estudiante de leer las diferentes formas del relieve en el plano y compararlos en la maqueta obteniéndose resultados altamente positivos.

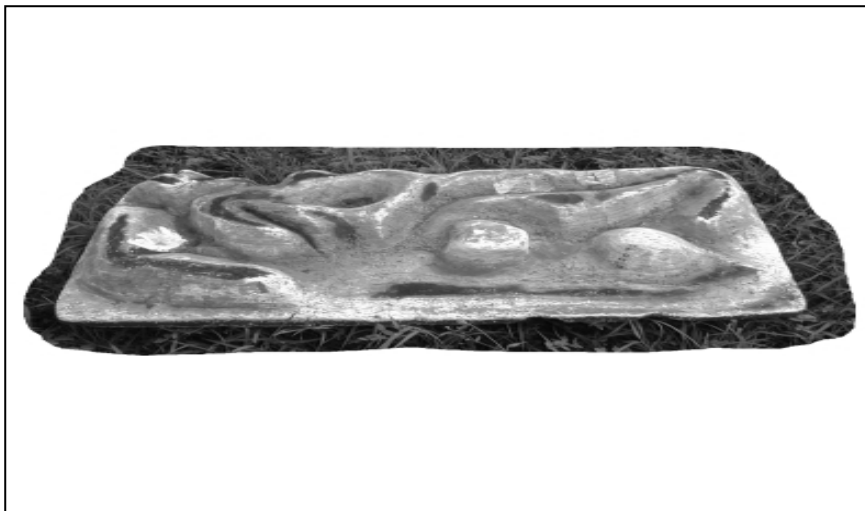


Fig. 1 Maqueta tallada en poliespuma

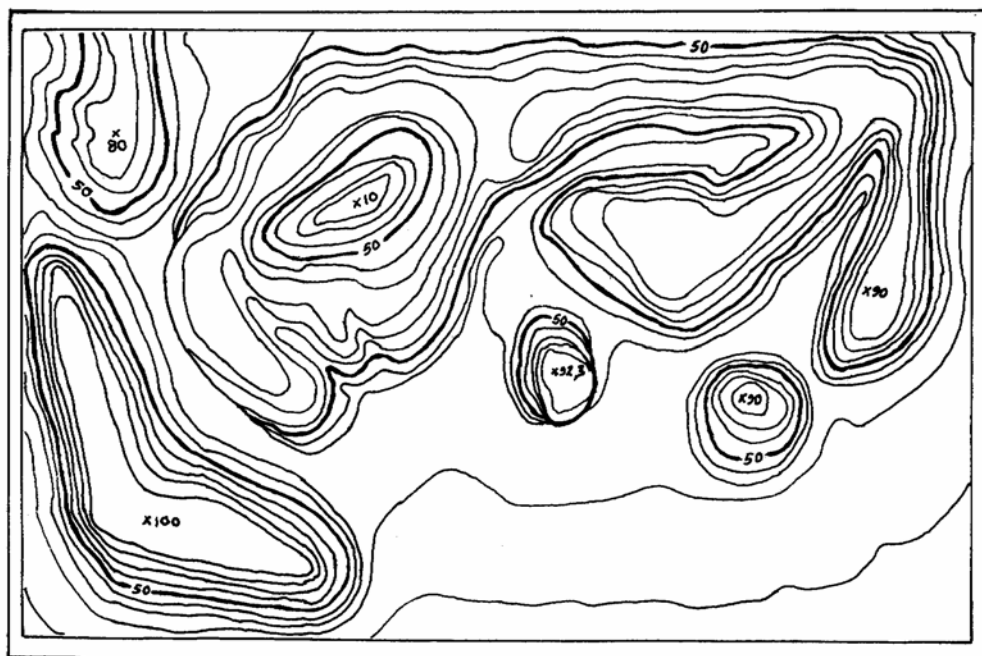


Figura .2 Plano topográfico de la maqueta. Esc. 1:1

Además confeccionamos una maqueta que representa el modelo de un sistema intermitente del riego por surcos. Nueva tecnología del riego poco conocida en el país de la cual se dan los primeros pasos para su introducción y empleo a gran escala.

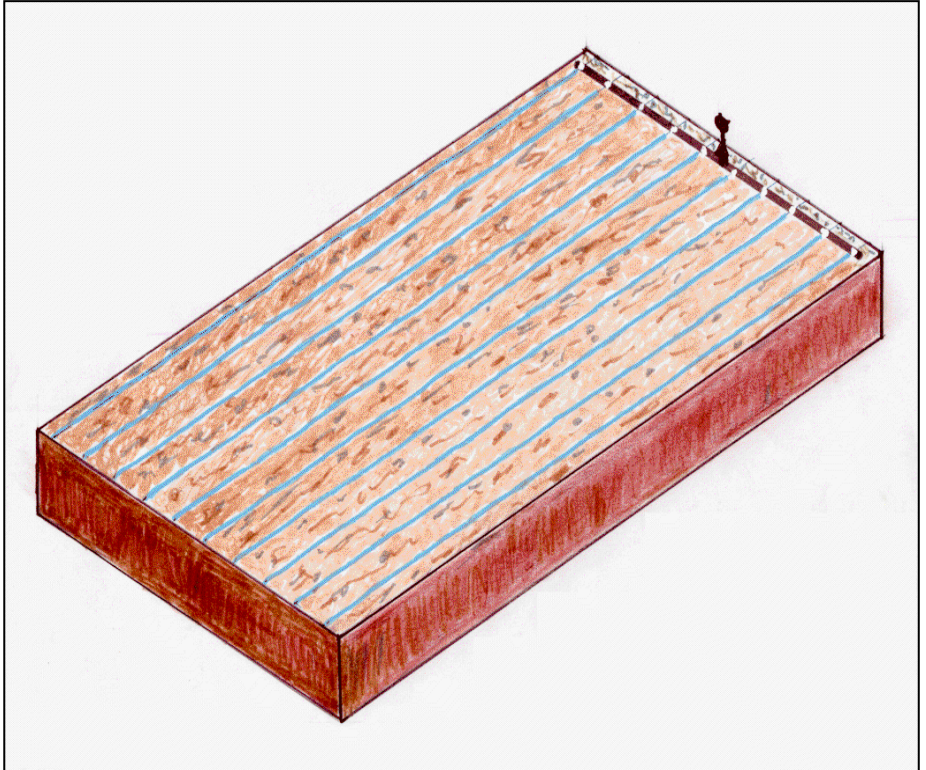


Fig.3 Maqueta de riego intermitente

Esto permite que los estudiantes puedan relacionarse con esta nueva tecnología de la forma más objetiva posible al no existir actualmente otras posibilidades.

## **OBTENCIÓN DE LOS MDT**

La era de la informatización nos ha obligado a modificar la concepción actual del mundo de la enseñanza y del procesamiento de los datos, permitiendo de esta manera hacer llegar a otros la posibilidad de elegir entre las variantes tan amplias que se ofrecen a partir de simples datos como base del resultado de los análisis. (Manual de usuario del Sufer y Help On LINE).

La aplicación de los métodos entre los que se pueden incluir el desarrollo de los MDT y la introducción de los mismos en el proceso de enseñanza. En su concepción básica se puede clasificar en tres tipos por su forma de entrada de los datos para su

simulación virtual y funciona bajo el principio (elementalmente hablando) de la aplicación de funciones matemáticas complejas para la conformación de una malla tridimensional del área o territorio que se representa en función de tres ejes matemáticos (X,Y,Z) permitiéndose así la visualización en diferentes ángulos e interactuar con la misma en dependencia de la aplicación para la manipulación del elemento en 3D.

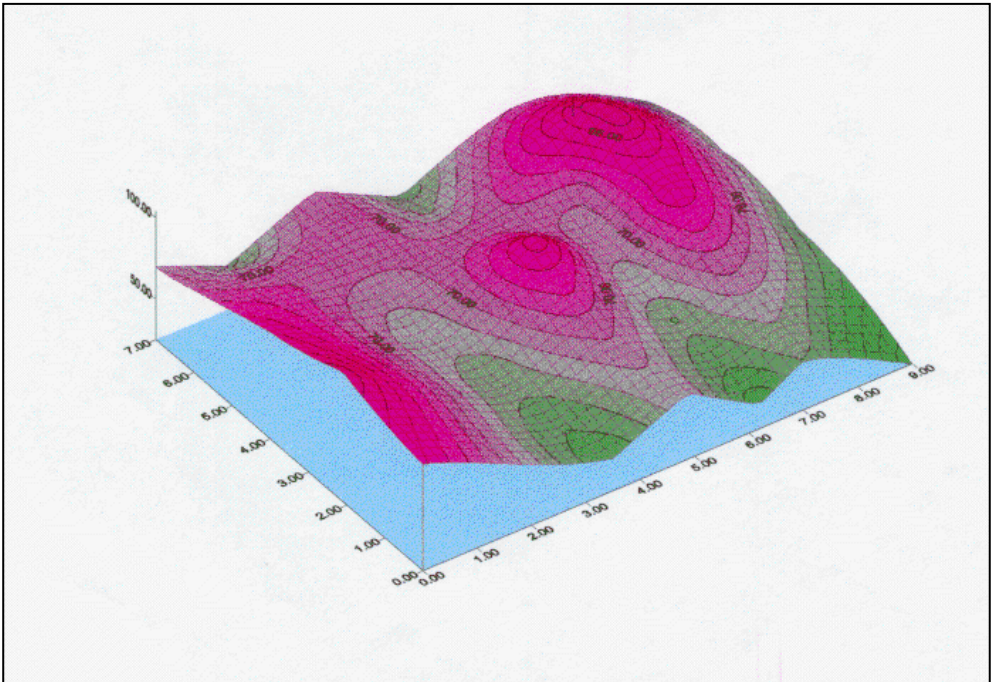


Fig.4 Modelo tridimensional del terreno

Para mejor comprensión de la clasificación dada anteriormente podemos exponer las clasificaciones de forma independiente:

#### a) **Entrada de datos numéricos**

El creador del software o aplicación de manejo de datos es quien decide, como en todos los casos la estructura de datos numéricos que eventualmente se alterna desde los formatos básicos del tipo ASCII o texto hasta las formas de bases de datos ACCESS, pero siempre con alguna variantes no muy significativas, se forma una matriz de base tres formada por valores x,y,z en su diseño de filas y columnas en la cual a cada posición determinada, por supuesto por sus valores x,y corresponde un valor determinado z que denota la altura a la cual este punto se encuentra sobre el nivel medio del mar, a continuación exponemos un ejemplo:

Tabla 1-Ejemplo de entrada de datos.

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
749109.240	302347.218	31.30
749200.201	302349.487	35.15
749201.175	302274.842	36.40
749197.187	302129.377	39.48

**b) Entrada de datos gráficos:**

Esta modalidad se produce de forma digital cuando con el auxilio de una mesa digitalizadora se introducen los datos de las curvas de nivel que conforman el territorio mapificado a la microcomputadora, para luego ser manipulado por el software de la forma matricial descrita anteriormente como dato numérico, con la particularidad que la altura de la curva de nivel se introducirá a través del cambio en las propiedades de la entidad, mientras que el valor posicional de cada uno de los puntos está determinado por el trazado gráfico de este elemento conformado por los puntos que conforman los arcos con el valor constante de la Z, como hemos dicho.

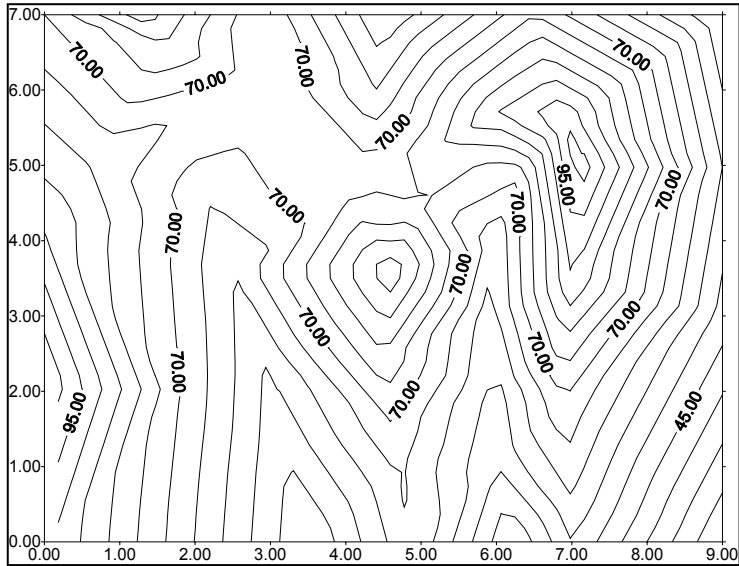


Fig. 5 Ejemplo de representación digital del relieve

### c) Entrada de datos estereofotogramétricos:

Como su nombre lo indica se trata de la medición estereofotogramétrica a través de pares estereoscópicos definidos del terreno en cuestión, de fotografías aéreas en plataforma digital con determinados parámetros técnicos muy importantes para la solución de esta tarea por este método. (Teoría del par estereoscópico, 1978)

amplias posibilidades de análisis: La restitución estereofotogramétrica digital tiene muchas variantes y tecnologías y podemos afirmar a nuestro modo de ver que es la más precisa y permite dar como formato de salida los métodos de entrada de datos expuestos anteriormente; así como los resultados de forma análoga a lo anteriormente expuesto y nos brinda

### d) Validación de los datos de entrada

Este importante proceso de depuración de los datos iniciales en este tipo de software o aplicación se realiza internamente, permitiendo la visualización, a voluntad del ejecutor para su corrección o no, mostrando además estadísticas de los datos

procesados, o sea que los datos finalmente serán validados antes, durante o después de su procesamiento de acuerdo a la apreciación del especialista al cumplir las exigencias del mismo.

Es importante señalar que en dependencia de la forma de entrada de los datos, la aplicación realizará la validación del conjunto de datos, aunque siempre para el procesamiento en cualquier formato se llevará a la forma numérica con el desarrollo de una malla de datos que cubre de forma rectangular lograda a partir de los valores posicionales ( X,Y) inferior izquierdo y superior derecho.

#### **e) Procesamiento de los datos**

Se realiza de forma casi análoga en las aplicaciones de procesamiento en las que se tiene en cuenta por la distribución de los datos el método matemático que se empleará; por esto es necesario conocer con profundidad al efecto “ distribución de datos – método matemático,” para obtener una correcta interpolación de las curvas de nivel. Los principales métodos empleados son los que siguen:

- \* Kriging Cokriging
- \* Curvatura Mínima
- \* Vecino Próximo
- \* Regresión Polinomial
- \* Funciones Radiales Básicas
- \* Triangulación con Interpolación Lineal Distancia inversa

El resultado de la aplicación de estos métodos es una malla (grid) que se almacena en un fichero (generalmente con extensión .grd) con las cuales se pueden desarrollar toda una serie de trabajos que forman parte del formato de salida.

Las complejas operaciones matemáticas que se emplean en la aplicación de estos métodos permiten en relación con la distribución de los datos formular variantes o combinaciones de métodos y hacerlos relacionar a voluntad, en directa concordancia con los resultados que se obtienen y la consideración de éstos por parte del especialista si cubren las expectativas.

##### **1.1.1.1 f) Resultado final**

Los resultados finales de forma general se pueden apreciar en el mismo mediante las opciones sugeridas por el fabricante de las aplicaciones y son posible conformarlas a partir de los resultados que se manejan por los pasos anteriores, los cuales de forma apreciativa en su formato de salida puedan observarse, así pues, un dato de altura que tenga en un determinado valor posicional 300.4 donde su valor real es 30.04 se manifestará gráficamente como un pico, si no es detectada durante el proceso de validación, pudiendo este valor discordante ser corregido desde los datos

de entrada exclusivamente y formando todos los demás pasos en el orden descrito anteriormente.

La malla tridimensional es solo uno de los formatos de salida y su densidad entre líneas se escoge a voluntad, así como la forma de representación con colores en las gamas para los valores máximos y mínimo, permitiendo de forma interactiva seleccionarlos.

La salida raster no es mas que la asignación de un valor entre el 0 y el 1 (negro y blanco) o sea en tonos de grises, para los valores máximos y mínimos determinados a todos los valores numéricos de Z.

Este aspecto de representación del terreno tiene aplicaciones prácticas muy diversas y puede constituir base para los modelos de simulación interactiva, entre los que se pueden a partir de esos datos primarios suministrados hacer evaluaciones de áreas inundables, etc. Forma parte además de la modelación y obtención de datos iniciales globales de la Realidad Virtual en este campo.

### 3. CONCLUSIONES

- Las maquetas constituyen un eficiente medio didáctico para la lectura e interpretación del relieve del terreno en el plano de curvas de nivel.
- Los M.D.T tienen entre otras muchas ventajas la de constituir un elemento de introducción a la ingeniería gráfica en la enseñanza y las investigaciones aplicadas y asociadas al proceso docente-educativo.
- Las maquetas nos brindan la posibilidad de conocer tecnologías que no están introducidas todavía en el país.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benitez Olmedo, Raúl. **Topografía para Ingenieros Civiles**. Tom.1. La Habana, Editorial Pueblo y Educación, 1998

Gómez Quesada, José M. y Aparicio Rodríguez Gustavo. **Topografía para Ingenieros Agrónomos**. La Habana, Editorial Científico-Técnica, 1980.

Pérez Romero, Miguel Antonio; López Gordillo, Miguel y Gonzáles Mediero Angel. **Aplicación de Maquetas en el Aprendizaje de la Topografía**. *Actas del X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Tom.1 Málaga, Editora Dpto. de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos. (489- 492), 1998.

*I.T.M. Teoría del par estereoscopio*. . La Habana, Editorial Pueblo y Educación, 1978.

*Surfer V. 6.4. Manual de usuario del Surfer y HELP On LINE*. s/f.





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN HISTÓRICA: UN VUELO POR LA COSTA DE GRANADA HACE 6.000 AÑOS

ALDAYA GARCÍA, Víctor Pablo (1); MOLERO MELGAREJO, Fco. Emilio (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Granada, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Correo electrónico: avictor@ugr.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Correo electrónico: emi\_molero@hotmail.com

### RESUMEN

Hoy en día el modelado digital del terreno experimenta un notable auge, contando con innumerables aplicaciones en multitud de campos. Presentamos aquí una aplicación de los MDT que permitirá a historiadores y centros de divulgación entender y difundir mediante métodos infográficos una realidad pretérita, y por tanto imposible de observar actualmente.

En este caso se modelará una parte de la costa de Granada, concretamente la desembocadura del río Guadalfeo y la costa de Motril, en la que observaremos la evolución de la línea de costa desde hace 6.000 años hasta nuestros días. Al ser dicha evolución un proceso dinámico, se ha optado por realizar una animación en la que podamos apreciar la retirada progresiva del mar hasta llegar al estado actual. Así mismo, y dado que uno de los objetivos era mostrar la configuración de la costa en tiempos pasados, se ha realizado además un “vuelo virtual” por dicha costa.

Se han utilizado distintos programas y técnicas de modelado, texturizado y optimización para conseguir un resultado suficientemente realista que permita entender el proceso pero sin requerir grandes recursos informáticos.

Como aplicación práctica, la animación resultante formará parte de un vídeo divulgativo que recorrerá distintos centros educativos de la provincia.

**Palabras clave:** modelos digitales de terreno, investigación histórica, simulación, animación, divulgación.

# DIGITAL TERRAIN MODEL APPLIED TO HISTORICAL RESEARCH: A FLIGHT OVER GRANADA COASTLINE 6000 YEARS AGO

## ABSTRACT

Digital terrain modeling is currently gaining more and more importance in many different areas and applications. We present here an application of DTM which allows historians and cultural institutions to understand and spread, through infographic methods, a reality from the past and therefore impossible to observe nowadays.

In this case, a section of Granada coast will be modeled, in particular, the mouth of the river Guadalfeo and Motril coast; we will observe the evolution of the coastline from what it was like 6000 years ago to its present-day shape. As the evolution is a dynamic process, we chose to create an animation in which we can observe the progressive retreat of the sea to its current state. Moreover, and as one of the aims was to show the configuration of the coast in remote times, we produced a “virtual flight” over said coastline.

Different software and techniques for modeling, texturing and optimizing have been used to achieve a result that looks realistic enough to understand the process without needing massive computer resources.

As a practical use for this work, the animation will be part of a video that will be shown in various educative institutions of the province of Granada.

**Key words:** Digital Terrain Model, historical research, simulation, animation, spreading.

## 1. Introducción

El objetivo del presente trabajo ha sido la creación de una animación infográfica en la que se muestra la evolución de la línea de costa del delta del río Guadalfeo, en las proximidades de la ciudad de Motril (Granada).

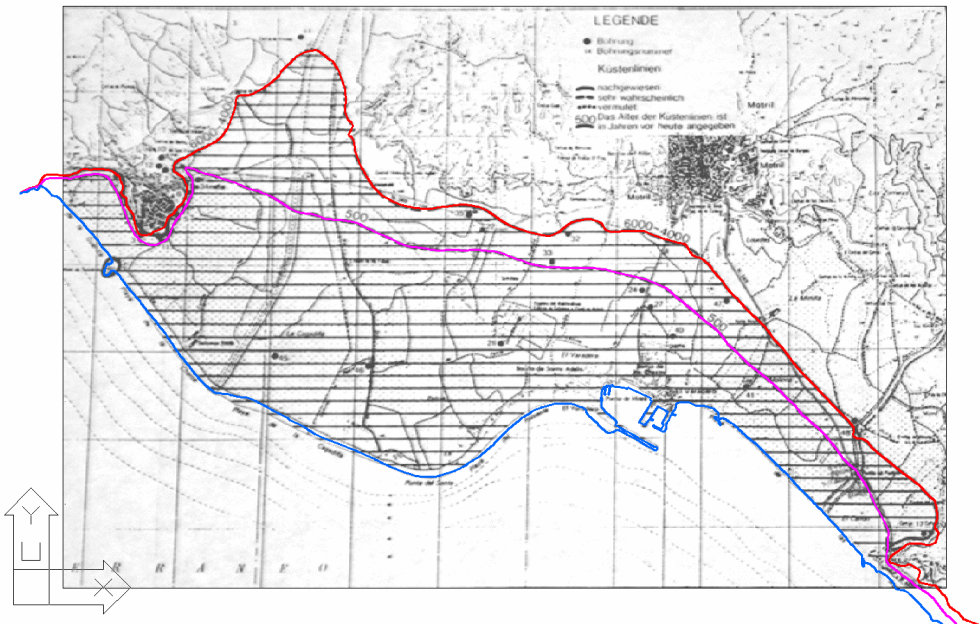
Basándonos en la investigación histórica de la mencionada evolución, realizada por HOFFMAN (1988), se recrearon en el Modelo Digital de Terreno las distintas situaciones vividas por la costa del delta del Guadalfeo a lo largo de los últimos 6.000 años. Para ello se utilizaron Sistemas de Información Geográfica y programas de CAD y Modelado 3D, combinando las cualidades y ventajas de cada uno para obtener el mejor resultado posible sin utilizar costosos equipamientos informáticos. En esta misma línea se realizaron distintas operaciones de ajuste y optimización, tanto en el terreno digital como en las imágenes empleadas como texturas, para reducir su “peso” en el programa de modelado.

Posteriormente se realizó un montaje multimedia ya que el trabajo formará parte de un video divulgativo que recorrerá distintos centros educativos de la provincia y se podrá ver además en una exposición itinerante.

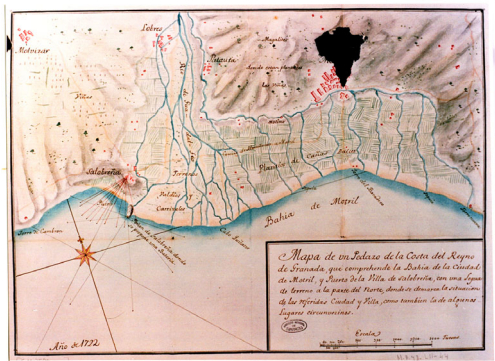
## 2. Estudios preliminares

Tras una revisión bibliográfica de trabajos relacionados con nuestro objeto de estudio, determinamos utilizar los estudios realizados por G. Hoffman en su tesis doctoral. En ellos se daba una hipótesis sobre la evolución de la línea de costa en la zona del delta del Guadalfeo.

A partir de la cartografía obtenida de Hoffman, se introdujo a escala real en un programa de CAD, procediéndose posteriormente a la digitalización de las curvas de línea de costa en sus distintos estados. Estas curvas serían posteriormente exportadas al programa de Modelado 3D para su inclusión en la animación final.



También se estudió diversa cartografía antigua del litoral proveniente de archivos históricos como el de Simancas, como contraste y verificación de los trabajos de Hoffman:



### 3. Desarrollo del trabajo

#### 3.1. Creación del Modelo Digital de Terreno

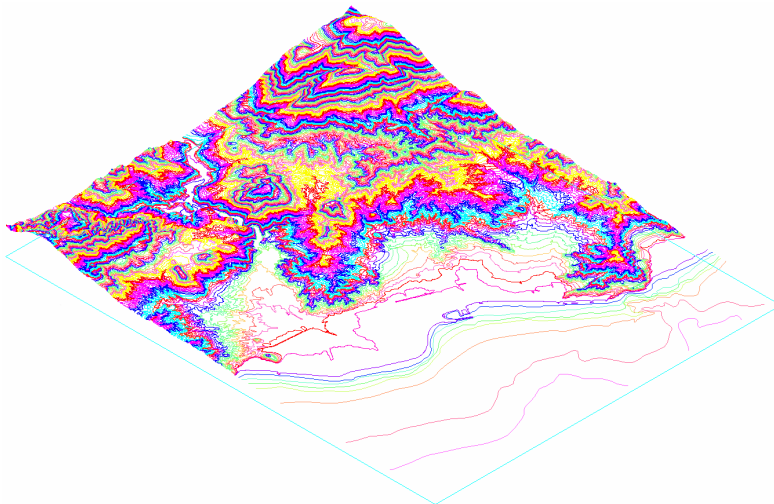
La creación de un MDT preciso y detallado es, sin duda, fundamental en todo trabajo que implique evolución o cambios en el paisaje. En nuestro caso además era particularmente delicado ya que se preveía que el recorrido de la cámara pasase muy cerca de la garganta del Guadalfeo, lo que implicaba que los posibles errores serían fácilmente apreciables en la animación final.

##### 3.1.1. Datos de partida

Se utilizaron las capas “Vértices” o RL2 y “Curvas de nivel” o RL3 de las hojas 1041, 1042, 1055 y 1056 del Mapa Digital de Andalucía 1:10.000 (MDA 10) en formato de exportación .e00 de ARC/INFO.

La capa Vértices, de topología puntual, contiene 2284 elementos entre puntos acotados, vértices geodésicos de orden superior e inferior, vértices topográficos y puntos de apoyo. Sus atributos son: Código de entidad, nombre y cota.

La capa Curvas de nivel, de topología lineal, contiene curvas de nivel de 10 en 10 metros, curvas batimétricas y curvas de depresión (*Figura 1*). Sus atributos son: Código de entidad, tipo de curva, tipo de línea y cota.



*Figura 1: Curvas de nivel*

Además para el posterior renderizado del modelo digital de elevaciones se utilizaron ortofotografías digitales de 1 metro de resolución obtenidas a partir de un vuelo fotogramétrico en color realizado entre los meses de Julio de 1998 y julio de 1999 a escala 1:60.000, con una distancia focal de 150 mm y una altura de vuelo aproximada de 9.000 metros.

### 3.1.2. Proceso de modelización

Con el objeto de poder manejar estos datos se procede a la conversión o exportación de las coberturas de ArcInfo al formato shapefile de ArcView y al dxf de AutoCAD. Se juntan las hojas en un solo archivo y se selecciona y recorta la zona de la que se pretende construir el modelo (15 por 18 Km.). Se construyen varios modelos, dos modelos raster (DEM) y uno vectorial (TIN) con objeto de optimizar su visualización final.

#### Los modelos Raster

La construcción de un DEM, entendido como matriz regular a partir de la información vectorial mencionada anteriormente, es básicamente un problema de interpolación. El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable  $Z$  en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas ( $X,Y$ ), partiendo de los que adopta  $Z$  en una muestra de puntos situados en el mismo área de estudio, la estimación de valores fuera del área de estudio se denomina extrapolación. En algunos casos pueden utilizarse otras variables de apoyo a la interpolación / extrapolación. El área de estudio vendrá definida por el entorno de los puntos en los que si se dispone de datos. La interpolación espacial suele utilizarse para obtener mapas de variables. Lo más habitual es partir de medidas puntuales o de isolíneas, los métodos que se utilizan en uno u otro caso son bastante diferentes.

Todos los métodos de interpolación se basan en la presunción lógica de que cuanto más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre más se parecerán, y por tanto los valores de cualquier variable cuantitativa que midamos en ellos serán más próximos, para expresarlo más técnicamente, las variables espaciales muestran autocorrelación espacial. Los algoritmos de interpolación deben tener en cuenta las diversas estructuras auxiliares para introducir variantes en los mecanismos de cálculo. (barriers)

Atendiendo a los datos de partida se pueden clasificar los métodos de interpolación en:

- Generados a partir de puntos.
- Generados a partir de curvas de nivel.

Así pues, se han desarrollado, a nivel preliminar, sendos MDE empleando ambos métodos de interpolación.

*Método del modelo generado a partir de puntos.*

Se ha utilizado un método analítico local de interpolación denominado Kriging, que analiza la autocorrelación espacial de la variable (variograma). El algoritmo asume que la altitud puede definirse como una variable regionalizada.

En general, los métodos locales se basan en la utilización de los puntos más cercanos al punto de interpolación para estimar la variable  $Z$  en este. Asumen autocorrelación espacial y estiman los valores de  $Z$  como una media ponderada de los

valores de un conjunto de puntos de muestreo cercanos. Exigen tomar una serie de decisiones, primero, cuáles son los criterios para decidir que puntos cercanos van a formar parte del conjunto de interpolación, y segundo, cuál será el método de interpolación.

Evidentemente los puntos que formen parte del conjunto de interpolación serán los más cercanos al punto de interpolación, es necesario decidir cual es la distancia máxima a partir de la cual no incluiremos más puntos y el número de puntos mínimo para llevar a cabo la interpolación con garantías. Para ello se utiliza la función semivariograma, una función de la distancia entre dos puntos que hace corresponder a cada distancia un medio de la media de las diferencias al cuadrado de los puntos situados a esa distancia.

Resulta evidente que el conjunto de interpolación debería incluir a aquellos puntos con dato situados a una distancia menor que el rango del punto en el que queremos interpolar.

El criterio de interpolación empleado, el método del krigado, calcula unos coeficientes de ponderación (función de la distancia) a partir de los resultados obtenidos con la función semivariograma. Es bastante complejo matemáticamente y muy exigente en cuanto a la calidad de la muestra de puntos y la variable que se interpola.

El resultado final de aplicar “Kriging Extension” 2.01 de ArcView GIS es un Modelo Digital de Elevaciones con una resolución de 10 metros. Cada píxel del terreno modelado (de 10 m de lado) contiene la altura sobre el nivel del mar expresada en metros.

Los parámetros aplicados son:

- Interpolación por “krigado” ordinario, tipo gaussiano.
- Lag interval = 5.
- Radius = fixed.
- Search distance = 50 m.
- Number of neighbours = 8.

*Método del modelo generado a partir de curvas de nivel.*

Igualmente, se ha procedido a generar un MDE, a partir de las curvas de nivel. El fundamento del método consiste en hacer interpolaciones lineales entre curva y curva. Se ha utilizado la extensión ArcView “Contour gridder”. Los parámetros empleados han sido:

- Multiplicator = 100.
- Extrapolate: slope = 0,5; threshold = 0,5.

El resultado final es un Modelo Digital de Elevaciones con una resolución de 5 metros. Cada “píxel” del terreno modelado (de 5 m de lado) contiene la altura sobre el nivel del mar expresada en metros.

## El modelo vectorial

Para este modelo que genera una Red de Triángulos Irregulares TIN (Triangulated Irregular Network) se emplea un número finito de puntos para caracterizar toda la superficie en estudio, pero, a diferencia de los Modelos Digitales de Elevación DEM, con una distancia entre puntos variable. Cada trío de puntos contiguos define una superficie triangular plana entre ellos que tendrá además atributos de pendiente, orientación, etc.,

La no-regularidad en la distancia entre puntos permite prestar especial atención a las zonas muy irregulares, donde se concentraran la mayor parte de los puntos y usar a la vez unos pocos en las zonas del relieve suave. La desventaja del modelo TIN es la mayor complejidad que implica en los algoritmos de manipulación asociados, respecto a los requeridos para el modelo DEM. El TIN generado a partir de la capa “Vértices” con la extensión 3D Analyst de ArcView contiene 1.900.032 nodos y 3.799.359 triángulos

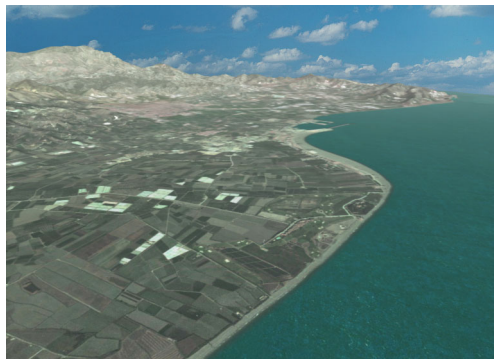
### 3.1.3. Control de la calidad del modelo generado

Para el proceso de validación se utilizaron otros MDE existentes en el mercado, aunque con menor resolución, el M.D.E. de 100 m (desarrollado a partir de la cartografía digital a E=1:100.000, del I.C.A.), y el de 20 m (desarrollado a partir de cartografía E=1:50.000, de la Consejería de Medioambiente). Además se generaron modelos derivados (pendientes, orientaciones, sombreados) que permiten detectar errores de forma visual.

Por último se utilizaron fotografías realizadas en abril de 2003 durante un vuelo privado en avioneta sobre la zona para la comparación final modelo/realidad, obteniéndose unos resultados muy satisfactorios.



*Vuelo real*



*Vuelo “virtual”*

### 3.1.4. Importación en el modelador 3D

Tras diversas pruebas se decidió utilizar el modelo TIN en lugar de los modelos DEM para la producción del video final, tanto por su menor “peso” como por su mejor capacidad de exportación /importación.



Desde ArcView se exportó el modelo al formato de intercambio DXF, reconocible por multitud de aplicaciones gráficas, y desde 3D Studio se importó dicho modelo, apareciendo directamente como una *mallá editable*, lo que simplifica en gran medida el proceso posterior.

### 3.1.5. Refinamiento y Optimización

Por último se utilizaron distintas técnicas de optimizado y suavizado de mallas para conseguir un modelo más manejable por el ordenador a la vez que se corregían los errores de la malla:

- **Modificador Soldar vértices:** suelda todos los vértices que quedan dentro del valor de umbral dado. Soldar vértices es un modificador muy simple, útil para limpiar mallas que pueden tener vértices cercanos o superpuestos, pero no soldados. En este caso se utilizó un valor de umbral de 10 m.
- **Modificador Optimizar:** permite reducir el número de caras y vértices en un objeto. Esto simplifica la geometría y agiliza la renderización manteniendo una imagen con una calidad suficiente para nuestro propósito. Los parámetros utilizados fueron: *Umbral cara* = 4m., *Umbral arista* = 1m. y *Alteración* = 0,1.
- **Modificador SuavizaMalla:** suaviza la geometría de la escena añadiendo caras en las esquinas y a lo largo de las aristas. El efecto de *SuavizaMalla* es redondear las esquinas y aristas como si se hubieran limado con suavidad. Al aplicarlo se añade una cara extra por cada vértice y arista. Este modificador se utilizó cuidadosamente en partes seleccionadas de la malla general para corregir errores en la triangulación.

Finalmente se consiguió una reducción del número de polígonos de la malla del modelo en un 34.5% mejorando además su apariencia visual.

## 3.2. Texturización

Si en el paso anterior construíamos el “esqueleto” de nuestro modelo, ahora es el momento de ponerle una “piel”. Este es un proceso delicado en el que tendremos que llegar a un compromiso entre calidad de visualización del modelo versus “peso” de la textura en el sistema informático.

### 3.2.1. Generación de la textura

La composición de la “piel” del modelo se realiza bajo Autodesk Map con las utilidades del Raster Design. Las ortofotos originales comprimidas en formato MrSid de LizardTech se importan como Geotiff y se unen para formar un solo archivo. El resultado es una sola ortofoto georeferenciada y con una calidad visual extremadamente buena.

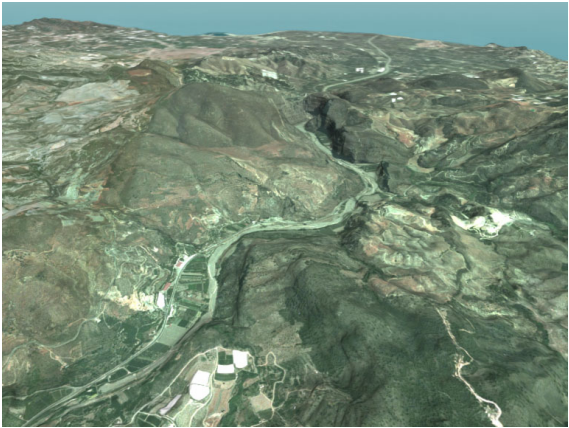
El tamaño final del montaje es de 15.000 x 23.000 píxeles (995 Mb), lo que a todas luces es inmanejable como textura por un sistema informático medio, por lo que se optó por reducir el tamaño a un 20%, manteniendo aún así una buena calidad.



### 3.2.2. Aplicación de la textura

Una vez que tenemos las ortofotos montadas tenemos que aplicarlas al MDT. Para ello realizamos un material o textura de tipo *Bitmap*, cargamos en él la imagen montada y recortada al tamaño del terreno y se lo aplicamos a la malla utilizando *coordenadas de mapeado*, obteniendo el resultado que se aprecia en la *Figura 2*.

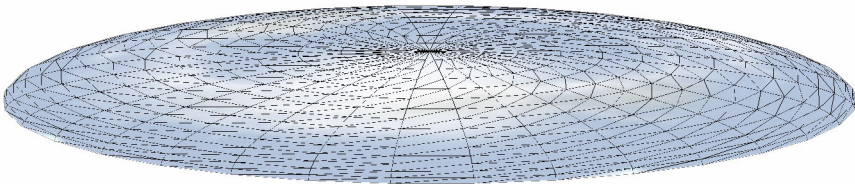
Las coordenadas de mapeado especifican la situación, orientación y escala de un mapa en la geometría. Por medio de su aplicación a un objeto, el modificador *Mapa UVW* controla el modo en que los materiales aparecen en la superficie del mismo. En este caso, de los múltiples mapeados posibles, se optó por la utilización del tipo *Plano*, que proyecta el mapa desde un único plano liso sobre el objeto, ya que se asimila a la forma en que se realiza el proceso de toma de ortofotos.



*Figura 2: Malla texturizada.*

### 3.3. Creación del entorno

Puesto que uno de los resultados buscados fue una animación donde se realizaba un vuelo virtual por la línea de costa de hace 6.000 años, se hizo necesario generar un entorno adecuado a la zona en estudio. Para ello se creó un domo achatado, lo suficientemente grande para dar sensación de un horizonte lejano, al que se le aplicó una textura basada en una imagen de cielo semi-esférica generada por ordenador.

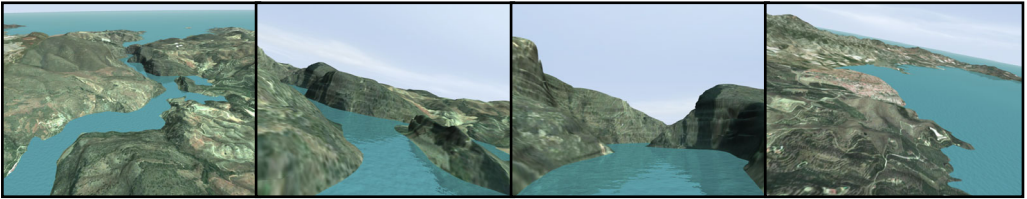


También se creó un nuevo mar, animado en su superficie mediante técnicas de ruido fractal, que induciría los cambios en la línea de costa al ir variando su cota.



### 3.4. Animación y montaje multimedia

Por último se generaron las más de 1.600 imágenes seriadas necesarias para la realización de la animación, y en un editor de video no-lineal se le añadieron la locución, la música y los rótulos para obtener el producto final.



### 4. Consideraciones Finales

Como conclusión podemos destacar la enorme aplicabilidad que tienen este tipo de técnicas de modelado y representación gráfica en el campo de la investigación histórica y de la divulgación científica en general. La recreación visual de realidades pretéritas, y por tanto ya desaparecidas, facilita sobremanera el proceso de comprensión de los fenómenos explicados, revelándose fundamental tanto en el desarrollo de la investigación como en la transmisión del conocimiento adquirido, especialmente a públicos no especializados en el tema de estudio.

### Agradecimientos

Al Laboratorio de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Granada, por la utilización de sus recursos SIG y su apoyo permanente.

Al Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, que proporciona los medios necesarios para que se puedan llevar a cabo de forma adecuada la investigación y docencia de las nuevas tecnologías.

### Referencias

ARTEAGA, O; HOFFMAN, G; SHUBART, H. SCHULZ, H.D.. *Investigaciones geológicas y arqueológicas sobre los cambios de la línea costera en el litoral de la Andalucía Mediterránea*. Informe preliminar (1985) Anuario Arqueológico de Andalucía, 1985, II.

HOFFMAN, G.. *Holozänstratigraphie un Küstelinienverlagerung an der Andalusischen Mittelmeerküste*. Tesis Doctoral. Universität Bremen, 2. Bremen, 1988.

FELICÍSIMO, A.M. *La utilización de los MDT en los estudios del medio físico*. (Soporte digital en Internet: [www.etsimo.uniovi.es/~feli](http://www.etsimo.uniovi.es/~feli)). Abril, 1999.

FELICÍSIMO, A.M. *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Biblioteca de Historia Natural. Ed. Pentalfa. Oviedo, 1994.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### PROGRAMA DE DIBUJO PARA LA INGENIERÍA ELÉCTRICA. UN DISEÑO CURRICULAR

RAMÍREZ VALLVEY, Jorge (1); MORCIEGO GARCÍA, Carlos (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Camagüey, Cuba

Facultad Electromecánica, Departamento Docente de Ingeniería Mecánica. Colectivo Grafica de Ingeniería

Correo electrónico: [vallvey@em.reduc.edu.cu](mailto:vallvey@em.reduc.edu.cu); [morci@em.reduc.edu.cu](mailto:morci@em.reduc.edu.cu)

### RESUMEN

El trabajo está encaminado al Diseño Curricular de los contenidos de la Disciplina Dibujo por medio de la estructuración lógica de los mismos en el plan de estudio “C” perfeccionado de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Camagüey.

Se exponen los resultados del análisis realizado en cuanto a las relaciones que se establecen en el contenido de la asignatura, la estructuración de este con la utilización del enfoque sistémico y el proceso de integración de los contenidos para lograr la sistematización.

Se plantea como aumentar la calidad de la enseñanza de Dibujo para Ingenieros Electricistas mediante la estructuración de los contenidos que respondan a los requerimientos actuales para la impartición de la Disciplina a partir del modelo del profesional del Ingeniero Eléctrico.

**Palabras clave:** Dibujo de Ingeniería. Diseño Curricular. Técnica Matricial. Grafica de Ingeniería. Ingeniería Eléctrica. Enseñanza del Dibujo.

### ABSTRACT

An This work deals with the Drawing for Electrical Engineer Discipline improvement by means of the Curricular Design for a new syllabus. It gives the possibility to obtain a better integration of the Graphical engineering contents in the C' Plan for the Electric Engineer Career. The results of the analysis about the relationship between he subject content by means of the matrix method are described in this work. The content structure with systemic approach and the content integration process for the systematization are also showed in this research.

The author explains the ways for the teaching quality improvement for the Electrical Engineering Drawing, through the introduction of contents according to the current necessities of the discipline, taking into consideration the Electric Engineer Professional Model.

## 1. Introducción

Desde los planes de estudios universitarios A y B, para la carrera de Ingeniería Eléctrica, la disciplina Dibujo, constaba de dos asignaturas: Geometría Descriptiva y Dibujo Básico con 80 h. de clases cada una, al introducirse el plan C, se unificaron ambas, en una sola llamada Dibujo 1, con 72 h. y se introdujo el Dibujo Eléctrico o Dibujo 2, con 54 h.

Posteriormente con el actual plan C' perfeccionado, se asignaron 96 h., en una sola asignatura llamada igual que la disciplina, "Dibujo para Ingenieros Electricistas", uniéndose en ella los objetivos y sistemas de conocimientos de la G.D., el D.B. y el AutoCAD en 2D.

La experiencia de más de 20 años en la docencia del Dibujo Técnico y especialmente en la disciplina "Dibujo para Ingenieros Electricistas", nos permitió detectar un conjunto de dificultades que se venían presentando en el proceso docente, con este último programa, y nos llevó a formular el siguiente problema:

¿Cómo mantener y elevar la calidad de la docencia del Dibujo para Ingenieros Electricistas, a pesar de la sensible reducción de horas de docencia y de contenidos programáticos?

Se llegó a la conclusión de que si se toman en consideración:

El modelo del profesional del Ingeniero Eléctrico, la Teoría del Diseño curricular de pregrado y las necesidades actuales de la docencia universitaria y del ejercicio profesional, se podrá diseñar un programa perfeccionado para la docencia del Dibujo que permitirá elevar las exigencias de calidad y pertinencia social.

Definiendo entonces el objetivo general del trabajo: Diseñar un programa docente perfeccionado para la Disciplina Dibujo, que propicie una mejor formación profesional de los Ingenieros Eléctricos.

## 2. Desarrollo del Trabajo

### MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN UTILIZADOS.

Como método general se empleó el de Análisis Teórico Dialéctico e Histórico – Lógico, presente con sus categorías y leyes, para el estudio de las fuentes documentales sobre el devenir del Dibujo Técnico, las teorías del Diseño curricular y su aplicación.

Los instrumentos utilizados fueron: 1- Criterios de expertos. 2- Encuestas a profesionales .Encuestas a estudiantes. 3- Técnica matricial.

El diseño de la Disciplina Dibujo para Ingenieros Eléctricos y su estructuración en asignaturas o temas, requiere de un Diseño Curricular en el que el papel del sistema de conocimientos y habilidades que conforma el contenido es determinante.

Para establecerlo, se tomará en consideración, además del modelo del profesional, la derivación de los problemas profesionales y el objeto de la ciencia, que se expresarán como objetivo, problema y contenido.

¿Como se investigó?

1- Criterios de expertos, recogidos en el Primer Taller Nacional de Expresión Gráfica para Ingenieros Eléctricos, 1998, organizado por el Colectivo de Dibujo de la Universidad de Camagüey.

2- Encuestas en la producción y la docencia a profesionales de experiencia.

3- Encuesta a estudiantes de diferentes cursos en la carrera de Ing. Eléctrica.

## RESULTADOS

Para el análisis de los problemas que afectan la lógica esencial de la profesión de los ingenieros electricistas con relación al Dibujo en la actividad de Proyectar, se cuenta con los resultados alcanzados en el “Primer Taller Nacional de Expresión Gráfica para Ingenieros Eléctricos”. Este taller fue preparado y coordinado por los autores de este trabajo, junto con el jefe de carrera y el resto de los integrantes del Colectivo de Gráfica de ingeniería, efectuándose en 1998 en la Facultad de Electromecánica de la Universidad de Camagüey, con la participación de profesores de los distintos Centros Universitarios donde se imparte esta Disciplina y profesores de Dibujo de otras carreras, así como ingenieros eléctricos graduados de la Universidad de Camagüey y con experiencia en la producción.

En el marco del evento se efectuó una mesa redonda, donde se obtuvieron criterios de expertos, relacionados con el Nuevo Programa del Plan C’ perfeccionado y los objetivos del Modelo del profesional; los objetivos generales instructivos; el sistema de conocimientos y habilidades de la asignatura; la bibliografía y la relación objetivos, contenido, método.

## CRITERIOS DE PROFESORES EXPERTOS QUE ASISTIERON AL TALLER NACIONAL

\* El programa actual debe reestructurarse y elaborar un nuevo libro de texto para la disciplina, que racionalice y abarque todos los nuevos contenidos propuestos, incluidos los de CAD.

\* Al eliminarse el “Dibujo Aplicado Eléctrico” dentro de este programa, debe coordinarse con la asignatura principal de Ingeniería eléctrica, para que no se pierda la continuidad y alfabetidad visual en la simbología eléctrica, acorde con la Lógica esencial de la profesión, en la formación de las habilidades profesionales.

\* Aunque se propone una disciplina de una sola asignatura, deben separarse por temas que correspondan con asignaturas equivalentes a las asignaturas clásicas, tales como Geometría Descriptiva y otras, por tener objetivos generales y sistemas de habilidades diferentes.

Como instrumento de investigación, se aplicaron encuestas en la producción y en la docencia, una aplicable para estudiantes de cuarto y quinto año de la carrera de Ingeniería Eléctrica que cursaron el plan de estudio C, y para estudiantes de tercer año de Ingeniería Eléctrica que cursaron el plan de estudios C' perfeccionado. La otra fue aplicada a profesionales de la producción y la docencia graduados del plan B y C en Ingeniería Eléctrica.

La primera encuesta para los estudiantes tiene 11 preguntas que contienen cuatro valoraciones a escoger una marcando con una cruz (X) y una pregunta que se responde con si o no y hay que desarrollar la respuesta.

La segunda encuesta para profesionales de la producción y la docencia tiene 11 preguntas, de las cuales 7 contienen cuatro valoraciones a escoger una marcando con una cruz (X), 2 contienen tres valoraciones a escoger una y 2 que se responde con si o no y en una hay que desarrollar la respuesta.

**Encuesta a estudiantes:** La muestra fue del 61,22 % con relación al total de 49 estudiantes de estos años. Los resultados obtenidos son:

1. Consideran las clases de Dibujo que recibieron evaluadas de excelentes un 20 %, el 73,33 % de buenas y regular el 6,66 %.

2. Los conocimientos adquiridos para aplicarlos a otras asignaturas un 23,33 % manifiestan que siempre; un 66,66 % casi siempre y un 10,00 % a veces.

3. Con relación a los temas de símbolos, esquemas e instalaciones eléctricas en edificaciones lo consideran necesario para aplicarlos en asignaturas del ejercicio de la profesión un 33,33 % siempre; un 60,00 % casi siempre y un 6,66 % a veces.

4. Sobre la ayuda de los medios de enseñanza utilizados para el desarrollo de la imaginación espacial un 30,00 % contestaron siempre, 46,66 % casi siempre, un 20,00 % algunas veces y un 3,33 % nunca.

5. Consideran importante la autopreparación obligatoria para asimilar los conocimientos un 33,33 % plantea siempre, un 50,00 % casi siempre y un 16,66 % algunas veces.

6. La valoración de lo aprendido para el logro de la imaginación espacial un 16,66% manifiesta que excelente, un 70,00 % de bien y un 13,33 % de regular.

7. Sobre el nivel de exigencia de los profesores de las asignaturas en las cuales es necesario aplicar los conocimientos de Dibujo lo valoran de excelente un 6,66 %, de bien un 46,66 % de regular un 40,00 % y 6,66 de mal.

8. El sistema de evaluación aplicado en la disciplina lo evalúan de excelente un 6,66 %, de bien un 83,33 % y de regular un 10,00 %

9. La importancia de la disciplina dentro del plan de estudio la valoran de muy importante 6,66 %, de importante 83,33 % y poco importante 23,33 %.

10. Los conocimientos adquiridos en esta disciplina para lograr desarrollar habilidades y hábitos que le sirvieran en su futura profesión un 10,00 % lo consideran de excelentes, un 76,66 de bien y 13,33 de regular.

11. Los conocimientos de dibujo adquiridos en secundaria y pre como base para el estudio en la Universidad el 43,33 % plantea que sí y un 56,66 % de no.

**Encuestas a ingenieros eléctricos.** La muestra fue de 25 Ing. Eléctricos de la producción y la docencia graduados del plan de estudios B y C en la carrera de Ingeniería Eléctrica. Los resultados obtenidos son:

1. El 84% opina que el dibujo recibido debe ser perfeccionado, reestructurando los temas y contenidos.

2. El 100% plantea la necesidad de racionalizar la literatura docente de la disciplina en un solo texto, que abarque todos los contenidos programáticos.

3. El 100% plantea la necesidad de que se incluya el Diseño Gráfico Asistido por Computadora. (CAD).

4. Los conocimientos adquiridos le fueron de utilidad un 60% y el 40% casi siempre.

5. Los contenidos de símbolos, esquemas e instalaciones eléctricas lo consideran necesario para la producción y la docencia el 84% siempre y el 16% casi siempre.

6. Los conocimientos de la disciplina lograron desarrollar habilidades para aplicarlas en el trabajo como profesional, el 32% plantea que mucho y el 68% que bastante.

7. La valoración de cómo se impartió el Dibujo en la carrera cuando cursó los estudios, el 44% considera de excelente y el 56% de bueno.

8. La valoración de los conocimientos adquiridos de Geometría Descriptiva para el desarrollo de la imaginación espacial, el 52% lo valora de excelente, el 48 de bueno.

9. El sistema de evaluación que se aplicó lo valoran de excelente 32%, de bueno 68%.

10. El nivel de exigencia de los profesores de las asignaturas en las cuales es necesario aplicar los conocimientos de Dibujo, el 28% de excelente, el 36% de bueno y el 36 % de regular.

11. Los conocimientos adquiridos en la secundaria y preuniversitario, el 64% plantean que no le sirvieron para el estudio de la disciplina y el 36% que si. Los motivos en que se basan es que al recibir el Dibujo en la secundaria en séptimo grado no lo recibieron mas hasta la Universidad. También manifiestan que fue muy pobre el tiempo dedicado a la asignatura, así como la profundidad de los contenidos.

El programa del plan C' perfeccionado, es un programa general, elaborado a partir del criterio ya expresado en el capítulo 1, de facilitar la adecuación en cada centro de los objetivos en función de la Lógica Esencial de la Profesión, pero sin perder de vista las condiciones existentes en los campos de acción y esferas de actuación del futuro ingeniero eléctrico en cada región o CES.

El conocimiento gráfico, es el reflejo subjetivo de la realidad objetiva dado en forma de conceptos, propiedades, relaciones, leyes, métodos, técnicas y opiniones. Las habilidades de interpretar y proyectar, conforman un sistema de acciones y operaciones que se desarrollan para alcanzar el objetivo generalizador de la disciplina. Ambos conocimientos y habilidades como experiencias sociales, son el objeto de aprendizaje, su contenido.

# APLICACIÓN DE LA TÉCNICA MATRICIAL.

La organización de los contenidos se realizó mediante el empleo de 3 matrices para comprobar el ordenamiento de sus componentes cognoscitivos.

La aplicación del método matricial permite evaluar la propuesta y comprobar si no existen deficiencias relacionadas con los nexos entre conceptos dentro de las asignaturas (precedencia; relación intramateria); detectar la ruptura del orden lógico (las denominadas lagunas de conocimientos); los circuitos viciosos; la duplicidad de conocimientos y la introducción no racional de conocimientos. En la siguiente figura 1 aparece la matriz 1, de Geometría Descriptiva.

FILA DE CONTENIDOS ▶																
◀ COLUMNA DE RELACION DE CONTENIDOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																
2	*															
3	*	*														
4	*	*	*													
5	*	*	*	*												
6	*	*	*	*	*											
7	*	*	*	*	*	*										
8	*	*	*	*	*	*	*									
9	*	*	*	*	*	*	*	*								
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
14	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Figura 1: Matriz 1 de la asignatura Geometría Descriptiva..



**PLAN CALENDARIO, P-1. DISCIPLINA: Dibujo para Ingenieros Eléctrico**  
**ASIGNATURAS: 1- Geometría Descriptiva. 2- Dibujo Básico. 3- Dibujo por Computadora.** **CARRERA: Ingeniería Eléctrica.**

**Año: 1<sup>ro</sup> Semestre: 2<sup>do</sup> Curso: 2002-2003 Tipo de Curso: Diurno**

Act. Docent	Clase Tipo	Tiemp (min)	Contenidos
1	C1	90	<b><u>Asignatura 1. Geometría Descriptiva.</u></b> Teoría de las proyecciones. Sistema de dos y tres planos de proy. Sistemas de coordenadas. Proyección del punto, la recta y el plano.
2	T1	180	Proy. de Pto. en axonométrico y abatimiento
3	T2	180	Proy. de la Recta en axonométrico y abatimiento
4	T3	180	Proy. del plano en axonométrico y abatimiento.
5	T4	180	Proyecciones ortogonales y axonométricas de poliedros.
6	T5	180	Proyecciones ortogonales y axonométricas de cuerpos de Superficies curvas.
7	T6	180	Intersección del plano con los cuerpos geométricos elementales. Verdadera magnitud de la sección mediante el Método de Cambio de planos.
8	T7	180	Desarrollos de cuerpos simples
9	C2	90	<b><u>Asignatura 2. Dibujo Básico.</u></b> Introducción al dibujo. Formatos, cajetines, líneas y rotulados.
10	T8	180	Formatos, cajetín y líneas.
11	T9	180	Formato, cajetín y rotulados.
12	T10	180	Croquis de Vistas necesarias y acotado a partir de un modelo real.
13	T11	180	Dibujo con instrumentos de Vistas a escala a partir de un axonométrico y Acotado.
14	T12	180	Determinación de la tercera vista.
15	T13	180	Cortes simples y complejos.
16	T14	180	Secciones.
17	T15	180	Proyecciones axonométricas.
18	L1	180	<b><u>Asignatura 3. Dibujo por Computadora.</u></b> El Sistema AutoCAD. Formas de entrada de datos. Sistemas de menús. Personalización. Sistema de ayuda. Comandos Units, Limits, Prácticas.
19	L2	180	Concepto de entidad. Coordenadas absolutas, relativas y polares Comandos, Line, Erase, undo, Circle, Arc, polígonos, comandos textos.
20	L3	180	UCS, UCSICON. Comando Layer, Itscale, Linetype
21	L4	180	Comando Dim (personalización del acotado, acotado en serie, paralelo, combinado, en ángulo, diámetros, por coordenadas).
22	L5	180	Comandos de edición (zoom, move, rotate, hatch)
23	L6	180	Bloques y atributos. Comando insert, comando shape
24	L7	180	Comandos de simetría, comando copy, Comandos Fillet, Chamfer, Trim
25	L8	180	Comandos plot, y Prplot

### **3. Conclusiones.**

1- Mediante el estudio y aplicación del modelo del profesional del Ingeniero Eléctrico; de los elementos fundamentales de la Teoría del Diseño curricular de pregrado y tomando en consideración las necesidades actuales de la docencia universitaria y del ejercicio profesional en la producción, se logró diseñar el programa perfeccionado para la docencia del Dibujo, que permitirá elevar las exigencias de calidad y pertinencia social.

2. Se reestructuró el sistema de conocimientos de la Disciplina Dibujo para Ingenieros Eléctricos, atendiendo entre otras cosas a los criterios de expertos en dibujo, quedando la disciplina distribuida en tres asignaturas, con objetivos y objetos de estudio diferentes, atendiendo a los núcleos de conocimiento en la disciplina.

3. Se aplicó la nueva estructura del programa en la creación de materiales didácticos, tales como guías de estudio para la autopreparación independiente del estudiante, con el apoyo de las Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, lo que facilitará el proceso de formación de habilidades en el aprendizaje autodidacta, de acuerdo con el llamamiento de la UNESCO, de “aprender a aprender”, y que forma parte de la política docente de nuestro ministerio.

4. Se profundizaron y sistematizaron los conocimientos sobre el Desarrollo histórico de la Gráfica de Ingeniería y del Dibujo en particular, atendiendo al desarrollo evolutivo de esta y su influencia en el modelo del profesional, que a su vez es determinante en la comprensión del estado del arte en esta materia de estudio.

5. El Dibujo como Disciplina, estará compuesto por tres asignaturas que se impartirán en el segundo semestre del primer año de la carrera de Ingeniería Eléctrica, ya que cada una posee su propio objeto de estudio, sistema de objetivos, conocimientos y habilidades.

6. El perfeccionamiento del programa de la Disciplina Dibujo para Ingenieros Eléctricos, que se propone en facilitó la confección de la página WEB correspondiente.

### **Referencias**

ÁLVAREZ, C. Z. El perfeccionamiento en la Educación Superior Cubana. Sus tendencias actuales: Revista Cubana de Educación Superior, Ciudad Habana Vol. 13 No. 2, 1993.

ÁLVAREZ, P; Rubio, R; García, R; Suárez, J; López, J. Reflexiones acerca del desarrollo y utilización de un programa de CAD propio frente a programas comerciales. Universidad de Oviedo. Actas del XI INGEGRAF, Pamplona, España, 1999.

ÁLVAREZ, J. G. La organización de la disciplina técnicas de comunicación y el desarrollo de la representación gráfica en el arquitecto. Tesis para optar por el título de Máster en Educación superior, Universidad de Camagüey, 2000.

ARCHIVO. Escuela de Artes y Oficios. Escuela de Ingenieros Electricistas. <http://www.mec.es/cide/archivo/materiales/universidades/universidades.htm>, 2002.

BIDECO / CATALOGO DE SERVICIOS. Ingenieros Electricistas, <http://www.bideco.com.mx/catalogos/biclavse.html>, 2002.

CADELEC - Perfil de empresa. Ingenieros eléctricos .Software para ingenieros eléctricos. <http://www.cadelec.com/Spa/Company.htm>, 2002.

CARRERAS - U. de La Salle. Asociación Colombiana de Ingenieros Electricistas. <http://www.lasalle.edu.co/ielectri/ielectrica.html>, 2002.

CONESA, J. P. La estructura del aprendizaje en el contexto de los sistemas CAD. Universidad de Murcia. Actas X INGEGRAF, Malaga. España, 1998.

CUBA, Plan de Estudio “C” perfeccionado de la carrera de Ingeniería Eléctrica. MES, 1998.

CUBA, Programa de estudio de la disciplina Dibujo para Ingenieros Eléctricos, Plan “C” perfeccionado. MES, 1998.

FERNÁNDEZ, U. M. Perfeccionamiento de la Disciplina Dibujo para la carrera de Ingeniería Mecánica. Tesis para optar por el título de Master en Educación superior, Universidad de Camagüey, 1998.

FERNÁNDEZ, U; Pérez, P; Ramírez, J. La enseñanza del dibujo como vehículo para la realización de proyectos en Ingeniería Mecánica, Evento Internacional MECA 96, Universidad de Ciego de Avila, Junio, 1996.

GONZÁLEZ, O. Aplicación del enfoque de la actividad al perfeccionamiento de la Educación Superior: Centro de Estudios para el perfeccionamiento de la Educación Superior, Universidad de la Habana, 1999.

MESTRE, GÓMEZ, ULISES; Fuentes González, Homero; Cruz. Diseño curricular. Hacia una concepción curricular en base a la lógica esencial de la profesión. <http://www.monografias.com/cgi-bin/jump.cgi?ID=26043>, 2002.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Documento Base para la Elaboración de los Planes de Estudio C. República de Cuba. Habana, 1991.

MORCIEGO GARCÍA, Carlos E; La Formación posgraduada en Ingeniería Gráfica. Tesis de Maestría en ciencias de la Educación. Univ de Camagüey. 2001.

NÚÑEZ, P; Sánchez-Reyes, J. Modelo metodológico para las asignaturas de Expresión Gráfica en la E.T.S. de Ingenieros Industriales de la Universidad de Castilla, La Mancha. Actas del XI INGEGRAF, Pamplona, España, 1999.

PORTUONDO, R. P. Interrelación intra y extratemas en los programas de asignaturas: Camagüey, Conferencia Metodológica, 1986.

PORTUONDO, R. P. Aproximación a una teoría del diseño curricular, Conferencia Metodológica, Camagüey, 1996.

SAN ANTONIO, J. G. El Devenir Gráfico: objetivos pedagógicos y medios geométricos y formales. Universidad Politécnica de Madrid. Actas de X INGEGRAF, Jaén, España, 1996.

TORRES, M. La elaboración de planes de estudio y programas y su perfeccionamiento en la República de Cuba. La Educación Superior Contemporánea. La Habana. 42 (2), 1983.

PORTUONDO, R. P. Castelló, G. J. “Diseño Curricular Estratégico y Desarrollador de Sistemas de Capacitación”. Centro de Estudios de Ciencias de la Educación "Enrique José Varona". Universidad de Camagüey. Cuba, 2000.

VALDES, E. B. “Monografía sobre Diseño curricular para el desarrollo del Trabajo Metodológico y la Superación Profesorado”. Edit. Univ. De Camagüey. Cuba, 1997.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### STEREO VISION AND LASER STRIPERS FOR THREE-DIMENSIONAL SURFACE MEASUREMENTS

BARONE, Sandro; BRUNO, Andrea

University of Pisa

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione

Email: [s.barone@ing.unipi.it](mailto:s.barone@ing.unipi.it), [andrea.bruno@ing.unipi.it](mailto:andrea.bruno@ing.unipi.it)

### ABSTRACT

In this paper, a 3D scanner, based on tracking a laser stripe by a stereo vision sensor, is presented. The system is composed of a pair of digital cameras, a laser stripe generator and software to control the hardware and process the images. The measurement procedure is based on detecting laser stripe locations in the digital images with subpixel resolution. Stereo vision principles are then used to correlate the data between the pair of images.

The measurement process does not require the calibration of the laser light source. The use of a stereo vision system allows the integration with a photogrammetric procedure, developed in a previous research activity, to align multiple scans.

In the work, experimental tests have been conducted with nominal models to analyse and verify usability and accuracy of the methodology.

**Key words:** Reverse engineering, stereo-vision, surface modelling.

## 1. Introduction

During the last decades, innovative optical technologies have proven to be very effective in providing *non-contact techniques* for measuring three-dimensional shapes [1].

The selection of a vision system is highly dependent on the type of applications and its practical limitations. Widely accepted measurement techniques are based on scanning a surface by controlled beams of radiation, typically laser [2] or white light [3], which interact with capturing devices (*active systems*). Geometric data about objects are extracted by processing grey intensity images. These methodologies require complicated calibration procedures to evaluate the parameters of the optical devices (*i.e.*, sensors and light source), necessary for the measurement process.

Although very accurate, these techniques cannot be used as general purpose because optical adjustments are required for every specific application and, consequently, tremendous effort must be devoted to calibration aspects.

This paper presents a research activity concerning the development of a versatile non-contact scanning system, which overcomes some of the limitations above described. The system uses a laser light source and a stereo image acquisition sensor, which is calibrated by simple procedures [4]. The measurement process is based on laser stripe tracking by using principles of stereo-vision. In particular, a procedure has been developed to detect peak positions with sub-pixel accuracy on the basis of light intensity constraints and fuzzy decision maker. The method comprehends algorithms for camera calibration, laser stripe detection and analysis, and 3D range-map reconstruction.

In the paper, the methodology is described and laboratory applications are illustrated.

## 2. The experimental setup

The optical system (Figure 1) is composed of two conventional monochrome digital cameras and a laser source (laser diode, wavelength 650 nm, output power 35 mW). For this work, all images were sampled with a matrix containing 1280×960 pixels and quantized with 256 grey levels ( $I(x,y)=0$ : black;  $I(x,y)=255$ : white). The laser light is a beam of circular cross-section with Gaussian intensity profile. The laser beam is spread by a cylindrical lens into a thin plane, so that the intensity profiles in the image planes of the cameras are practically still Gaussian across the stripes. This is used for detecting the stripe centres in the camera images with subpixel resolution.

The light beam generated by the laser is deflected by a mirror and scanned on the object. Generally, all types of laser-based 3D range finders are based on calibrating an optical configuration, which includes sensors and light source [2]. In this paper, the 3D stripes are reconstructed by only using 2-D imagery, whereas the laser light source is not directly involved in the measurement process. There are certain advantages to using this approach. In particular, because the knowledge of the moving part positions is not needed in the triangulation process, the method lends itself to be simple, inexpensive and mechanically very robust. Moreover, the calibration of a stereo-vision system is now a well-established procedure, which can be easily carried out to adapt the stereo vision configuration to specific contexts.



*Figure 1: The stereo-vision system.*

The calibration procedure [4] allows the calculation of the intrinsic (focal distances, coordinates of the principal points, radial and tangential distortions) and extrinsic (positions and orientations with respect to an absolute reference system) of the cameras. In particular, the parameters of the camera are obtained correlating the coordinates of known markers located on a calibrating sample, acquired in different positions, with the corresponding coordinates on the image planes. The procedure provides the translation vector and the rotation matrix of the reference system of the camera with reference to an absolute datum system.

### 3. Laser stripe detection

The images acquired through the instrumentation above described are evaluated and the results are processed in order to obtain 3D point maps. Figures 2 show a pair of images acquired by the stereo-vision system. An image processing procedure is applied to detect the locations of laser stripe centres in the camera images.

Naidu and Fisher [5] have proposed an interesting comparative analysis of five algorithms for determining the peak position of a laser stripe in an image with sub-pixel accuracy. In this work, the Blais e Rioux detector [6], which has been verified to be more noise-tolerant and equally computationally efficient, has been used.

In the original image, the grey level transition across a laser line is gradual (Figure 3-a), in theory Gaussian, and this permits a sub-pixel evaluation of the line centres. The algorithm is based on the differentiation of the signal and the elimination of high frequency noise by using linear filters. In particular, the filtered signal at a pixel  $x,y$  is given by  $2n^{\text{th}}$  order linear operator defined as:

$$I_f(x, y) = \sum_{i=-n}^n -\text{sign}(i) I(x+i, y) \quad (1)$$

where  $I(x,y)$  is the grey level measured in the acquired images at a pixel  $x,y$  and  $-\text{sign}(i)$  is the sign operator. Typically,  $6^{\text{th}}$  and  $8^{\text{th}}$  order operators have provided good performances with stripe width of at least 3 pixels. It is remarkable that these operators act like a form of numerical derivative operator (Figure 3-b). Figure 4 shows the full field map of filtered signals obtained from Figure 2-a.

Linear interpolation is then used to increase the precision of the zero crossing. In particular, the peak position is estimated with subpixel accuracy as:

$$X_I = x_c + \delta = \frac{I_f(x_c, y)}{I_f(x_c, y) - I_f(x_c + 1, y)} \quad Y_I = y \quad (2)$$

where  $I_f(x_c, y)$  and  $I_f(x_c + 1, y)$  are the filtered signals at the zero crossing zone.

By this procedure the centres of the lines are determined with a resolution which depends on grid line width, grey level profile, grey level difference and system noise. In this paper, a resolution of 0.08 pixels was obtained applying a  $6^{\text{th}}$  order operator to 10-pixel width lines and amplitude of the signal 130.

The detection of laser stripe centres can be disturbed by the presence of undesirable elements in the scene. Figure 5 show the plots of the intensity levels and the filtered signals measured across three different lines of the acquired image (Figure 2-a) and the filtered map (Figure 4). It is apparent that the signal peaks are not always due the presence of a laser stripe, rather, spurious elements in the scene can also induce forms of signal variations. The use of pass-band interference filters can partially avoid these drawbacks. However, this solution does not allow the use of a multi-scan procedure based on photogrammetric routines integrated to the measurement process as proposed in [3].

In this paper, a fuzzy-based algorithm has been developed and applied to the filtered maps (Figure 4) in order to optimise the peak detection process. In particular, the filtered maps are row-wise scanned; for each row, the filtered signal is measured and a *fuzzy decision maker* [7] is employed to resolve whether the light variations are due to the laser stripe or spurious image features. The fuzzy algorithm is an ordered set of conditional fuzzy statements, which upon execution yield an approximate solution to the recognition problem reproducing human inference way. Each statement deals with *fuzzy variables*, which are defined to distinguish peaks of intensity. The fuzzy procedure is based on detecting the highest ( $I_M$ ) and smallest ( $I_m$ ) values of each filtered signal distribution (Figure 4). Then, five variables, named  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ , are defined as:

$$a = |I_M| + |I_m| \quad (3)$$

$$b = |I_M| - |I_m| \quad (4)$$

$$c = I_M \times I_m \quad (5)$$

$$d = |x_M - x_m| \quad (6)$$

$$e = x_M - x_m \quad (7)$$

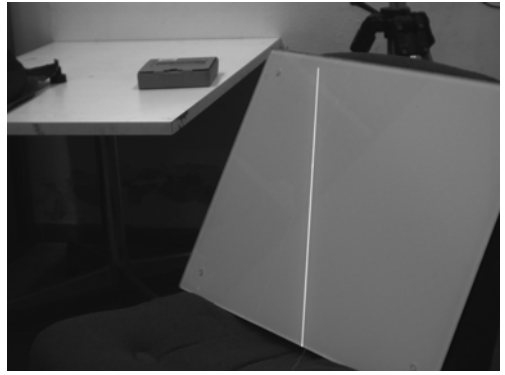
where  $x_M$  and  $x_m$  are the pixels where  $I_M$  and  $I_m$  occur, respectively,  $a$  takes into account the difference of intensity between the peak and his neighbourhood,  $b$  takes into account the symmetry of the peak distribution,  $c$ ,  $d$  and  $e$  control the distribution and the position of the signal peak. The five variables are modelled by means of fuzzy membership functions (Figure 5) with different shapes and chosen on the basis of a trial and error method. The modelling procedure provides the basis for the set of fuzzy rules, which are processed by a Sugeno-style inference and the weighted sum as a defuzzification method.

The fuzzy algorithm coupled to camera adjustments (*i.e.*, gain and shutter-time) provide high robustness to the peak detection process, even in non-controlled working environments.



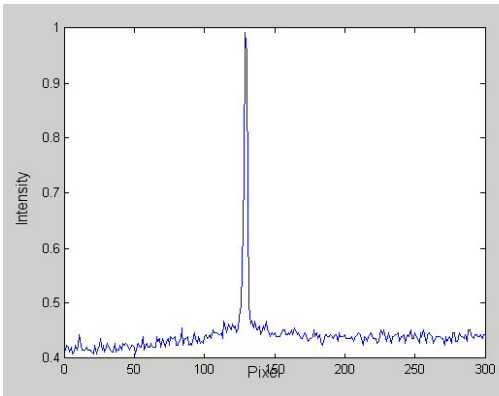


(a)

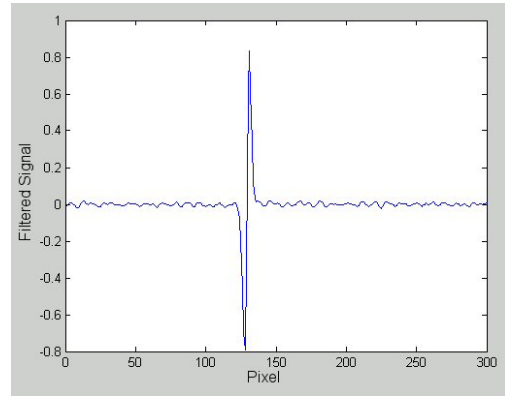


(b)

Figure 2: Example of acquired left (a) and right (b) images: measurement of a rectified plane.



(a)



(b)

Figure 3: Grey level distributions (a) and filtered signals (b) across a laser stripe.

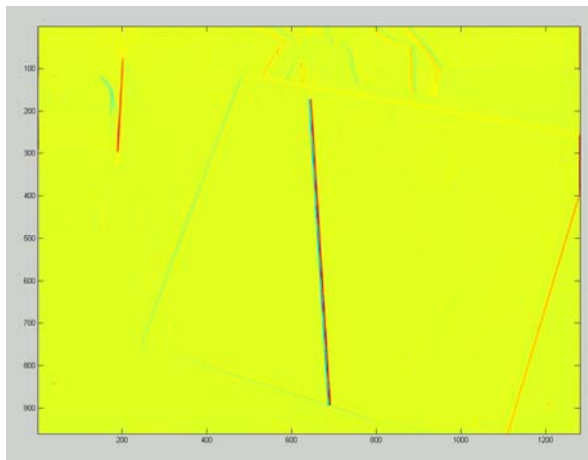


Figure 4: Full field map of the filtered signals obtained from the image of Figure 2-a.

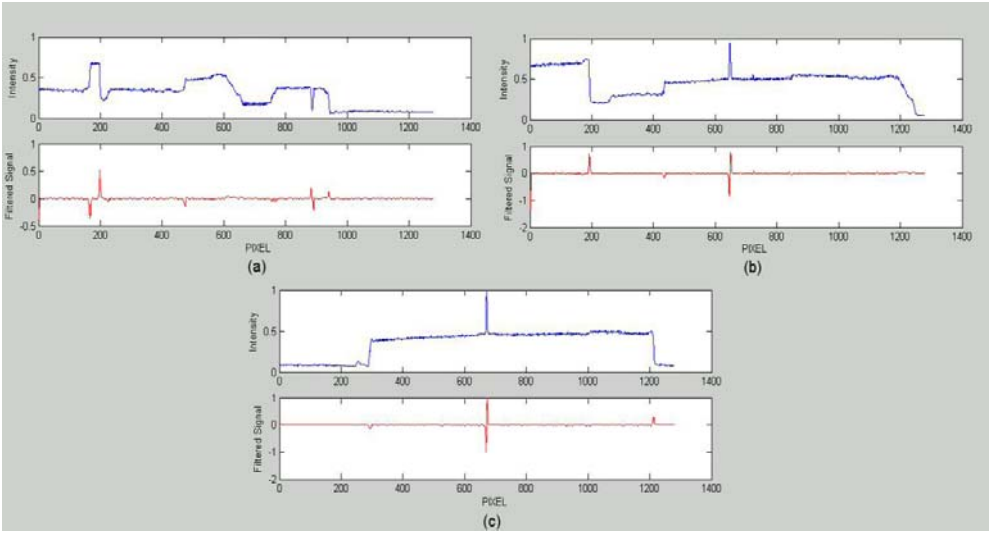


Figure 5: Plots of intensity levels and filtered signals measured in three different rows of the acquired filtered images.

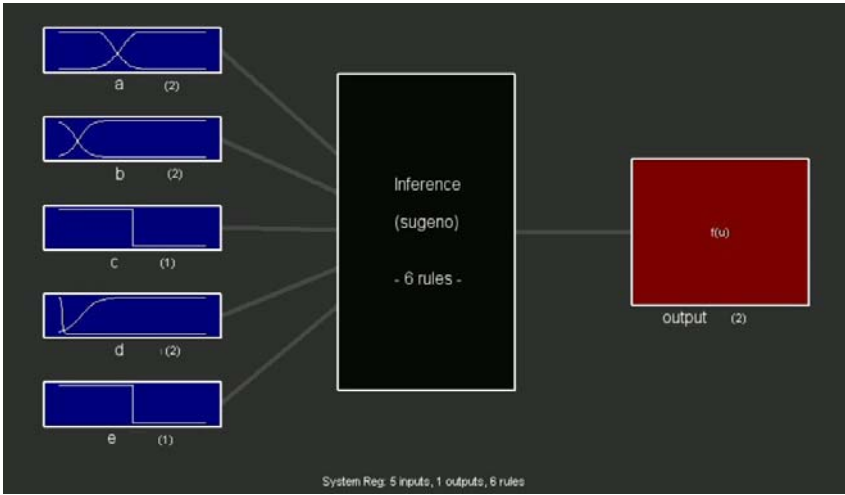


Figure 6: Scheme of the fuzzy inference system.

#### 4. Stereo image correlation

The 3D measurement using stereo vision requires the matching of conjugate image points. The correlation process is typically based on similarity constraints (feature-based or intensity-based). However, a point in image  $I_1$  can be correlated with many points in image  $I_2$  (false matches), and this problem is particularly evident in measuring free-form surfaces due to the absence of peculiarities in the scene to be used as similarity constraints.

The measurement system presented in this paper solves the matching problem by combining the laser stripe detection (intensity-based constraint) with the epipolar geometry (stereo vision constraint) (Figure 7). In particular, given a point  $m_i$  on the

image  $I_1$  (camera 1), its conjugate  $m_2$  on the image  $I_2$  (camera 2) belongs to the epipolar line defined as intersection of the image plane with the plane through  $m_1$  and the focuses of the two optical devices.

On the basis of the perspective projection theory, the coordinates of conjugate points  $m_1$  e  $m_2$  are defined by the following equations:

$$m_i = P_i \times w \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

where  $P_i$  ( $i = 1, 2$ ) is the perspective projection matrix and  $w$  the coordinate vector of a generic 3D point. The mathematical expressions of the optical rays through  $w$  and the focus  $c_1$ , or  $c_2$ , can be written as:

$$w_\lambda = c_i + \lambda w_{i\infty} = c_i + \lambda P_i^+ m_i \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

where  $\lambda$  is a scalar parameter,  $w_{i\infty}$  represents the direction of an optical ray and  $P_i^+$  is the pseudo-inverse perspective matrix.

The epipolar line  $l_2$  corresponds to the projection of the optical ray  $w-c_1$  on to the image plane of the second camera ( $I_2$ ) with respect to the optical centre  $c_2$ . Its expression can be determined considering the projections of  $c_1$  on to  $I_2$  (corresponding to the epipole  $e_2$ ) and infinite point of the optical ray  $w-c_1$ . These points are defined as:

$$e_2 = P_2 \times c_1 \quad (10)$$

$$e_{2\infty} = P_2 P_1^+ \cdot m_1 \quad (11)$$

The equation of the epipolar line of  $m_1$  can then be written as (in homogeneous coordinates):

$$l_2 = e_2 + \lambda_{e_2} e_{2\infty} \quad (12)$$

Considering that an equation in homogeneous coordinates of a line through two points can be written as the external product of the points, the epipolar line of  $m_1$  can be expressed as:

$$l_2 = e_2 \times e_{2\infty} = e_2 \times P_2 P_1^+ \cdot m_1 = F \cdot m_1 \quad (13)$$

The matrix  $F$ , named the *Fundamental Matrix* (a 3×3 square matrix), depends on the epipolar parameters and the perspective projection matrixes of the optical devices, which can be obtained by the calibration routines. However, considering that the point  $m_2$ , conjugate of  $m_1$ , belongs to the epipolar line  $l_2$ , the following relation can be written (Longuet-Higgins equation):

$$m_2^T \cdot F \cdot m_1 = 0 \quad (14)$$

The *Fundamental Matrix* is obtained on the basis of an optimisation procedure, considering a number of known conjugate points higher than the number of unknowns.

In the method developed in this paper, the epipolar constraint is applied to the points belonging to the laser stripes. The matching problem of conjugate points is straightforward considering that, in each image plane, a conjugate point belongs both to a laser line and to an epipolar line (Figure 7): given a laser line point  $m_1$  on the image ( $I_1$ ), its conjugate  $m_2$  is obtained as intersection between the epipolar line and the laser stripe on the image ( $I_2$ ).

Then, from the knowledge of the conjugate pair  $m_1$ ,  $m_2$ , the corresponding 3D point  $w$  is determined by a triangulation procedure.

The correlation procedure does not require any operator's intervention. The combination of two constraints, *i.e.* laser line and epipolar line belongings, guarantees the matching problem has always a unique solution. Moreover, this methodology can efficiently be used to measure free-form shapes, which typically do not present peculiarities usable by classical correlation procedures.

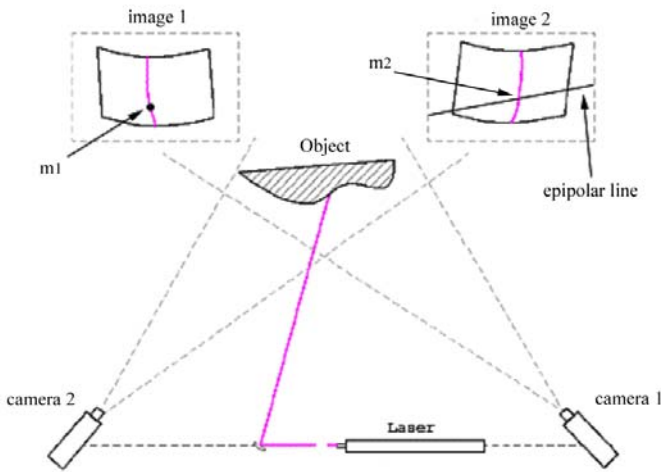


Figure 7: Schematic diagram of the stereo vision set-up.

## 5. Laboratory applications

Experimental tests have been carried out to measure nominal shapes to verify the accuracy of the proposed methodology. In particular, two nominal samples, *i.e.* a rectified stepped surface and a cylinder (radius of 125 mm), have been captured with working distances of 1800 mm and 3000 mm.

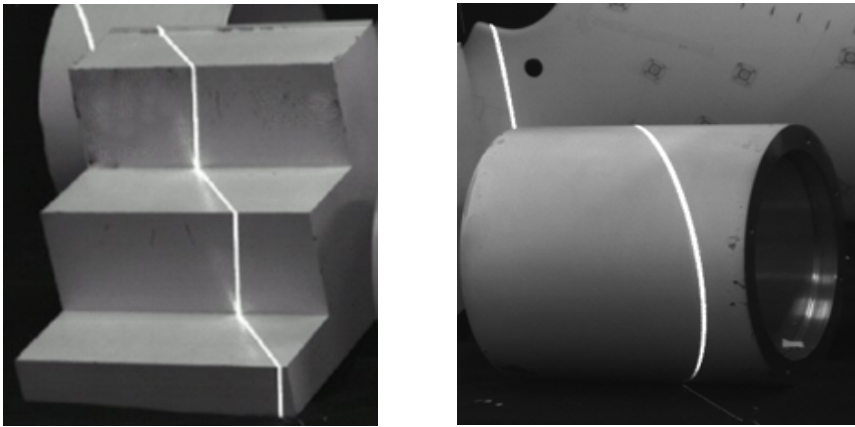
Figure 8-a shows the three-dimensional points determined for the stepped surface. The experimental points have been compared with planes of best fit. The analysis of deviations has yielded an average error of 0.15 mm and a standard deviation of 0.07

mm with a working distance of 1800 mm, and an average error of 0.27 mm and a standard deviation of 0.18 mm with a working distance of 3000 mm.

Figure 8-b shows the three-dimensional points determined for the cylindrical surface. The experimental points have been compared with a cylinder of best fit. The analysis of deviations has yielded an average error of 0.1 mm and a standard deviation of 0.05 mm with a working distance of 1800 mm, and an average error of 0.19 mm and a standard deviation of 0.1 mm with a working distance of 3000 mm.

It is possible to note the results for the cylinder are more accurate than those obtained for the stepped surface. This is probably due the better surface quality of the cylinder, which showed negligible reflection phenomena.

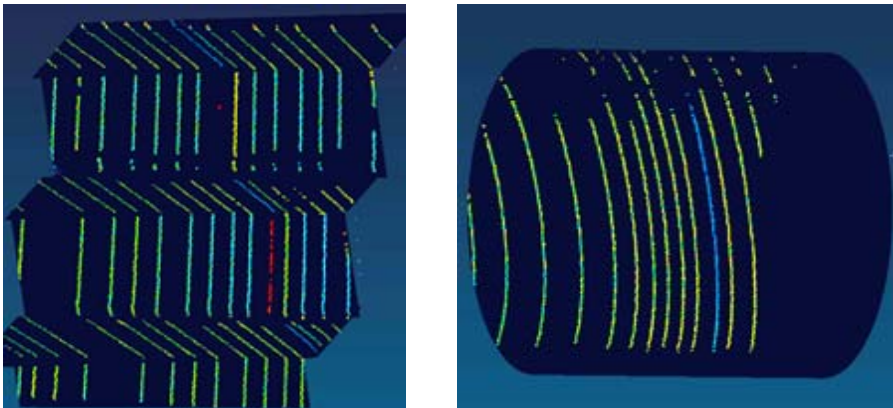
It is interesting to evidence that the procedure directly yields sets of ordered points, which can better support the successive process of surface modelling.



(a)

(b)

*Figure 8: Acquisition of rectified stepped surface (a) and a cylindrical surface (b).*



(a)

(b)

*Figure 9: Deviations from the nominal geometries of Figures 8 as obtained by the proposed method for the rectified stepped surface (a) and the cylindrical surface (b).*

## 6. Conclusions

In this paper, a stereo vision system for shape measurement applications has been developed. The methodology is based on using light stripe, generated by a laser beam deflected by a mirror and scanned on the object, and a stereo vision system. A procedure has been developed to detect peak positions with sub-pixel accuracy on the basis of light intensity constraints and fuzzy decision maker. The 3D stripes are reconstructed by only using 2-D image information, whereas the laser light source is not directly involved in the measurement process.

This solution reduces the influence of the mechanical moving parts on the accuracy and the stability of the system. Moreover, the optical configuration can be easily adapted to specific applications calibrating the stereo vision system by well-established procedures.

Experimental applications concerning shape measurements of nominal models have evidenced the accuracy and the easy of use of the proposed technique.

## References

- [1] VÁRADY T., MARTIN R.R., COX J., "Reverse engineering of geometric models – an introduction", *Computer Aided Design*, 29(4), 1997, 255-268.
- [2] ELLI ANGELOPOULOU, JOHN R. WRIGHT, "Laser Scanner Technology", Philadelphia, PA 19104-6228, GRASP Laboratory University of Pennsylvania 1999.
- [3] BARONE S., CURCIO A., RAZIONALE A., "A structured light stereo system for reverse engineering applications", *Proceedings of the IV Italo-Español Seminar on Reverse Engineering Techniques and Applications*, Naples 2003, 65-74.
- [4] GRUEN A., HUANG T.S., "Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision", Springer, Berlin, 2001.
- [5] TRUCCO E., FISHER R.B., FITZGIBBON A.W., NAIDU D.K., "Calibration, data consistency and model acquisition with laser stripers", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 11(9), 1998, 293-310.
- [6] BLAISE F., RIOUX M., "Real-Time Numerical Peak Detector." *Signal Processing*, 1986, 11, 145-155.
- [7] KASABOV N.K., "Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering", A Bradford Book, 1996, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ANÁLISIS DEL PRODUCTO vs DECISIONES SOBRE EL DISEÑO.

TRONCOSO SARACHO, José Carlos (1); ALONSO RODRIGUEZ, José Antonio (2)

Universidad de Vigo, España

Esc. Univ. de Ingeniería Técnica Industrial de Vigo, Departamento de Diseño en la Ingeniería

Correo electrónico: (1) [tsaracho@uvigo.es](mailto:tsaracho@uvigo.es)

(2) [jaalonso@uvigo.es](mailto:jaalonso@uvigo.es)

### RESUMEN

Al recibir, la oficina técnica, el encargo de la realización de un nuevo producto/pieza, el técnico se enfrenta a un conjunto de decisiones que tendrán una significativa repercusión en el producto final. Así el diseñador deberá tomar en consideración la posibilidad de fabricar o comprar determinados componentes del producto. Si se opta por la fabricación será necesario decidir materias y procesos, lo que implicará unos costes, unas tolerancias y unas especificaciones de forma determinadas.

En muchas ocasiones los profesionales del dibujo obviamos la existencia de posibles soluciones, “preferenciando”, de forma consciente o no, una potencial solución. Es necesario por tanto que a la hora de “diseñar” nuestros productos que concienciamos a los diseñadores y dibujantes de que la decisión de utilizar uno u otro material nos puede condicionar posteriormente a la hora de poder utilizar o no elementos estándares existentes en el mercado y viceversa, y que una “forma” determinada con unas tolerancias específicas puede obligar a elaborar una pieza utilizando un procedimiento específico y con unos costes o tiempos superiores.

En esta ponencia intentaremos plantear una serie de preguntas que deben ser respondidas antes de abordar el “diseño” final del producto.

**Palabras clave:** Toma de decisiones, materiales, diseño, metodologías y técnicas de diseño y definición de productos.

### ABSTRACT

When receiving, the technical office, the responsibility gives the realization she gives a new product/piece, the technician faces a group he gives decisions that will have a significant repercussion in the endproduct. The designer will take this way in consideration the possibility he gives to manufacture or to buy certain components he gives the product. If it is opted by the

production it will be necessary to decide matters and processes, what will imply some cost, some tolerances and some specifications gives determined form.

In many occasions the professionals give the drawing we obviate the existence he/she gives possible solutions, "loving", give conscious form or no, a potential solution. It's necessary therefore, when designing our products, that we make aware the designers give that the decision gives to use one or another material can condition us later on when being able to use or no existent standard elements in the market and viceversa, and that a certain "form" with some specific tolerances can force to elaborate a piece using a specific procedure and with some superior cost or times.

In this report we will try to outline a serie of questions that should be responded before approaching the final "design" that will give the product.

**Key words:** Taking of decisions, materials, design, methodologies and design techniques and product definitions.

## 1. Introducción

Cierto es que en la actualidad la problemática del diseño se aborda en base a recursos informáticos que permiten al diseñador el crear el elemento de forma virtual y verificar sus dimensiones y posibilidades de integración en conjuntos mayores de forma "casi real" y muy interactiva, pero las facilidades que los soportes informáticos nos ofrecen no deben eclipsar ni minimizar la importancia de otras decisiones en el proceso de definición de cada elemento a fabricar, sino todo lo contrario ya que al disponer de herramientas que facilitan el proceso de diseño "geométrico" el técnico-artista dispone de mas tiempo y opciones para verificar las posibilidades que cada opción de materiales y procesos de fabricación ofrece. De esta forma se debe considerar que una gran parte del tiempo que se puede ahorrar en el proceso de "dibujo" y definición geométrica y parametrización de los elementos físicos no es tiempo que se ahorra en su totalidad sino que es tiempo que debe ser reinvertido en el análisis pormenorizado de las posibilidades que se pueden presentar y de esta forma mejorar y depurar más si cabe la definición del todos los elementos.

Cada vez toman más relevancia, además de los aspectos clásicos como son los económicos (el coste de fabricación de cualquier ítem debe minimizarse siempre que sea posible), estéticos (hacer lo cotidiano bello) y funcionales (debe servir para lo que inicialmente se diseña ..., si además sirve para otras cosas entonces "mejor que mejor"), aspectos hasta hace poco no muy tenidos en cuenta: mantenibilidad, ecología, seguridad, durabilidad, ...

## 2. Consideraciones iniciales.

El desarrollo de productos es casi siempre una actividad interminable y cíclica. Cada nuevo producto acabado proporciona a su vez la base para la siguiente secuencia de desarrollo (*ver fig. 1*)





Fig. 1

Un desarrollo de producto incluye varios aspectos de la investigación, planificación de operaciones y diseño del producto, que implican necesariamente a distintos departamentos (y no solo a diseño): marketing, producción, aprovisionamiento, metodos, ... y está íntimamente controlado por la Dirección de la empresa. En la siguiente tabla se muestran de forma esquemática las etapas de desarrollo de producto simplificadas en operaciones:

Tabla 1: Fases de desarrollo de producto.

Fase	Resultado de la fase
Investigación	Análisis del mercado Análisis de las tácticas de los competidores Hechos sobre ideas y patentes de posibles nuevos productos importables Cálculo preliminar del producto
Desarrollo de la concepción del producto	Especificaciones, tal vez diversificadas para distintos mercados Concepción preliminar del producto Diseño preliminar del producto Cálculos del producto (soluciones técnicas) Concepción de la producción (¿Dónde? ¿Qué partes se compran?)
Desarrollar el producto y el proceso de producción	El diseño está finalizado Prototipos Despiece inicial Especificaciones para componentes Decisión de materiales y procesos de fabricación Plan preliminar de producción Planos detallados y hojas de características Patente de las innovaciones en el momento apropiado
Preparación final del diseño y el proceso de producción	Elementos estándares comerciales (proveedores) Elementos a fabricar (producción propia o subcontratada) Los primeros productos se hacen en la cadena de producción y su calidad es comprobada Se forma a los trabajadores El equipo de producción está listo para la velocidad final de la producción (que se somete a comprobación) La organización de marketing y posventa está lista
Producción regular	(Existen objetivos específicos para la producción regular que no se abordan aquí)

Con el fin de economizar el proceso de fabricación y montaje de cualquier conjunto una de las premisas a cumplir, siempre que nos sea posible, es el utilizar elementos comerciales y lo mas estándares posible ya que de esta manera se facilitan los aprovisionamientos, se aumenta el numero de proveedores potenciales al mismo tiempo que se ahorran costes ya que al aumentar la oferta los márgenes de estos se acortan, y, lo que no es menos importante, se facilita la existencia de repuestos.

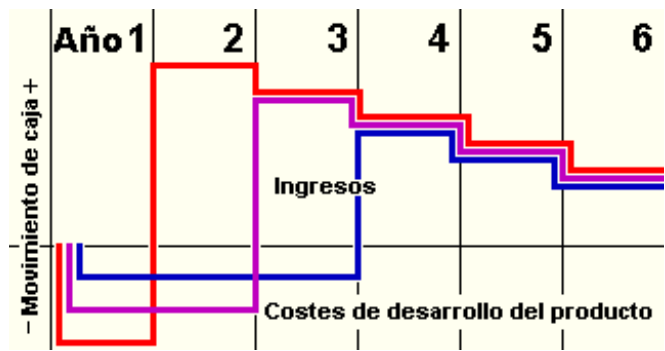


Fig. 2

Además el desarrollo de un producto debe estar bien organizado porque lo habitual es que no haya tiempo que perder. "El rápido se come al lento". La compañía que lanza un producto antes que sus competidores, siempre que este sea 'correcto', logrará beneficios durante un tiempo de ventas más largo antes de que tenga lugar el envejecimiento comercial del producto (véase, en el diagrama la línea superior). Además, el precio inicial, más alto, del producto nuevo producirá más beneficios que los que puedan proporcionar los productos tardíos de los competidores más lentos (líneas intermedia e inferior). Precisamente por esto es por lo que si se puede recurrir a un elemento estándar ya existente en el mercado se ahorra tiempo, y por consiguiente dinero, en la disponibilidad del mismo.

## Proceso de desarrollo del producto



Fig. 3

3. Desarrollo del nuevo producto.

El proceso de desarrollo de un producto normalmente incluye, como cualquier otro proyecto, la gestión habitual de proyecto: tras cada estadio, se informa del proyecto a la Dirección y se reciben objetivos para es siguiente estadio. Si la Dirección quiere controlar el trabajo muy estrechamente, la vía normal es posponer el comienzo de la siguiente fase hasta que la precedente esté aprobada. Este tipo de programación se muestra en el diagrama de abajo. Las flechas indican las acciones de dirección llevadas a cabo por los gestores.

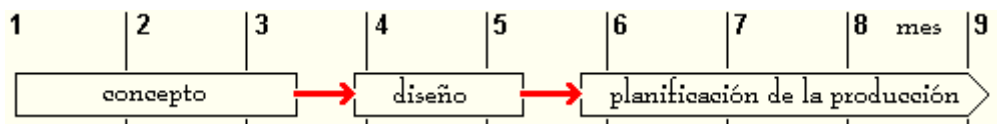


Fig. 4

La programación sucesiva de un proyecto de desarrollo lleva una gran cantidad de valioso tiempo. Esto es por lo que en ocasiones se usa una alternativa en que las fases se solapan ("*ingeniería concurrente*"). Este método se usa también en la tabla de arriba, donde, por ejemplo, el diseño de producto se divide en dos estadios: preliminar y final.

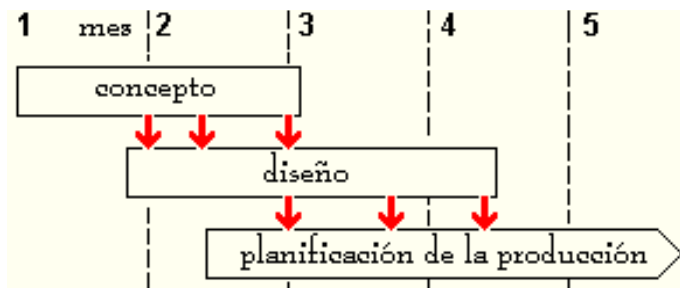


Fig. 5

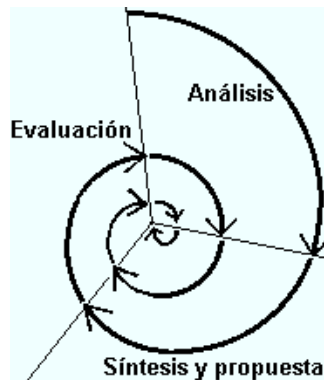
El procedimiento exacto del desarrollo de producto depende de la naturaleza del producto, de la extensión de la producción y de muchas circunstancias locales. Especialmente inconstante es la fase del planeamiento de producción debido a los múltiples factores que influyen en ella.

Algunas operaciones lógicas se repiten en la mayoría de los proyectos, sin importar la especie del producto que resulta. Es claro que la actividad *dominante* en las fases iniciales del proyecto es análisis, mientras que en el punto medio del emprendiendo el punto focal se pasa en síntesis y finalmente en evaluación. Estas tres técnicas por lo tanto se seleccionan como la estructura en la presentación siguiente.

Por supuesto, el proceso del desarrollo de producto es raramente tan sencillo que podría consistir en simplemente una sucesión de apenas tres fases. En lugar, sucede a menudo que cuando una subrutina en el proceso ha producido un informe que se parece acabado, sin embargo resulta ser inaceptable y tiene que hacerlo de nuevo, quizás otra vez como sucesión del análisis, de la síntesis y evaluación, en una escala más pequeña. El proceso entero puede asemejarse a menudo a un espiral (*fig.6*) que se acerca a la meta alternando las operaciones.

#### 4. Decisiones de producto.

Como es lógico el diseñador va asumiendo a lo largo del desarrollo del producto decisiones que le van a restringir las siguientes decisiones. Empezando por las dimensiones generales (normalmente predefinidos por las exigencias futuras de uso), forma de las piezas (macizas, huecas, con/sin nervios, ...), acabados (pulidos, brutos, color, ...), ... y en general otros que pueden tener una importancia muy considerable en los tiempos y costes de fabricación: materiales (plásticos, metálicos, cerámicos, ...), dependiendo del material tendremos métodos y procesos de fabricación (no será lo mismo la fabricación de un componente metálico que el mismo componente en material plástico).



*Fig. 6*

Cada una de estas decisiones conlleva la necesidad de que el diseñador tenga conocimientos sobre las posibilidades que cada opción ofrece (ventajas e inconvenientes, materiales de partida que nos pueden suministrar los proveedores, costes, durabilidad, versatilidad, acabados posibles, estética, ...) considerando en todo caso los límites que cada una tiene. Resulta mas que evidente que no será lo mismo fabricar un componente en madera, que en una aleación metálica ligera o usando un polímero sintético sabiendo que cada cual tiene unas características físicas (y químicas) diferentes y que debe ser “trabajado” por unos procesos de fabricación específicas, así como ejemplo no resulta factible diseñar una pieza que queremos que sea realizado en madera y que deseamos que se fabrique por medio de inyección y moldeo (lo que si podría realizarse en el caso de plásticos o metales) , por el contrario

si el proceso deseado es de arranque de virutas el material podría ser en el caso general metálico, madera o plástico.

Por otro lado dependerá de los materiales y procesos elegidos los tiempos de elaboración y procesado. Además las tolerancias geométricas y dimensionales que podríamos tener en cada una de las piezas también vienen en gran modo limitadas por las características de los procesos de fabricación elegidos y desde luego por los materiales seleccionados.

Pero antes de decidir como fabricar y en que material la decisión que se debe tomar es si el elemento en cuestión se va a fabricar o si se puede recurrir a una pieza comercial que ya exista en el mercado y que cumpla las especificaciones y requisitos técnicos y estéticos solicitados a un precio asequible, lo que nos facilitaría la estandarización y el tener repuestos de esta pieza en cualquier momento.

También debe tenerse en cuenta la mantenibilidad del elemento en el futuro y la posibilidad de disponer de “piezas” cuando sea preciso (a un coste asequible se entiende). Y cada vez reviste mayor importancia el tema de la seguridad y de la ergonomía, no solo desde el punto de vista del usuario final (potencial cliente) sino también dentro de los propios procesos de fabricación dentro de las instalaciones industriales: menos contaminantes, disminución de residuos, menores pesos, menos manipulaciones y cargas, menos ruidos, ... En este punto se podría citar como ejemplo la sustitución de remaches por el uso de pernos autoroscables que no hacen tanto ruido en su aplicación, al mismo tiempo que disminuyen los residuos, son reutilizables y facilitan el montaje y desensamblado y la restitución a su situación si fuera necesario en una actividad posterior de mantenimiento.

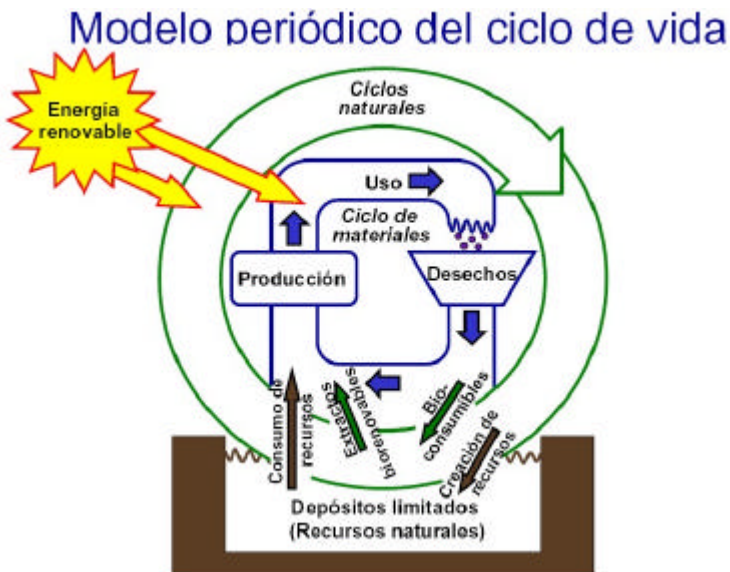


Fig. 7

Respecto a materiales una de las consideraciones mas importantes actualmente es la ecología, ya que se elige uno u otro material en aras de una menor contaminación ambiental (uso del PET en sustitución del PVC por sus beneficios medioambientales; o sustitución de maderas nobles por polímeros sintéticos de acabados similares para preservar las selvas tropicales), menos desechos, mayor reutilización, reciclado,... El ecomarketing es ya una realidad y el diseñador no debe pasar por encima la importancia que la decisión de uso de un material u otro comportará en un futuro al elemento que se esta diseñando.

Después una vez decidido que el elemento no existe y que se debe fabricar deberemos optar por abordar la fabricación propia o por la subcontratación a terceros para incorporar posteriormente las piezas ya elaboradas a proceso de montaje, esta decisión vendrá marcada por la disponibilidad de recursos propios para afrontar los procesos de fabricación, por la capacidad productiva (pudiera ser que los recursos propios resulten capaces pero insuficientes para cubrir nuestra propia demanda) y/o por los costes finales (precio unitario por ítem fabricado comprado o fabricado).

Una vez decidido a fabricar (por propios medios o subcontratando), usando como base las dimensiones (y tolerancias admisibles) se deberá determinar el material y el proceso por el cual se obtendrá la pieza buscada, teniendo en cuenta las características técnicas del material seleccionado y buscando la opción económicamente viable que mejor resultado medioambiental nos pueda ofrecer.

## **5. Conclusiones**

En el proceso de diseño y definición de un objeto el diseñador no debe limitarse tan solo a la definición geométrica del mismo con sus cotas dimensionales y tolerancias admisibles, sino que se deben tener en cuenta aspectos que cada vez revisten mas importancia y que con demasiada frecuencia se tienen en poca consideración como son la seguridad en el uso y en el montaje, la ecología y el medio ambiente, minimizando residuos y favoreciendo la reutilización y el reciclaje, y ¿Cómo no? El coste total (material + operaciones) y el tiempo necesarios para su fabricación, precisamente el tener en cuenta estos aspectos implica en la mayor parte de los casos la redefinición de las dimensiones y tolerancias geométricas iniciales.

## **Referencias**

ALCAIDE MARZAL, J., et al. *Diseño de producto. El proceso de diseño*. Universidad Politécnica de Valencia.

CURTIS, Mark A. *Planeación de Procesos*. Colección La Microempresa; Serie Calidad Total. Ed. Limusa. Mexico, 1998.

FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, E. *Dirección de la producción I. Fundamentos estratégicos*. Civitas. Madrid. 1993

FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, E. y VÁZQUEZ ORDAS, C.J. *Dirección de la producción II. Métodos operativos*. Civitas. Madrid. 1994

GUZMAN SEPULVEDA, R. *Apuntes de la Asignatura de Diseño y Producto*. Esc. Univ. Politécnica de la Univ. de Málaga 2003.

HEIZER, J. y RENDER, B. *Dirección de la Producción. Decisiones Estratégicas*. Prentice Hall. Madrid. 6º ed. 2001

HEIZER, J. y RENDER, B. *Dirección de la Producción. Decisiones Tácticas*. Prentice Hall. Madrid. 6º ed. 2001

KUSIAK, Andrew. *Computacional Intelligence in Design and Manufacturing*. John Wiley & Sons, Inc. USA 2000.

LU, Y.Y. *Introduction to Industrial Engineering*. Hua-Tai, Taipei, Taiwan, 1982.

MIT, OpenCourseWare 15.783J / 2.739J / ESD.32J *Product Design and Development*, Spring 2002.

ULRICH, Karl T. y Eppinger, Steven D., *Product Design and Development*. McGraw-Hill 2000.

Página de Arteologia, en castellano, traducida por Benito Bermejo, [www2.uiah.fi/projects/metodi/s00.htm](http://www2.uiah.fi/projects/metodi/s00.htm)

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DEL ANÁLISIS DE VALOR EN EL DISEÑO DE PRODUCTO EN PYMES

CERQUEIRO PEQUEÑO, Jorge (1); LÓPEZ PÉREZ, Luís (2);  
PATIÑO BARBEITO, Faustino (3); POSE BLANCO, José (4)

Universidad de Vigo, España

E.U.I.T.I. de Vigo – Departamento de Diseño en la Ingeniería

Correo electrónico: <sup>(1)</sup>jcerquei@uvigo; <sup>(2)</sup>llopez@uvigo.es; <sup>(3)</sup>fpatino@uvigo.es; <sup>(4)</sup>jpose@uvigo.es

### RESUMEN

El uso de herramientas de Análisis y Gestión del Valor, aplicadas a todas las fases de diseño y fabricación de productos, permite aprovechar las capacidades de creatividad e innovación existentes en cualquier empresa. En el caso de una pyme, es posible desarrollar una metodología para la implantación de estas técnicas sin realizar inversiones significativas, pudiendo así experimentarlas y beneficiarse de ellas como si se tratase de una empresa de mayor tamaño, y abriendo nuevas expectativas de mejora de la calidad y costes de sus productos.

**Palabras clave:** Análisis y Gestión de Valor, Innovación, Pymes, Diseño de Producto, Rediseño, Diseño para Fabricación, Ingeniería de Diseño, Aplicaciones del Diseño.

### ABSTRACT

Using Value Management and Analysis techniques applied to all the stages of the design-manufacturing process, any company can achieve a better use of its creativity and innovation existing resources. For small and medium-sized companies, a method can be developed to set up those techniques without incurring in relevant inversions, allowing to test and benefit from them like big companies do, and widening the quality and costs improvement horizons for its products.

**Key words:** Value Management and Analysis, Innovation, Small and Medium-Sized Company, Product Design, Re-Design, Design for Manufacturing, Design Engineering, Design Applications.



## **1. Introducción**

La Gestión del Valor es una metodología de innovación y mejora continua de demostrada eficacia en su aplicación a numerosas áreas de gestión empresarial, y de especial utilidad en las fases de diseño (y rediseño) de producto.

Utilizando adecuadamente las herramientas de Análisis y Gestión del Valor, es posible convertir las tareas más rutinarias en procesos creativos e innovadores que transforman poco a poco la mentalidad empresarial y que se apoyan en unos espectaculares resultados a corto y medio plazo, traducidos en reducciones de costes, mejora de la calidad, incremento de la comunicación y, en definitiva, son la base de una moderna y eficaz gestión empresarial que tiene que girar entorno a la adaptación y mejora continua, el trabajo en equipo, la creatividad y la innovación.

La Innovación, por norma general, es una asignatura pendiente para las pequeñas y medianas empresas, ya que normalmente no disponen de suficientes recursos técnicos y humanos para acometer proyectos; por otro lado siempre se encuentran inmersas en el día a día de su actividad y con problemas urgentes a resolver y en ellas existe cierto temor a los cambios.

El objeto del proyecto del que se ha extraído esta comunicación ha sido el estudio de una metodología de trabajo para promover la Innovación en las pymes gallegas mediante la incorporación de la Metodología de Análisis y Gestión del Valor.

La aproximación que se ha utilizado ha sido la de enfocar los esfuerzos sobre uno de los productos fabricados por la empresa, empleando la metodología de Análisis del valor para estudiar todas las fases por las que pasa, desde el diseño inicial hasta la expedición al cliente. De esta manera, se pretenden descubrir aquellas actividades para las que se obtengan valores límite del parámetro “Valor”, que indicarán dónde se deberá actuar para obtener mejoras en el proceso productivo de la empresa.

Las mejoras propuestas podrán afectar no solo al diseño o rediseño del producto, sino a las actividades de fabricación, logística, aprovisionamientos, etc., y deberán ser cuantificables económicamente, de manera que se pueda interesar a la gerencia de la empresa en la capacidad de transformación e innovación de las herramientas de Análisis y Gestión del Valor.

## **2. Metodología de Análisis de Valor**

El Análisis de Valor es un método organizado, creativo y realmente efectivo para atacar problemas y/o efectuar mejoras en cualquier área de gestión de la organización (diseño, planificación, desarrollo, ingeniería, producción, etc.) mediante un proceso de diseño funcional y económico y cuyo objetivo es incrementar el valor (aumentar la calidad / reducir el coste) de un objeto (producto, proceso, servicio).

Los conceptos básicos de Análisis de Valor son:

- **NECESIDAD:** Aquello que es necesario o deseado para el cliente tanto interno (de la empresa) como externo.
- **FUNCIÓN:** Características esperadas o inducidas de un objeto en orden a satisfacer las necesidades de los clientes.
- **VALOR:** Relación entre la contribución de las funciones a la satisfacción de las necesidades y el coste de dichas funciones.
- **OBJETO DE VALOR:** Producto, proceso y/o servicio potencial o existente al cual se le aplica la metodología de AV.

El Análisis del Valor se fundamenta en la aplicación sistemática de un plan de trabajo metódico y estricto, llamado *lógica*, que se compone de seis etapas:

FASE I: Preparación / Orientación

FASE II: Información

FASE III: Análisis Funcional y de Costes

FASE IV: Innovación / Creatividad

FASE V: Evaluación de alternativas

FASE VI: Implantación de alternativas

Las tres primeras fases tienen como objeto determinar las necesidades del usuario en relación al objeto de estudio y formularlas en funciones a realizar por éste.

Las tres últimas fases tienen por objeto, partiendo de las funciones, crear o rediseñar un nuevo objeto de valor que dé respuesta a las necesidades del cliente, maximizando el valor aportado.

En cada fase se llevan acabo diferentes tareas y actividades y se utilizan diversas herramientas específicas y complementarias.

La aplicación de la metodología (lógica) requiere de una organización del equipo de trabajo (dinámica).

El equipo de trabajo deberá ser de carácter multidisciplinar y podrá estar integrado por 6-8 personas de diferentes áreas de la organización (diseño, producción, calidad, mantenimiento, finanzas, comercial), con asesores externos en caso de ser necesario. Los miembros del equipo de trabajo tendrán unas funciones, responsabilidades y tareas encomendadas, que deberán estar claramente delimitadas desde un principio.

El equipo de trabajo debe estar integrado por personas creativas, con capacidad de trabajo en equipo, conocedoras del objeto de análisis de valor, con experiencia en la empresa y formadas en la metodología de AV.

Desarrollar un proyecto de Análisis y Gestión del Valor en una empresa supone acometer de forma ordenada esta serie de fases o etapas que constituirá la metodología de trabajo.

A continuación se presenta una metodología que describe las fases anteriores, proponiendo las herramientas a utilizar, así como facilitando una lista de chequeo que permita verificar si se dispone de la información necesaria para el paso de una fase a la siguiente.

### 3. Desarrollo de la Implantación

FASE 1	PREPARACIÓN / ORIENTACIÓN
<b>Objetivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Definir el Proyecto (objeto de AV) y su alcance.</li><li>- Determinar los objetivos del Proyecto y cuantificarlos.</li><li>- Seleccionar el Equipo de Trabajo y responsable (coordinador).</li><li>- Planificar el trabajo, nº de reuniones, duración, frecuencia de las mismas.</li></ul>	
<b>Herramientas más comunes</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Diagrama de Gantt (planificación de actividades).</li></ul>	
<b>Lista de chequeo</b>	
<p><b>CONCIENCIACIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ ¿Está la dirección de la empresa directamente implicada en el proyecto?</li><li>⇒ ¿Es consciente de los recursos y tiempo de personal necesarios para llevar a cabo la aplicación de la metodología de AV?</li><li>⇒ ¿Está realmente convencida de la utilidad de la aplicación de la metodología?</li><li>⇒ ¿Está el equipo de trabajo dispuesto a participar en todas las reuniones y seguir la metodología de trabajo tal y como indique el coordinador?</li></ul>	
<p><b>SELECCIÓN DEL OBJETO DE AV</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ ¿El objeto de AV seleccionado es un producto, proceso o servicio de la empresa?</li><li>⇒ ¿Está claramente especificado y descrito?</li><li>⇒ ¿Se ha concretado el alcance del mismo?</li><li>⇒ ¿Se ha involucrado la dirección en la elección del objeto de AV?</li><li>⇒ ¿Se ha seleccionado el objeto de AV conforme a la estrategia definida por la empresa?</li></ul>	
<p><b>DETERMINACIÓN DE LOS OBJETIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ ¿Se han especificado claramente los objetivos de la aplicación?</li></ul>	

- ⇒ ¿Se han cuantificado?
- ⇒ ¿Son objetivos alcanzables y realistas?
- ⇒ ¿Se han seleccionado los objetivos conforme a la estrategia definida por la empresa?

### ***SELECCIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO***

- ⇒ ¿Es un equipo multidisciplinar?
- ⇒ ¿Está compuesto por más de 4 personas (incluido el coordinador)?
- ⇒ ¿Se ha elegido un coordinador?
- ⇒ ¿Está compuesto por personal experto en diferentes áreas de la empresa que influyan en el análisis del objeto de AV seleccionado?
- ⇒ ¿Es posible que exista una atmósfera de confianza y libertad entre los integrantes del equipo de trabajo?
- ⇒ ¿Los componentes del equipo de trabajo han recibido un curso de formación en Análisis del Valor?

### ***PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO / RECURSOS***

- ⇒ ¿Se ha determinado la duración del proyecto de AV?
- ⇒ ¿Se ha determinado el número previsto de reuniones?
- ⇒ ¿Se ha determinado la duración estimada de cada una de las reuniones?
- ⇒ ¿Se ha determinado la frecuencia con que se llevarán a cabo las reuniones?
- ⇒ ¿Se ha establecido con anterioridad la agenda prevista de cada reunión?
- ⇒ ¿Se han determinado los recursos materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto?
- ⇒ ¿Dispone la empresa de dichos recursos?

<b>FASE 2</b>	<b>INFORMACIÓN</b>
<b>Objetivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recoger datos e información relativa al Objeto de AV, tanto interna como externa a la empresa (información técnica, costes, competencia, normativa, etc.).</li> <li>- Identificar los clientes, tanto internos como externos, del objeto de AV considerado. Determinar la importancia relativa de cada uno de ellos.</li> <li>- Definir los medios de recogida de información. Identificar las fuentes de información y su importancia.</li> <li>- Identificar y cuantificar las necesidades de los clientes del Objeto de AV.</li> </ul>	
<b>Herramientas más comunes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudios de Mercado.</li> <li>- Brainstorming.</li> <li>- Matriz Clientes – Fuentes de Información.</li> <li>- Matriz Fuentes de Información – Necesidades.</li> <li>- Matriz de Ordenación Alternativa.</li> <li>- Método de las Comparaciones Apareadas.</li> </ul>	
<b>Lista de chequeo</b>	

### ***RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN***

- ⇒ ¿Se ha determinado la información relativa al objeto de AV a recopilar por el equipo de trabajo?
- ⇒ ¿Es dicha información relevante y de utilidad para la aplicación considerando los objetivos inicialmente planteados?
- ⇒ ¿Se ha recopilado información técnica referente al objeto de AV?
- ⇒ ¿Se ha recopilado información sobre costes del objeto de AV?
- ⇒ ¿Se ha recopilado información relativa a leyes o normativas que afecten al objeto de AV?
- ⇒ ¿Se ha recopilado información relativa a la competencia?
- ⇒ ¿Se ha recopilado toda la información especificada al comienzo de la fase?

### ***IDENTIFICACIÓN DE LOS CLIENTES***

- ⇒ ¿Se han identificado los clientes (tanto internos como externos) del objeto de AV?
- ⇒ ¿Se ha determinado la importancia relativa de cada uno de los clientes identificados?

### ***DETERMINACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN Y SU IMPORTANCIA***

- ⇒ ¿Se han identificado las fuentes de información?
- ⇒ ¿Proporcionan dichas fuentes información fiable acerca del objeto de AV seleccionado?
- ⇒ ¿Se ha determinado la importancia relativa de cada una de las fuentes de información consideradas?

### ***IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES Y SU IMPORTANCIA***

- ⇒ ¿Se han identificado las necesidades actuales de los clientes?
- ⇒ ¿Se han considerado las necesidades de todos los clientes identificados?
- ⇒ ¿Se ha calculado la importancia relativa de cada una de las necesidades?

## **FASE 3**

## **ANÁLISIS FUNCIONAL Y DE COSTES**

### **Objetivos**

- Llevar a cabo el Análisis Funcional del Objeto de AV. Se tendrán en cuenta las funciones relativas al usuario que describen lo que el objeto de AV hace o tienen que hacer para satisfacer las necesidades de los clientes durante su ciclo de vida.
- Caracterizar las funciones.
- Determinar la contribución de las funciones a la satisfacción de las necesidades de los clientes externos y/o internos.
- Análisis de Costes de las funciones.
- Comparar la contribución de las funciones a la satisfacción de las necesidades con el coste de obtenerlas: índices de valor de las funciones.
- Si el objeto de AV es un producto, identificar los componentes del mismo y calcular su importancia funcional. Comparar la contribución de los componentes para el cumplimiento de

las funciones con el coste de cada uno de ellos: índices de valor de los componentes.

## Herramientas más comunes

- Brainstorming.
- Diagrama de Afinidad.
- Matriz Necesidades – Funciones.
- Matriz Funciones – Componentes.

## Lista de chequeo

### ***DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES Y SU IMPORTANCIA***

- ⇒ ¿Se han identificado todas las funciones relativas al usuario del objeto de AV?
- ⇒ ¿Se han expresado las funciones como un VERBO + COMPLEMENTO?
- ⇒ ¿Ninguna función revela aspectos técnicos para llevarla a cabo?
- ⇒ ¿Contribuyen todas ellas a satisfacer una o más de las necesidades identificadas anteriormente?
- ⇒ ¿Se han identificado todas las funciones actuales y aquellas que no se llevan a cabo actualmente pero son necesarias para satisfacer alguna de las necesidades de los clientes?
- ⇒ ¿Se han identificado cuáles son las funciones deseables e indeseables?
- ⇒ ¿El cumplimiento de las funciones identificadas contempla la utilización del objeto de AV en todo el alcance definido anteriormente?
- ⇒ ¿Se han caracterizado las funciones?
- ⇒ ¿Se ha determinado la importancia relativa de cada una de las funciones para satisfacer las necesidades de los clientes?

### ***DETERMINACIÓN DEL COSTE DE LAS FUNCIONES***

#### ***SI EL OBJETO DE AV ES UN PROCESO O SERVICIO***

- ⇒ ¿Se han especificado todos los costes directos actuales del objeto de AV (mano de obra, energía, materiales, etc.)?
- ⇒ ¿Se han calculado los costes directos en los que se incurre para el cumplimiento de cada una de las funciones identificadas?
- ⇒ ¿Se ha determinado el porcentaje de costes de cada una de las funciones?

#### ***SI EL OBJETO DE AV ES UN PRODUCTO***

- ⇒ ¿Se han identificado todos los componentes del producto?
- ⇒ ¿Se ha determinado la importancia relativa de cada uno de los componentes del producto para el cumplimiento de las funciones?
- ⇒ ¿Se han especificado los costes actuales de los componentes?
- ⇒ ¿Se ha determinado el porcentaje de costes de cada uno de los componentes?

### ***DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE VALOR***

- ⇒ ¿Comprende el equipo de trabajo el concepto de valor?
- ⇒ ¿Se ha calculado los índices de valor de cada una de las funciones (o componentes) a través de la siguiente fórmula?:

**ÍNDICE DE VALOR**<sub>función</sub> = % **IMPORTANCIA**<sub>función</sub> / % **COSTES**<sub>función</sub>

- ⇒ ¿Las funciones no llevadas a cabo actualmente tienen coste cero?
- ⇒ ¿Se han interpretado los índices de valor y se han trasladado a la situación actual de las funciones?
- ⇒ ¿Se ha dibujado la gráfica de los índices de valor para tener una vista gráfica de los valores obtenidos (mayor, igual o menor que 1)?
- ⇒ ¿Se han identificado las principales funciones (o componentes) susceptibles de ser mejoradas/os teniendo en cuenta los índices de valor junto con los objetivos iniciales del proyecto?

FASE 4	INNOVACIÓN Y CREATIVIDAD
<b>Objetivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer criterios para generar nuevas ideas en base a los índices de valor obtenidos.</li> <li>- Generar ideas.</li> <li>- Agrupar las ideas generadas en alternativas.</li> </ul>	
<b>Herramientas más comunes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brainstorming.</li> <li>- Diagrama de Afinidad.</li> <li>- Hilo conductor de Quintiliano.</li> <li>- Trituración.</li> <li>- Diagrama IAT para la generación de Alternativas.</li> <li>- Análisis Morfológico: general, secuencial.</li> <li>- El método de las palabras clave.</li> <li>- Sinéctica.</li> </ul>	
<b>Lista de chequeo</b>	
<p><b><i>GENERACIÓN DE NUEVAS IDEAS</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ ¿Se ha utilizado alguna herramienta de creatividad?</li> <li>⇒ ¿Ha participado todo el equipo de trabajo en la generación de ideas?</li> <li>⇒ ¿Se ha centrado la generación de ideas en las funciones y aspectos susceptibles de ser mejoradas (identificadas en la fase anterior)?</li> <li>⇒ ¿Se han tenido en cuenta todas las ideas generadas?</li> <li>⇒ ¿Se ha confeccionado una lista con todas las ideas generadas?</li> </ul>	
<p><b><i>TRATAMIENTO DE LAS IDEAS GENERADAS Y AGRUPACIÓN EN ALTERNATIVAS</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ ¿Se han agrupado las ideas generadas por afinidad?</li> <li>⇒ ¿Se han rechazado las ideas inviables?</li> <li>⇒ ¿Se han identificado las ideas independientes (compatibles o incompatibles)?</li> <li>⇒ Una vez realizado esto, ¿se han determinado las diferentes alternativas agrupando ideas individuales?</li> </ul>	

- ⇒ ¿Contribuyen estas alternativas a la mejora de al menos una de las funciones identificadas?
- ⇒ ¿Se han considerado la viabilidad técnica y económica de las alternativas obtenidas?
- ⇒ ¿Se han rechazado las ideas no viables?
- ⇒ ¿Se han especificado claramente las alternativas obtenidas?

FASE 5	EVALUACIÓN
<b>Objetivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar y evaluar las alternativas según el conjunto de criterios de decisión elegidos.</li> <li>- Comparar bajo los mismos criterios las alternativas con la situación actual.</li> <li>- Desarrollar las propuestas con carácter global (estudios, prototipos, pruebas, desarrollo industrial).</li> <li>- Examinar la posibilidad de combinar diversos aspectos de las alternativas.</li> <li>- Elegir la alternativa que va a ser desarrollada.</li> </ul>	
<b>Herramientas más comunes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis Multicriterio.</li> </ul>	
<b>Lista de chequeo</b>	
<p><b><i>CRITERIOS DE EVALUACIÓN</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ ¿Se han determinado los criterios de evaluación tanto técnicos como económicos?</li> <li>⇒ ¿Se ha determinado la importancia relativa de cada uno de los criterios considerados teniendo en cuenta los objetivos del proyecto así como la estrategia de la empresa?</li> <li>⇒ ¿Se ha involucrado la dirección en la determinación de la importancia relativa de cada uno de los criterios de evaluación?</li> <li>⇒ ¿Los criterios seleccionados permiten la comparación entre las diferentes alternativas y el cumplimiento actual de las funciones?</li> <li>⇒ ¿Se han identificado los diferentes niveles de satisfacción de cada uno de los criterios considerados (niveles cuantificados)?</li> <li>⇒ ¿Se ha utilizado una “tabla de conversión de logros” para asignar “puntos de satisfacción de los diferentes niveles de criterios para evaluar las diferentes alternativas?</li> <li>⇒ ¿Se ha utilizado la misma escala de puntuación para todos los criterios considerados?</li> </ul>	
<p><b><i>EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ ¿Se han estudiado minuciosamente la viabilidad técnica y económica de las alternativas que han sido finalmente seleccionadas?</li> <li>⇒ ¿Se han rechazado las alternativas no viables independientemente del tipo de no viabilidad?</li> <li>⇒ ¿Se ha determinado cómo contribuyen todas las alternativas a la satisfacción de todos los criterios (puntos de satisfacción)?</li> <li>⇒ ¿Se ha calculado el valor de cada una de las alternativas teniendo en cuenta la</li> </ul>	



<p>importancia relativa de cada criterio?</p> <p>⇒ ¿Se ha identificado la alternativa de mayor valor?</p>
---

FASE 6	IMPLANTACIÓN
<b>Objetivos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planificar la implantación de la alternativa elegida a corto, medio o largo plazo.</li> <li>- Definir responsables y plazos.</li> <li>- Realizar el seguimiento de la implantación.</li> <li>- Hacer llegar la información de los logros obtenidos a toda la empresa.</li> </ul>	
<b>Herramientas más comunes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama de Gantt.</li> <li>- Diagrama de PERT.</li> </ul>	
<b>Lista de chequeo</b>	
<p><b>CONCIENCIACIÓN</b></p> <p>⇒ ¿La dirección de la empresa está realmente convencida de la implantación de la mejor alternativa?</p> <p>⇒ ¿Se ha implicado la dirección y los responsables de las áreas implicadas desde el comienzo de la implantación de la alternativa?</p> <p>⇒ ¿Dicho personal tiene la formación adecuada para llevar a cabo dicha implantación?</p>	
<p><b>PLANIFICACIÓN</b></p> <p>⇒ ¿Se han planificado todas las actividades a llevar a cabo para implantar la solución propuesta?</p> <p>⇒ ¿Se han especificado los recursos técnicos y humanos necesarios para llevar a cabo la implantación?</p> <p>⇒ ¿La dirección de la empresa ha puesto a disposición del proyecto los recursos necesarios?</p> <p>⇒ ¿Se ha definido una persona responsable para cada una de las fases?</p> <p>⇒ ¿Se han especificado y cuantificado los resultados a obtener de la implantación de cada una de las fases?</p>	

#### 4. Conclusiones

La utilización de la metodología de Análisis y Gestión del Valor supone para las pymes incrementar su capacidad para acometer procesos de innovación, mejorando la calidad de los procesos y productos e incrementando consecuentemente su competitividad con una inversión de recursos humanos y materiales que puede considerarse mínima frente a los beneficios reportados.

El enfoque que se propone en esta comunicación se apoya en una aproximación integral de la aplicación del Análisis de Valor a todas las fases de diseño y fabricación de uno de los productos de la pyme, de forma que, sin superar las posibilidades y capacidades disponibles en la empresa, se puedan obtener resultados satisfactorios que motiven a la gerencia a extender estas técnicas a otros productos.

## **Referencias**

LUQUE, M.A. Y MONTOYA, G. *Introducción al Análisis del Valor*. Ed. Instituto Andaluz de Tecnología IAT.

ASOCIACIONES EUROPEAS DE ANÁLISIS DE VALOR. *Glosario de Análisis de Valor*. Ed. DG XIII.

BURÓN, I. *Ingeniería y Análisis del Valor*.

CONSEILL, D.G. *Mercado Europeo de A.V.* Ed. DG XIII.

CALDWELL, R.D. *Value Engineering: A New Systematic Way of Determining Cost Reduction*” Ed. Society of American Value Engineering (Proceedings of the S.A.V.E.)



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### El Proyecto WEBD: aplicación de los gráficos WEB3D en la ingeniería

MARTÍNEZ MUNETA, M. L.; ROMERO REY, G.; FÉLEZ MINDÁN, J.

Grupo de Ingeniería Gráfica y Simulación  
Universidad Politécnica de Madrid

ETS Ingenieros Industriales. Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación  
e-mail: {muneta; gromero; [jfelez@etsii.upm.es](mailto:jfelez@etsii.upm.es)}

### RESUMEN

En Diciembre de 2000 el proyecto WEBD (Web based and training in the field of the biomedical and design engineering) se inició bajo el apoyo del programa de la UE Leonardo Da Vinci. Se desarrollaron módulos de aprendizaje de biomecánica y de ingeniería de diseño a través de Internet donde los gráficos tridimensionales e interactivos resulten el aspecto más innovador y atractivo. El objetivo final del proyecto es demostrar el beneficio de la utilización de estas tecnologías en la enseñanza. Se han utilizado tecnologías WEB3D para el desarrollo de estos modelos, dotándolos de un alto grado de realismo e interactividad. Estas tecnologías están basadas en XML y se caracterizan por un nivel de realismo muy elevado y por un índice de compresión de imagen muy elevado, lo que hace posible su uso efectivo en Internet. Para este proyecto se han desarrollado más de 1.000 modelos tridimensionales, desde huesos hasta muelles pasando por los rudimentos de la geometría descriptiva. Se ha desarrollado también un website para gestión de los cursos on-line donde existe un control de las visitas de los alumnos y se gestiona el acceso a los distintos niveles de contenidos en función de los test de autoevaluación que debe realizar el alumno. El proyecto ha sido evaluado por dos organismos independientes EUROPACE (Bélgica) y la universidad Federico II de Nápoles (Italia) obteniendo una valoración de 55.7/60 puntos.

**Palabras clave:** WEB3D, Internet, Realidad Virtual, Enseñanza a distancia, Biomecánica, Ingeniería de Diseño.

### ABSTRACT

In December 2000 WEBD project started under the Leonardo da Vinci Program. The goal is to develop modules of biomechanics learning and of design engineering through Internet where the three-dimensional and interactive graphics are the most innovative aspect and attractiveness. One of the most important decisions in the

development of the project was to select the proper technology of three-dimensional graphics. These graphics had to allow to the interactivity with the user as far as navigation (zoom, rotation and pan) and as far as detection of events so they had to be programmable. In addition characteristics as the small size of file and the possibility of streaming were important. The technology of the Viewpoint Company was selected. Initially this technology was not sufficiently mature and the elaboration of the project has undergone these changes. About 1.000 3D models have been developed where the user can visualize the model from any point of view and size and many of them can interact with him, executing disassemblies or processes for example. Also a website has been developed to manage the on-line courses and the tests depending on the level reached for the users. The project has been evaluated by EUROPACE (Bélgica) and the Federico II University of Naples who gave us a Final Project Score of 55.7/60 points.

**Key words:** WEB3D, Virtual Reality, computer aided learning, interactive graphics, Internet. Collaborative Design

## 1. Introducción

El proyecto WEBD (Web based and training in the field of the biomedical and design engineering) está cofinanciado por el Programa Leonardo Da Vinci I-00-B-F-PP-120758 que apoya experiencias piloto en el campo de la formación profesional. En el colaboran diferentes universidades europeas<sup>1</sup> para la elaboración de material docente en los campos de la biomecánica y de la ingeniería de diseño donde existe una gran demanda de especialistas en el entorno europeo.

La gran novedad que aporta este proyecto es la utilización de realidad virtual de manera extensa en la elaboración de los cursos. La elaboración del contenido tridimensional interactivo y de gran parte del material docente elaborado de los módulos de ingeniería de diseño, así como la gestión del sitio Web ha sido realizado por el Grupo de Ingeniería Gráfica del Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación de la Universidad Politécnica de Madrid [4,5]. Se han realizado mas de 900 páginas WEB con alrededor de 1.000 entornos tridimensionales que pueden ser manipulados por el usuario.

## 2. Tecnologías WEB3D

El objetivo final del proyecto es valorar las posibilidades que ofrecen las tecnologías WEB3D para Internet y especialmente en el ámbito de la educación.

---

<sup>1</sup> Departamento de Sistemas de Producción del Politécnico de Turín, Dep. de Disciplinas Médico Quirúrgicas de la Università di Torino, Iveco S.p.a., Instituto de Formación Tecnológica de Piraeus, Division de Biomecánica e Ingeniería de Diseño de la Universidad Católica de Leuven, Facultad de bioingeniería Médica de la Universidad Gr.T.Popa de Rumanía, Centro Autodesk Training Center de Lasi, Rumania, y la Universidad Federico II de Nápoles.

La primera tecnología que permitió la visualización a través de Internet de mundos 3D interactivos fue el estándar VRML cuya última actualización fue en el año 1997 [7]. A partir de entonces no se volvió a desarrollar esta especificación creando un vacío que rápidamente firmas de software (alrededor de 45) decidieron abordar desembocando en las tecnologías WEB3D. Estas tecnologías estaban enfocadas en un principio a ser visores de productos 3D para la venta por Internet. En general comprenden tecnologías muy variadas que optimizan la malla de los modelos 3D, tiempos de descarga muy bajos, utilizando streaming y texturado optimizado. Los motores de render son muy buenos y ofrecen una calidad superior a la obtenida por VRML. Por otra parte la elaboración del siguiente estándar de gráficos 3D, el X3D .para Internet no se ha realizado hasta finales del año 2002 por lo que los gráficos WEB3D tienen una alta cota de mercado. Un estudio más detallado de estas tecnologías se ofrece en [3]. Presentan las siguientes características:

- Son rápidos de crear
- Requieren plugins de pequeño tamaño o no lo requieren (Si están basados en Java)
- Compatibles con varias plataformas: Mac, Windows, Linux
- Aspecto espectacular. Acabados mejores que con VRML o X3D
- Posibilidad de añadir efectos de render: reflexiones, sombras...
- Fáciles de integrar en páginas Web y en otras aplicaciones
- Tiempos de descarga reducidos
- Basados en estándares
- Existen compañías importantes que los apoyan y los desarrollan: Adobe, Metastream...

Para acometer el proyecto se necesitaba una tecnología de gráficos especialmente diseñada para Internet donde:

- Se pudiera gestionar entornos tridimensionales con gran número de polígonos.
- Se permitiera la interacción con el usuario
- El tiempo de descarga de los gráficos 3D fuera pequeño ya que en general los usuarios accedían por redes de ancho de banda limitado. Por lo tanto, es necesaria la posibilidad de compresión de datos.
- No se necesitara hardware gráfico especial (tarjetas gráficas potentes por ejemplo) para su visualización.
- Alto realismo
- Posibilidad de texturas y efectos (luces, sombras,...)
- Posibilidad de personalización.

Estas tecnologías pueden agruparse en:

- Tecnologías basadas en XML: Utilizan dos ficheros uno que contiene la geometría y otro las transformaciones y las interacciones posibles del usuario con el mundo virtual. Estas requieren un plugin para su visualización.
- Tecnologías basadas en Java3D. No es necesario plugin aunque son más lentas.
- Tecnologías propias desarrolladas por las firmas comerciales. Requieren plugin

Se han desarrollado 1.000 modelos 3D interactivos para:

- Visualizar simplemente objetos 3D (con funciones de zoom, encuadre y rotación). En la figura 1 se observa la alta calidad obtenida.
- Ofrecer procedimientos o métodos, por ejemplo abatimiento de un plano en el sistema diédrico. Se ofrece en la figura 2 el abatimiento.
- Ofrecer montajes/desmontajes de conjuntos (figura 3).
- Ofrecer funcionamiento de los conjuntos

Realmente se han conseguido mundos tridimensionales muy atractivos para el usuario donde además el interviene en la modificación de ese entorno. Para el proyecto los modelos se realizan desde 3Dstudio Max con optimizado de malla. También se han definido las animaciones si era necesario. Las propias firmas suministran programas conversores a los formatos WEB3D. Para añadir interactividad se debe programar bien de acuerdo con los lenguajes específicos de cada uno de ellos, bien añadiendo rutinas en Javascript o VBScript ya que en un principio estas tecnologías estaban destinadas al comercio electrónico y han tenido capacidades limitadas de interactividad y sobre todo de programación.

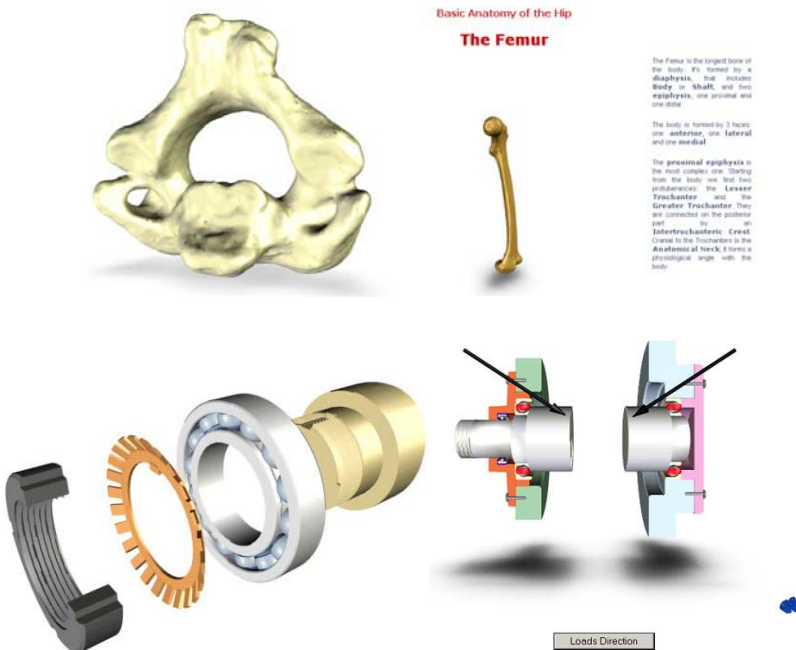


Figura 1. Visualización de diferentes elementos

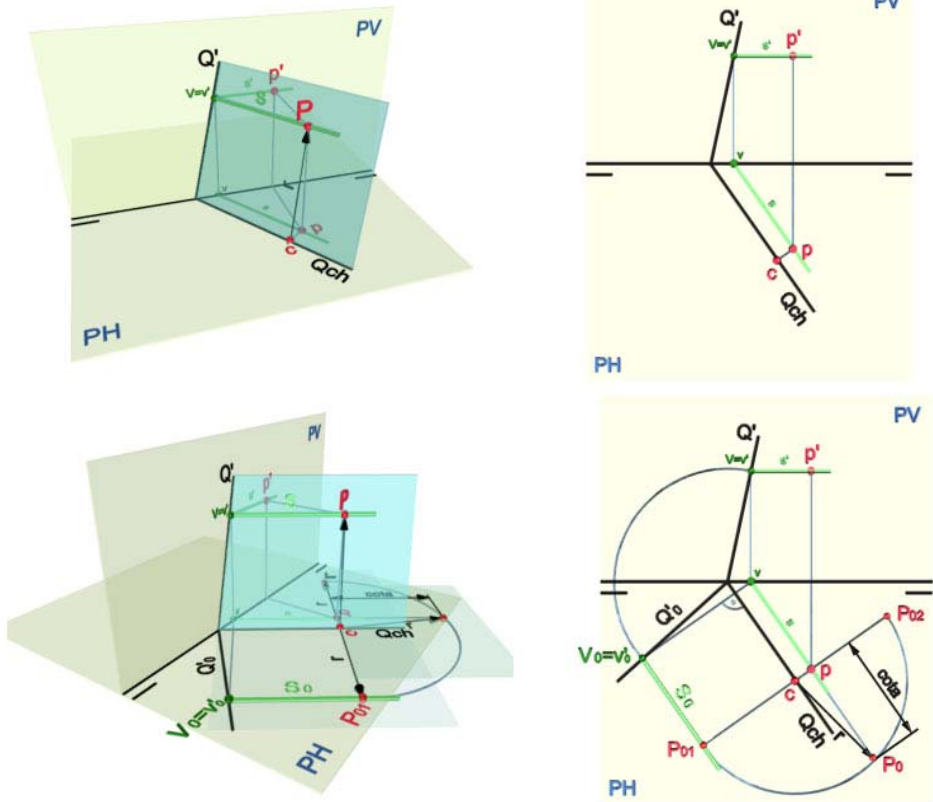


Figura 2. Visualización de un abatimiento tanto en 2D como en 3D empleando la misma técnica.

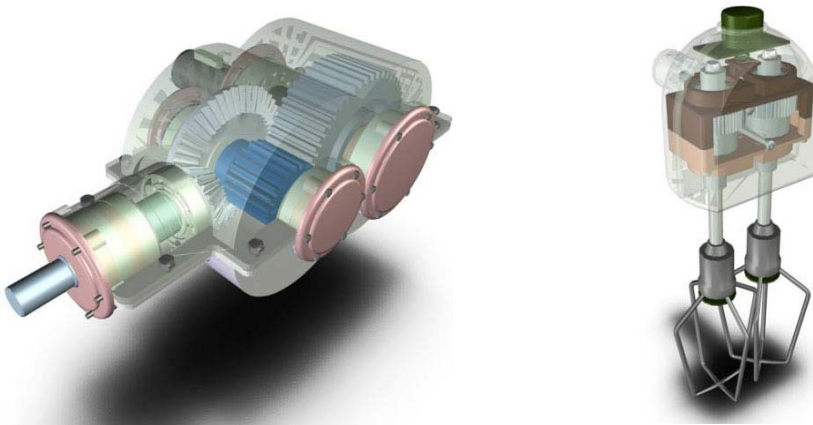


Figura 3. Diferentes conjuntos

### 3. El sitio Web

Para el desarrollo del proyecto se ha desarrollado un sitio Web ([www.webd.etsii.upm.es](http://www.webd.etsii.upm.es)) contenedor de todos los materiales elaborados basado en Windows 200 IIS. Se pueden describir cuatro tipos de materiales desarrollados.

- Elaboración de material docente textual
- Elaboración de gráficos 2D
- Elaboración de gráficos 3D interactivos
- Elaboración de preguntas de tests para dar paso a un nivel de documentación más avanzado.
- Gestión de accesos.

#### **Elaboración de material docente textual**

De acuerdo a la división de trabajo realizada, cada Grupo procedió a desarrollar los contenidos de los módulos académicos designados. Estos contenidos debían ser realizados en páginas HTML, especificando que imágenes 2D debían estar presentes y sugiriendo que mundos 3D interactivos pudieran ser interesantes.

Dentro del curso sobre biomecánica se han desarrollado los siguientes temas: Nivel básico: ¿Que es la biomecánica?, procesamiento de imagen en Biomecánica, CAD para biomecánica. Nivel avanzado: Prótesis de cadera y Prótesis de Zigoma.

Los temas desarrollados para la ingeniería de diseño son en un nivel básico: Geometría Descriptiva, Dibujo básico, Dibujo de conjuntos y CAD básico. En un nivel avanzado se ofrecen lecciones sobre tolerancias dimensionales, geométricas y PMM y elementos normalizados.

#### **Elaboración de gráficos 2D**

Se han insertado acompañando a los temas imágenes 2D en formatos clásicos para Internet (gif y jpeg). Además debido a la necesidad de utilizar planos vectoriales, éstos se visualizan en formato edrw (edrawing) [4]. Este formato permite la posibilidad de realizar zoom o visualizar capas sin pérdida de calidad. También se utilizan planos transformados a imágenes bitmap de alta resolución lo que permite también enfocar y ver detalles. Posteriormente ante la ampliación de gráficos WEB3D a los formatos 2d o planos se ha empleado también esta tecnología para imágenes planas incorporando flash.

#### **Elaboración de gráficos 3D interactivos**

Se han elaborado alrededor de 2.000 mundos tridimensionales donde el usuario puede realizar acciones de zoom, encuadre y rotación de los sólidos que configuran la escena. También estos gráficos pueden interaccionar con el usuario y ejecutar ciertas acciones. Para su elaboración se ha utilizado la tecnología de los gráficos WEB3D a la que nos hemos referido anteriormente.



## Tests y gestión de usuarios

Los módulos básicos pueden ser visitados por cualquier usuario que se registre. Los módulos avanzados sólo están disponibles si el usuario ha pasado un test correspondiente al nivel básico.

De otra forma puede acceder a todos los módulos. Tanto el control de acceso como la gestión del avance de los usuarios por medio de tests se realizan por medio de rutinas ASP (figura 4).



Figura 4. Pantalla de acceso

Los tests se generan de forma aleatoria, la corrección de los mismos es automática y ofrece indicaciones cualitativas del tipo “necesita repasar el tema XX o no demuestra conocimientos sobre XX”. No se ofrecen las respuestas corregidas de los tests con el fin de que los alumnos no puedan conocer las respuestas a base de repetir tests fallidos (figura 5).

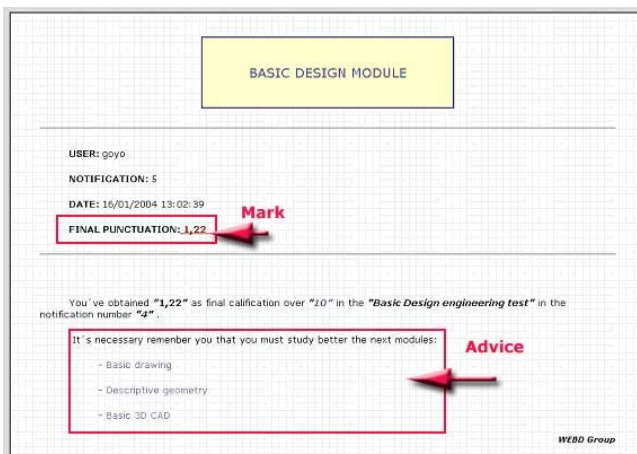


Figura 5. Tests: puntuación y consejos

## 4. Evaluation

La evaluación del Proyecto ha sido realizada por la Universidad Federico II de Nápoles. Usando indicadores propios [9], los métodos de Nishikant Sonwalkar [9], Criterios de calidad para cursos elearning y el método Michigan Virtual University Course Evaluator [10], el proyecto WEBD ha obtenido un resultado de 55/60 puntos.

El organismo EUROPACE de Bélgica ha intervenido también en la mejora de las lecciones con un estudio cualitativo del mismo. Este material en la actualidad se está utilizando en la ETS Ingenieros Industriales de la UPM como parte del material docente que disponen los alumnos y profesores en las asignaturas de Dibujo Industrial.

## 5. Conclusión

En esta comunicación se ha presentado el Proyecto WEBD (Web based and training in the field of the biomedical and design engineering) y la utilización de los gráficos WEB3D en él. En este proyecto se han desarrollado una serie de módulos de aprendizaje de biomecánica y de ingeniería de diseño a través de Internet donde los gráficos tridimensionales e interactivos resulta el aspecto más innovador y atractivo. El objetivo último del proyecto pues es demostrar el beneficio de la utilización de estas tecnologías en la enseñanza. Las tecnologías WEB3D han permitido desarrollar estos modelos, dotándolos de un alto grado de realismo e interactividad. Estas tecnologías se caracterizan por un nivel de realismo muy elevado y por un índice de compresión de imagen muy alto, lo que hace posible su uso efectivo en Internet. Para este proyecto se han desarrollado más de 1.000 modelos tridimensionales. Sin embargo, el trabajo de modelizado es laborioso y lento y aunque estas tecnologías tienen altísimas capacidades, están en continuo cambio y desarrollo lo que provoca confusión a la hora de su aplicación. Se ha desarrollado también un website para gestión de los cursos on-line donde existe un control de las visitas de los alumnos y se gestiona el acceso a los distintos niveles de contenidos en función de los test de autoevaluación que debe realizar el alumno.

Se ha obtenido un resultado muy alentador en el proyecto ya que estas tecnologías facilitan la visión espacial de una forma considerable siendo muy atractivas para el usuario. Además gracias a su interactividad es posible visualizar y realizar operaciones que de otra forma son difíciles de abordar. En su evaluación por un agente externo, la Universidad Federico II de Nápoles, el proyecto ha recibido una puntuación de 55.7 /60 puntos.

## Referencias

- 1 Computer Graphics World “Full stream Ahead”. – January 2001
- 2 Cult3D: [www.cult3d.com](http://www.cult3d.com)
- 3 Martínez Muneta, M. L.;Félez Mindán, J.; Romero Rey; G. “Ultimas tendencias en gráficos WEB3D para Internet”. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Grafica INGEGRAF. Santander 2002.
- 4 Solid-works: [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)

5 Tornincasa, S.; "Web3D Technology applications for distance training and learning: the Leonardo project WEBD". XII International Conference on Design Tools and methods in industrial engineering. Rimini Sep. 2001

6 Tornincasa, S.; "The Leonardo WEBD project: an example of the Web3D technology applications for distance training and learning". XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica INGEGRAF. Santander 2002.

7 "The Web3d repository" [Http://www.vrml.org](http://www.vrml.org)

8 M. Savarese, A. Lanzotti; "Quality Evaluation of Learning and Training Project: the WEBD Project" Proceedings of the Int. Workshop "New WEB technologies for collaborative design, learning and training" Politecnico di Torino. November 2003

9 Nishikant Sonwalkar Method. Disien.  
<http://www.uwex.edu/disted/desien/2002/0205/focus.htm>.

10 Michigan Virtual University Course Evaluator  
<http://standards.mivu.org/evaluator/>



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE DISEÑO MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

LÓPEZ PÉREZ, Luis; CERQUEIRO PEQUEÑO, Jorge; PATIÑO BARBEITO, Faustino;  
POSE BLANCO, José.

Universidad de Vigo (España)  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Departamento de Diseño en la Ingeniería  
llopez@uvigo.es

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una propuesta metodológica que, partiendo de una identificación de los problemas de un proceso cualquiera de fabricación y montaje que se encuentre aún en la etapa final de diseño, permita priorizar dichos problemas, estudiar la compatibilidad entre las características técnicas que fueron concebidas para solventarlos, o bien para reducirlos, para finalmente incorporar aquellas características seleccionadas con anterioridad a la finalización del proceso proyectual, y con un coste muy inferior al que se derivaría de modificar los equipos después de iniciada la producción en serie.

**Palabras clave:** Proceso de diseño, ingeniería, calidad, fabricación y montaje, matriz de relación cuestionarios, expertos, despliegue de la función calidad, identificación de requisitos, el cliente interno, grupo coordinador de diseño, ingeniería concurrente.

### ABSTRACT

The aim of this piece of work is to develop a proposal of method allowing to identify problems in any manufacturing or assembly process, so these problems can be taken into account and sorted out in the best way possible in the second design stage, before the completing of the project permits a prioritization of problems, selection of the features and technical properties to be included in the final design in order to sort or to avoid such problems, and finally, analysis of compatibility degree of technical features to be included before end of project process by a inferior cost that modify equipments after the series fabrication process begins.

**Key words:** Design process, Engineering, Quality, Manufacturing and assembly, relations array, Forms, Experts, Quality function development, Requirements identification, Internal customer, Design coordinator group, Concurrent engineering.

## **1. Introducción**

Se acepta como concepto de calidad en el ámbito de la ingeniería, la capacidad para proporcionar en el tiempo, modo y lugar requerido, satisfacción a las demandas y necesidades implícitas y explícitas del cliente, considerándose en el presente trabajo la existencia de dos tipos de clientes: Los clientes externos y los clientes internos.

Para satisfacer las necesidades y expectativas de un cliente respecto a un producto, será preciso comenzar por una correcta y precisa identificación de las mismas y, una vez conocidas, transformarlas en especificaciones válidas para que, con los medios y sistemas disponibles en dicha empresa, sin olvidar sus limitaciones y condicionantes, se puedan lograr unas características técnicas capaces de dar respuesta satisfactoria a los requisitos que se demandan.

Tradicionalmente el QFD, o Despliegue de la Función de Calidad, es una herramienta de gran utilidad para descubrir las necesidades y preferencias de los clientes externos, es decir, la utilidad, satisfacción, deseo de posesión o preferencia que despierta en ellos un producto. Pero esta herramienta apenas tiene repercusión en el proceso de diseño de equipos para fabricación y montaje, por lo que se plantea en el presente trabajo una metodología para su utilización en la identificación de problemas, limitaciones, interferencias, etc., que pueden surgir durante dichos procesos.

Si disponemos de información y método para abordar durante la etapa final del proceso de diseño un primer rediseño o mejora de proceso, habremos mejorado el diseño con un coste mínimo comparado con los costes imputables a las modificaciones y los retrasos.

La antigua idea de un diseño enfocado únicamente a garantizar las exigencias funcionales y de uso del producto, incorporando también ciertas exigencias de la fabricación y el montaje que resultaban imprescindibles para poder realizar las operaciones del proceso, o aquéllas otras que eran muy evidentes desde el punto de vista de los costes, resultan insuficientes hoy en día para dar respuesta a unos imperativos de calidad que precisan del desarrollo de herramientas útiles para trabajar en un entorno de ingeniería concurrente.

## **2. Identificación de los requisitos y condicionantes en los procesos de fabricación y ensamblado**

Apoyándonos en la técnica del QFD o Despliegue de la Función Calidad se desarrolló una metodología para, de forma sistemática, poder analizar e identificar los problemas que se presentan durante un proceso de fabricación y el ensamblado de

componentes, refiriéndonos de un modo implícito en algunos apartados al caso concreto de las piezas de chapa que, mediante operaciones sucesivas de ensamble, irán formando subconjuntos o unidades intermedias de montaje, de uno o varios niveles de descomposición, hasta llegar al conjunto final. Para ello se establecen las fases siguientes :

## **2.1. Preparación de encuestas y características de los encuestados**

Se pretende obtener información de quienes tengan relación directa con las máquinas y equipos a emplear inicialmente para el proceso, razón por la que las encuestas se elaborarán formulando las mismas preguntas de diferente modo, dependiendo de la formación tecnológica del grupo de destino. Se proponen como “expertos” seleccionados para responder la encuesta :

- Las personas que trabajan directamente con la máquina o en el puesto.
- Los encargados o responsables de la línea de producción o sección .
- El personal de puesta a punto y reglaje de la máquina.
- El servicio de planificación de la producción.
- El Servicio de estudio y adquisición de máquinas.
- Servicios de compras y aprovisionamiento de material.

El número de expertos será superior a 7, siendo aconsejable trabajar con un número comprendido entre 15 y 20 expertos.

Como método prospectivo de análisis utilizaremos el método Delphi , que se fundamenta en la superioridad de previsión y diagnosis de un grupo, respecto a la capacidad de un solo individuo.

La respuesta a los cuestionarios anteriores se realizará sistemáticamente para cada nuevo diseño-proceso, individualizada, y evitando cualquier posibilidad de influencia o persuasión de unos agentes de la respuesta sobre los otros. La batería de cuestiones enviada se elaborará en base a las consideraciones anteriores y, en el supuesto de centrarnos en la problemática del conformado y ensamblado de piezas de chapa, podría versar sobre:

- Dificultades para obtención de desarrollos, material bruto, componentes...
- Grado de conformidad con los criterios de almacenamiento y transporte previstos.
- Nivel de adaptabilidad a los sistemas de extracción y embalado disponibles.

- Problemática del preposicionado para el ensamble.
- Incompatibilidades posibles entre las direcciones de trabajo y de ensamblado.
- Propuestas para unificar componentes, reduciendo el número total de elementos .
- Problemas para la seguridad de las personas que se prevén, relacionados con los métodos de protección y señalización.
- Accesibilidad y posibles interferencias de la herramienta en su recorrido.
- Otros problemas y dificultades de interés desde la perspectiva del encuestado, y su valoración conforme a la misma escala empleada para las anteriores.

## 2.2. Formulación de las preguntas

Se realizará previamente una clasificación de las cuestiones en dos bloques, diferenciando aquellas que nos proporcionan información subjetiva (donde la pregunta se formulará en términos cualitativos como si/no, favorable/desfavorable, le parece bien/mal, cambiaría algo/no cambiaría nada....), de las que nos puedan proporcionar información mas objetiva, que se valorarán cuantitativamente según una escala, que normalmente tiene un rango entre 0 y 5.

Dada su repercusión sobre el resultado final, se redactarán de forma clara y concisa, pudiendo recurrirse a un pretest con terceros, al objeto de garantizar que las preguntas son comprensibles y de interpretación única. Además, se formularán de modo que se facilite el posterior procesamiento de las respuestas, por lo que éstas no serán abiertas. Por ejemplo podrían plantearse de los modos siguientes:

- Existen interferencias entre A y B?
- Considera que existen dificultades para realizar la operación P ?
- Como sería más ventajoso actuar: del modo M, o del modo N ?
- Se accede sin dificultad al puesto Q ?

## 2.3. Asignación de puntuaciones a las respuestas

Se presentarán las opciones de respuesta mediante calificativos a los que acompañará la puntuación otorgada en cada caso :

1 - Imperceptible ; 2 - Débil ; 3 – medio ; 4 - Fuerte ; 5 -Muy fuerte.

### 2.3. Interpretación de las respuestas

Cuando los ítems de carácter cualitativo del primer cuestionario tengan una respuesta con tendencia clara al si o al no, resulta innecesario repetir un segundo cuestionario. Pero, de resultar necesario pasar de nuevo el cuestionario, se informará a cada encuestado del nivel de discrepancia de sus respuestas respecto a los resultados medios, volviendo a determinar la media y desviación típica de las respuestas, que lógicamente debe ser de inferior valor que el obtenido en el primer cuestionario, aunque podría ser lo suficientemente grande como para no poder prescindir de un tercer cuestionario.

Seguiría iterándose el proceso hasta que la media y la desviación típica alcancen valores aceptables, extrayéndose al final de la última etapa unas conclusiones con las actuaciones priorizadas.

Cuando las respuestas se polarizan según dos tendencias opuestas, cabe pensar que la forma de preguntar se presta a distintas interpretaciones, haciéndose necesario reformular el cuestionario y la forma de preguntar. Así mismo debe analizarse si ciertos fenómenos o hechos se producen principalmente en determinados turnos, días, franjas horarias, semanas.....etc., o la conveniencia de subdividir el problema tratado en otros mas simples.

Se deben garantizar siempre las características básicas del Método DELPHI : Anonimato de los participantes, feedback o retroalimentación controlada, y respuesta estadística de grupo.

El proceso se detiene cuando hay estabilidad, convergencia de respuestas o consenso, es decir, cuando la mediana apenas oscila y el espacio intercuartílico ya no se estrecha mas.

### 2.4. Indicadores para la finalización del proceso

La valoración se realizará en función de los valores medios obtenidos para cada ítem en todos los cuestionarios.

Como criterio para establecer la finalización del proceso se pueden emplear como medida del grado de convergencia, de proximidad o consenso:

- *El Coeficiente de Variación* :  $V = \sigma / \mu$

Regla de decisión: Fijar que valor implica consenso.

- *El Rango Intercuartílico relativo* :  $RIR = (Q_s - Q_I) / Q_M$



Si  $RIR < \text{Valor prefijado}$ , se considera que existe consenso.

Una vez determinados los requisitos del proceso y las actuaciones priorizadas, el diseñador debe traducir cada una de dichas limitaciones en propiedades y aportaciones del diseño para permitan corregirlas (accesibilidad, ángulo de abertura mínimo, posición relativa entre dos piezas, recorridos, alturas de trabajo....).

Es decir, las exigencias, requisitos y limitaciones inherentes al proceso de fabricación y ensamblado se deben traducir en características de calidad o parámetros de diseño, y éstas en características técnicas: Forma geométrica, dimensiones, material..., de tal modo que sin verse afectada la calidad funcional o de uso del producto que demanda el cliente externo, sea fabricable mediante los medios y recursos disponibles, y con niveles óptimos de calidad.

3. La matriz de relaciones

Esta matriz proporciona información acerca del nivel de aportación que infieren el conjunto de características técnicas a cada requisito identificado del proceso, mediante una relación ordenada entre los requisitos del proceso identificados en el punto anterior (*QUÉ* se precisa hacer), y el *CÓMO* ( características técnicas o atributos previstos en el diseño para lograrlo), valorando dichas correlaciones de fuerte a débil :

Tabla I : Matriz de relaciones

☐ = Muy Fuerte ; ☐ = Fuerte ; | = Medio ; ☐ = Débil ; ☐ = Muy débil

COMO → QUE ↓	Característica Técnica 1	Característica Técnica 2	.....	Característica Técnica ...n
Requisito de Proceso N° 1	☐	☐	.....	☐
Requisito de Proceso N° 2	☐		.....	☐
Requisito de Proceso N° 3		☐	.....	☐
Requisito de Proceso N°.... n	☐	☐	.....	☐

4. Procedimiento para incorporación de los requisitos de fabricación y ensamblado al proceso de diseño

Una vez identificados los requisitos y limitaciones que pueden aparecer en la fabricación y el ensamble, convertidos éstos en parámetros del diseño, y a su vez transformados éstos últimos en características técnicas, se procederá a una revisión conjunta de las características técnicas del diseño inicial, mas las incorporadas tras ser identificados los requisitos con la herramienta del QFD, con objeto contrastar la compatibilidad de todas ellas de forma global, entre sí.

Para realizar dicho contraste construiremos una matriz de impactos cruzados, que permita comprobar la intercorrelación, o interdependencia de unas características técnicas sobre las otras, de modo que pueda observarse si la incorporación de una característica: mejora, empeora, o mantiene inalterable a cada una de las demás, seleccionando de este modo aquellas características cuya incorporación al diseño permita resolver mejor los problemas de fabricación y ensamble, sin generar otros nuevos.

Tabla II : Matriz de impactos cruzados

☐ = Mejoría fuerte ; ◻ = Mejoría ; | = Sin influencia ; ◻ = Perjuicio Débil ; ◻ = Gran perjuicio

	Característica Técnica 1	Característica Técnica 2	.....	Característica Técnica ...n
Característica Técnica 1		☐	.....	◻
Característica Técnica 2	◻		.....	◻
.....	.....	.....		.....
Característica Técnica “n”		◻	.....	

Una metodología mas eficiente, para cuantificar de un modo más preciso, y mediante un proceso sistemático, las interrelaciones y efectos cruzados entre las características técnicas que se pretenden incorporar en el proceso de diseño, es la que se representa en la tabla 3. En ella se valoran de 1 a 5 el efecto cruzado positivo entre

cada pareja de características técnicas, y para todas las combinaciones posibles de parejas con dos características, respecto a los criterios que según los estudios de John Hartley constituyen los objetivos del DFMA

*Tabla III : Interrelaciones entre características*

Criterios	Características Técnicas interrelacionadas .....	
	CT1- CT2	CT1– CT3
Factibilidad de incorporación simultánea de las 2 características	1	2
Aportación a la reducción del número total de piezas	3	4
Posibilidad de conservar un diseño modular	2	1
Posibilidad de mantener un diseño multifuncional	5	4
No Repercusión sobre el empleo de elementos normalizados	2	4
Cuánto favorece en la reducción del número direcciones de ensamble	1	5
Como favorece el acceso de las herramientas	4	4
Efecto favorecedor sobre el posicionado de las piezas a ensamblar	3	2
Efecto sobre el ahorro de operaciones de manipulación de piezas previas al ensamble	3	1
Otras posibles		

### 5. Conclusiones Finales

La aplicación de metodologías que permiten la obtención sistemática de datos, útiles siempre y en muchas situaciones determinantes, sigue encontrando reticencias para su utilización por los grupos clásicos de diseño, que suelen optar por una toma de decisiones en base a su experiencia y conocimientos.

Sin embargo, las actuales exigencias de calidad y plazos no permiten errores en el diseño de medios y equipos para fabricación y montaje, ya que un rediseño

realizado después de su puesta en marcha generaría unas pérdidas inadmisibles motivadas por modificaciones y retrasos..

La herramienta desarrollada resulta útil para trabajar en un entorno de ingeniería concurrente, aportando datos para la toma de decisiones del grupo coordinador de diseño respecto a las características técnicas que, una incorporadas al diseño, permiten anticiparse a la aparición de problemas, minorándolos en unos casos y solventándolos totalmente en otros casos, superándose así conceptos que tradicionalmente consideraban como normal el solventar dichos problemas durante la puesta en marcha y primeras series del proceso de fabricación y/o ensamblado,.

## **Referencias**

John R. HARTLEY . Ingeniería concurrente. Un método para acortar los plazos, mejorar la calidad y reducir los costes. Productivity Press . Madrid 1994

Jon LANDETA . El método DELPHI. Una técnica de previsión para la incertidumbre. Editorial Ariel S.A. . Barcelona 1999

TAGUCHI Y SHAININ . El secreto de la calidad japonesa. El diseño de experimentos clásicos. Marcombo. Barcelona 1993

ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA NAVARRA. la calidad en el área de diseño  
Díaz de Santos. Madrid 1991

J. M. JURAN. Juran y la calidad por el diseño  
Díaz de Santos. Madrid 1992

ARTÍCULO :R. Echepare, J.I. Llorente, D. Esteban. APLICACIÓN DEL QFD A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTA EN LA ETAPA DE DISEÑO. IMHE – Octubre 2000



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### UN PROGRAMA PARA DIBUJO DE INGENIERÍA QUÍMICA

VIDAL AGUILAR, Enrique; MORCIEGO GARCÍA, Carlos E.

Universidad de Camagüey, Cuba  
Facultad Electromecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica. Colectivo Gráfica de Ingeniería.  
Correo electrónico: evidal@em.reduc.edu.cu

### RESUMEN

La disciplina Dibujo surge debido a las exigencias prácticas del hombre, quien sintió la necesidad de representar los objetos que lo rodeaban y los creados por su intelecto.

Con el desarrollo de la ciencia y de las técnicas en las carreras de Ingeniería, surge la necesidad de desarrollar en el personal calificado habilidades en estas representaciones, respondiendo ya a un sistema unificado por lo que el Dibujo como disciplina tiene como objetivo fundamental desarrollar en los estudiantes el pensamiento lógico y el algoritmo, así como los fundamentos básicos y elementales de la expresión gráfica tanto espacial como bidimensional, a fin de que cuente con la herramienta básica en el lenguaje ingenieril, creando a su vez habilidades gráficas en la solución de problemas.

Disponer un programa que integrara armónicamente la Geometría Descriptiva, el Dibujo Básico y el Dibujo Aplicado a la Ingeniería Química fue el resultado del trabajo que se presenta.

**Palabras clave:** Dibujo. Lenguaje Gráfico Ingenieril. Habilidades gráficas. Expresión Gráfica

### ABSTRACT

A The discipline Drawing arises due to the man's practical demands who it felt the necessity to represent the objects that surrounded it and those created by its intellect.

With the development of the science and of the technique in the careers of Engineering, the necessity arises of developing in the personnel qualified abilities in these representations, already responding to a system unified by it the Drawing like discipline has as fundamental objective to develop in the students the logical thought and the algorithm, as well as the basic and elementary foundations of the graphic expression so much space as two-dimensional, so that it has the basic tool in the language ingenieril, creating graphic abilities in turn in the solution of problems. To prepare a program that it integrated the Descriptive Geometry, the

Basic Drawing and the Applied Drawing harmoniously to the Chemical Engineering the result of the work that is presented was.

**Key words:** Drawing. Graphic language Ingenieril. Graphic abilities. Graphic expression

## 1. Introducción

Con el desarrollo de la ciencia y de las técnica en las carreras de Ingeniería, surge la necesidad de desarrollar en el personal calificado habilidades en estas representaciones, respondiendo ya a un sistema unificado por lo el Dibujo como disciplina tiene como objetivo fundamental desarrollar en los estudiantes el pensamiento lógico y el algoritmo, así como los fundamentos básicos y elementales de la expresión gráfica tanto espacial como bidimensional, a fin de que cuente con la herramienta básica en el lenguaje ingenieril, creando a su vez habilidades gráficas en la solución de problemas.

La Carrera ingeniería Química, que se imparte en la Universidad de Camagüey, requería un programa de la disciplina Dibujo que integrara armónicamente la Geometría Descriptiva, el Dibujo Básico y el Dibujo Aplicado a la Ingeniería Química, para la concepción del mismo se tuvieron presente:

- El Perfil Ocupacional del Ingeniero Químico
- Los Objetivos generales educativos
- Los Objetivos generales instructivos
- Las Estrategias Directoras
- El Sistema de valores

Partiendo de los elementos antes expuestos y en consulta permanente con personal de gran experiencia docente, así como el criterio de expertos en la actividad práctica se logro una la Planificación y Desarrollo de los Temas de forma fluida.

## 2. Desarrollo del Trabajo

Desarrollamos las actividades de confección del programa teniendo en cuenta los elementos que se relacionaron anteriormente, en ellos se obtuvieron los siguientes elementos:

- El Perfil Ocupacional del Ingeniero Químico.

El Ingeniero Químico es el tecnólogo superior de la Industria Química, de allí que en su esfera de actuación comprenda la actividad de diseño y desarrollo, la que tendrá por objetivos el diseño y desarrollo de plantas nuevas, diseño y erección de un anexo a una planta y la modernización de una planta ya instalada, en relación con esto se ocupa de tareas tales como la proyección de equipos y aparatos de procesos, el diseño y proyectos de plantas pilotos, los diseños preliminares necesarios para la contratación de plantas en países exteriores, así como la comprobación de diseños finales en las nuevas inversiones.

La relación del Dibujo como disciplina y la actividad del Ingeniero Químico están dadas porque la primera le permite:

- Determinar dimensiones principales de los equipos
- Especificar la altura de los equipos
- El Número de elementos componentes y dimensiones de los mismos
- Proyectar plantas completas
- Enviar especificaciones a la Ingeniería Mecánica para su confección

Por lo anterior en el programa que se presenta se persiguen dentro de los Objetivos Generales los siguientes:

- Objetivos generales educativos.
  - Desarrollar en los estudiantes, mediante el trabajo en la disciplina, convicciones científico- técnico, intelectual y estético que aplicada durante el estudio de pregrado y en la práctica profesional les permitan acometer tareas complejas.
  - Formar rasgos positivos de la personalidad como son la perseverancia, la responsabilidad, la voluntad, etc., mediante la solución de problemas gráficos que contribuyen al desarrollo del pensamiento lógico, la imaginación espacial y un enfoque ingenieril.
  - Ayudar al desarrollo de una ética y estética profesional mediante la exigencia y cuidado de la estética gráfica y la correcta aplicación de los métodos y procedimientos de la Geometría Descriptiva, el Dibujo Básico y el Dibujo Aplicado.
- Objetivos generales instructivos.
  - Emplear las normas que permitan la elaboración e interpretación de planos y esquemas de la Industria Química.
  - Aplicar métodos y procedimientos de la Geometría Descriptiva en el análisis y solución de problemas gráficos.
  - Interpretar y dibujar la forma y dimensión de un elemento o equipo.
  - Elaborar e interpretar planos y diagramas relacionados con la industria Química.

- Establecer la vinculación del Dibujo con otras asignaturas del plan de estudio de la Carrera Ingeniería Química.

Y como Estrategias Directoras:

- **IDIOMA INGLÉS:** Se promoverá mediante la asignación de tareas de traducción en libros de dibujo técnico, así como en el uso del vocabulario técnico que corresponda en cada clase.
- **COMPUTACIÓN:** Se realiza por medio de una tarea orientada en extraclase utilizando: Dibujo Aplicado con el software Super Pro Designer, la cual enviarán por correo electrónico y el uso de la página Web de la asignatura.
- **HISTORIA:** Se desarrolla con la vinculación del trabajo extraclase a la página Web donde aparece el lenguaje gráfico, con sus antecedentes y su historia en Cuba.

Así mismo el Sistema de valores:

- Lograr que el estudiante desarrolle la estética, el poder de análisis, la creatividad, y estructure algoritmos de trabajo con habilidad e individualidad.

Todos los elementos anteriores se podían lograr si la disciplina Dibujo para la carrera Ingeniería Química respondía integralmente al siguiente Sistema Habilidades:

1. Proyectar en abatimiento y sin abatir elementos geométricos.
2. Identificar elementos geométricos.
3. Representar entes geométricos.
4. Resolver ejercicios de proyección del punto, la recta y el plano.
5. Resolver ejercicios de proyección de cuerpos geométricos elementales.
6. Determinar verdadera magnitud de las secciones generadas al ser interceptados los cuerpos geométricos elementales por el plano.
7. Dibujar con los instrumentos y materiales.
8. Trabajar con los documentos de la normalización.
9. Dibujar formatos y cajetines normalizados.
10. Realizar escritura de Letras, Números y Signos.
11. Dibujar Líneas Técnicas.
12. Trazar Construcciones Geométricas Básicas.



13. Dibujar Vistas y Croquis de modelos.
14. Acotar modelos.
15. Representar modelos en escalas.
16. Dibujar el resultado de los cortes aplicados a los modelos.
17. Dibujar modelos en Proyecciones Axonométricas.
18. Dibujar diagramas de bloques de los procesos químicos.
19. Dibujar esquemas de flujo de los procesos químicos.
20. Dibujar en forma monolineal las vistas, axonométricos y desarrollados de los sistemas de tuberías.
21. Dibujar las vistas múltiples de los sistemas de tuberías y recipientes.
22. Aplicar la simbología establecida para la unión de los elementos componentes de los sistemas de tuberías.
23. Aplicar la simbología para la representación de la soldadura.
24. Utilizar la normalización en la confección de planos de artículos y procesos químicos.
25. Utilizar los sistemas de representación estudiados, de acuerdo a la características de y finalidad de cada proyecto.
26. Confeccionar planos de dimensiones máximas de artículos tales como tanques, recipientes y sus conexiones a partir de otros planos.
27. Aplicar código Internacional de líneas y colores para la representación de fluidos.
28. Representar los recipientes.

Con todos los elementos anteriores se arriba a la acción que nos propusimos al iniciar nuestra labor en la elaboración del programa quedando estructurado como se describe a continuación la Planificación y el Desarrollo de los Temas:

➤ Tema 1 Geometría Descriptiva. (18 horas).

Objetivos del Tema:

- Interiorizar la Teoría de las proyecciones.

- Proyectar el punto, la recta y el plano en sistemas de dos y tres planos de proyección sin abatir y en abatimiento a partir de coordenadas.
  - Identificar o designar según el caso, las abreviaturas o notación con que se indican en la G. D. los distintos elementos geométricos.
  - Resolver ejercicios de proyección de cuerpos geométricos elementales.
  - Determinar magnitudes verdaderas generadas por la intersección del plano con los cuerpos geométricos elementales.
  - Determinar las situaciones relativas del punto, la recta y el plano, resolviendo gráficamente los casos de intersección o pertenencia
- ❖ Sistema de conocimientos.

### Teoría de las proyecciones.

- Elementos de las proyecciones.
- Notación.
- Clasificación de las proyecciones.
- Sistema de dos Planos y de tres planos de proyección. Su Abatimiento.
- Proyecciones ortogonales del punto.
- Proyecciones ortogonales de la recta.
- Proyecciones ortogonales del plano.
- Posiciones relativas de la recta y del plano respecto a los planos de proyección.
- Proyecciones de cuerpos geométricos elementales.
- Proyección del prisma.
- Proyección de la pirámide.
- Proyección del cilindro.
- Proyección del cono.
- Intersección de los cuerpos geométricos elementales por el plano.
- Magnitud verdadera de la sección.

➤ Tema 2 Dibujo Básico. (32 horas).

Objetivos del Tema:

- Identificar y manipular correctamente los Instrumentos y materiales que se emplean en el Dibujo.
- Consultar y Aplicar adecuadamente las Normas Gráficas Básicas, durante el proceso de representación en Planillas de las asignaturas de la disciplina, en los Proyectos Integradores de Ingeniería Química, así como en otras aplicaciones técnicas.
- Dibujar formatos y cajetines normalizados.
- Decidir el tipo y grosor de línea a utilizar y trazarla según el caso.
- Desarrollar la escritura técnica.
- Trazar Construcciones Geométricas Básicas.
- Determinar las representaciones necesarias de un artículo.
- Adquirir destreza en el dibujo a mano alzada.
- Realizar croquis de modelos.
- Dimensionar los dibujos de los artículos.
- Dibujar modelos en escalas.
- Representar las vistas, cortes y secciones, acotadas de artículos de simple y mediana complejidad:
- Representar en proyecciones axonométricas artículos completos o cortados.
- Proyectar la circunferencia en axonometría.
- Interpretar dibujos de artículos representados en abatimiento y en axonometría.

❖ Sistema de conocimientos.

- Formatos y Cajetines.
- Líneas Técnicas Normalizadas.
- Rotulado Técnico Normalizado.
- Construcciones Geométricas Básicas.
- Vistas.
- Croquis.
- Acotado.
- Escala.
- Cortes y Secciones.
- Proyecciones Axonométricas: Proyección Isométrica y Proyección Dimétrica Oblicua.

➤ Tema 3 Dibujo Aplicado. (20 horas)

Objetivos del Tema:

- Utilizar la normalización en la confección de planos de artículos y procesos químicos.
- Utilizar los sistemas de representación estudiados, de acuerdo a la características de y finalidad de cada proyecto.
- Representar procesos químicos mediante esquemas y/o diagramas.
- Representar sistemas de tuberías y los tipos de uniones de las mismas en forma simplificada y convencional.

- Representar los recipientes.
- Representar las uniones soldadas mediante las simbologías establecidas.
- Confeccionar planos de dimensiones máximas de artículos tales como tanques, recipientes y sus conexiones a partir de otros planos.
- Aplicar código Internacional de líneas y colores para la representación de fluidos.

#### ❖ Sistema de conocimientos.

- Tipos de Planos.
- Esquemas y/o diagramas de los procesos químicos.
- Esquema de Bloques.
- Diagrama de Flujo.
- Código Internacional de Líneas y Colores para la representación de fluidos.
- Sistema de Tuberías y Recipientes.
- Vistas múltiples de sistemas de Tuberías y Recipientes
- Elementos de unión. Roscas. Bridas. Símbolos.
- Construcciones Soldadas.

### **3. Conclusiones o Consideraciones Finales**

Como se expuso anteriormente, el desarrollo de la ciencia y la técnica en las carreras de Ingeniería, y la necesidad de desarrollar en el personal calificado habilidades en las representaciones, respondiendo ya a un sistema unificado encuentra en el Dibujo como el elemento indispensable para lograr dicho como objetivo fundamental en el desarrollo integral de los estudiantes mediante el pensamiento lógico y el algoritmo, así como los fundamentos básicos y elementales de la expresión gráfica tanto espacial como bidimensional, disponiendo de la herramienta básica en el lenguaje ingenieril, creando a su vez habilidades gráficas en la solución de problemas.

Al requerir la Carrera ingeniería Química, que se imparte en la Universidad de Camagüey, un programa de la disciplina Dibujo que integrara armónicamente la Geometría Descriptiva, el Dibujo Básico y el Dibujo Aplicado a la Ingeniería Química, para la concepción del mismo se tuvieron presente:

- Perfil Ocupacional del Ingeniero Químico
- Objetivos generales educativos
- Objetivos generales instructivos
- Estrategias Directoras
- Sistema de valores

Lo que permitió lograr la Planificación y Desarrollo de los Temas de forma fluida.

### **Referencias Bibliográficas:**

1. Alvarez C. Z. El perfeccionamiento en la Educación Superior Cubana. Sus tendencias actuales: Revista Cubana de Educación Superior, Ciudad Habana Vol. 13 No. 2, 1993.
2. Alvarez C. Z. Fundamentos teóricos de la dirección del proceso docente-educativo en la Educación Superior Cubana. ENPE, Ciudad de la Habana, 1990.
3. Alvarez, P; Rubio, R; García, R; Suárez, J; López, J. Reflexiones acerca del desarrollo y utilización de un programa de CAD propio frente a programas comerciales. Universidad de Oviedo. Actas del XI INGEGRAF, Pamplona, España, 1999.

4. Alvarez C. Z. La Escuela de la vida: Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1999.
5. Alvarez C. Z. Lecciones de Didáctica General: Ediciones Edinako Ltada. Colombia, 1998.
6. Alvarez, J. G. La organización de la disciplina técnicas de comunicación y el desarrollo de la representación gráfica en el arquitecto. Tesis para optar por el título de Master en Educación superior, Universidad de Camagüey, 2000.
7. Aragonéz, C. P. Evolución de las Estrategias de Aprendizaje en alumnos de Enseñanza Superior: Revista Tarbiya, Universidad Autónoma de Madrid. Julio, 1993.
8. Arroyo, I. F. Los fundamentos epistemológicos de las disciplinas en la selección de contenidos. Revista Tarbiya (10) 1995.
9. Bermúdez F; Lapaz, J; Marqués, J.; Povill, D; Morón, M; Voltas, J. Aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la enseñanza de la expresión gráfica. Universidad Politécnica de Cataluña, Terrassa. Actas del XI INGEGRAF, Pamplona, España, 1999.
10. Bermudez, R. S. Teoría y Metodología del aprendizaje: Editorial Pueblo y educación, Ciudad de la Habana, 1996.
11. Coll, C; Pozo, J; Sarabia, B; Valls, E. Los contenidos en la reforma: la enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes. Edic. Santillana. Madrid, 1992.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CONTROL METROLÓGICO EN PLANTA DE LOS VALORES DE DISEÑO DE UNA PIEZA

ZUBIAURRE EIZAGUIRRE, Verónica (1); FERNÁNDEZ SORA Alberto (2); GARCÉS  
TEBAR, Antonio (3).

Universidad de Zaragoza, ESPAÑA  
Departamento de INGENIERÍA DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

(1)Correo electrónico:vezubi@unizar.es  
(2)Correo electrónico:fersora@unizar.es  
(3)Correo electrónico:ajgarces@unizar.es

### RESUMEN

Los valores geométricos de un conjunto mecánico especificados en un plano, responden a las dimensiones calculadas en el proceso de diseño de las piezas que lo forman. El control metrológico que debe realizarse en planta, dependerá de los instrumentos utilizados en su proceso de fabricación. En este sentido, los valores utilizados para el control en la planta, no deben coincidir con los especificados en el plano, ya que se debe tener en cuenta la incertidumbre de medida del instrumento utilizado.

**Palabras clave:** metrología, control en planta, diseño, incertidumbre, instrumentación, variabilidad, tolerancia.

### 1. Introducción

Uno de los objetivos del Diseño Industrial es la definición de las formas geométricas teóricas que han de tener las piezas proyectadas. Sin embargo es un hecho que nunca las medidas teóricas de diseño van a coincidir con las medidas efectivas reales una vez fabricada la pieza. El operario, las máquinas, los instrumentos de fabricación, las condiciones ambientales,... y en definitiva, la variabilidad inherente a todo proceso de fabricación, influye en que una pieza nunca tenga exactamente las medidas nominales que figuran en el diseño.

Por otra parte la fabricación industrial en serie se basa en el principio de intercambiabilidad, según el cual "cualquier pieza fabricada debe servir para cualquier conjunto al que está destinada sin necesidad de ser retocada". De aquí que sea necesario dar un margen de inexactitud, consignando unos valores máximo y mínimo en las medidas, entre los cuales el funcionamiento de la pieza sea correcto. La



diferencia entre estos límites máximo y mínimo de las medidas de una pieza, es lo que se denomina tolerancia dimensional.

Una vez superada la fase del diseño y establecidas las distintas tolerancias de la pieza, se procede a su fabricación. Es precisamente durante este proceso donde las distintas causas de variabilidad se manifiestan en mayor medida. Al final, la pieza deberá responder a unas medidas predeterminadas en un plano. Dichas medidas serán comprobadas mediante el uso de un instrumento de medida. Sin embargo, el instrumento no está exento de inexactitud. Así, dos instrumentos iguales, pueden dar dos lecturas diferentes, siendo las dos igualmente válidas.

De esta manera, se plantea la siguiente cuestión: Una vez conocidos los valores especificados en el plano (valores de diseño) para una pieza y los datos de calibración del instrumento de medida con el que van a ser verificados, qué valores admitirá el operario en la fabricación de dicha pieza (valores reales). Estos valores reales no tienen porqué coincidir con los valores de diseño, lo que conlleva una aparente contradicción.

La medida es el resultado del proceso de medición y viene expresada en unas determinadas unidades. Para que una medida sea válida, es necesario definir un proceso en el que se especifique cómo se va a realizar, bajo qué condiciones ambientales, con qué límites de precisión, etc.

El valor exacto expresado en una sola cifra, como resultado del proceso de medida, es teóricamente inalcanzable. Ello es debido a que todos y cada uno de los elementos que intervienen en el proceso de medición poseen una variabilidad intrínseca, de forma que tampoco es posible determinar con una sola cifra su valor exacto. El proceso debe garantizar que dicha variabilidad se mantenga dentro de unos límites especificados, que dependerán de la precisión requerida al proceso.

Por todo ello, cualquier medida metrológicamente representativa, debe incluir una valoración de la precisión del resultado. Esta cuantificación de la precisión de un resultado es lo que se llama incertidumbre de la medida y se define como la semiamplitud del intervalo indicado (intervalo de incertidumbre) centrado sobre la estimación del valor numérico de la medida.

## **2. Aplicación a una medida directa**

Se desea medir una magnitud  $Y$ . Dicha magnitud puede ser obtenida directamente leyendo las lecturas resultantes de aplicar un instrumento de medida sobre la longitud que la materializa. Para completar el ejemplo, supóngase que el instrumento deba ser calibrado en el punto de medida mediante un patrón dado.

Calibración del instrumento de medida:

La primera operación consiste en la calibración del instrumento de medida en el punto de la escala más cercano a la magnitud  $Y$  (si no se conoce su valor, se medirá

previamente a título orientativo). Los datos del patrón deben estar certificados por un laboratorio metrológico.

El valor certificado del patrón es  $x_o \pm I_o(w_o)$ , donde  $x_o$  es el valor, aceptado como verdadero del patrón,  $I_o$  es la incertidumbre del patrón y  $w_o$  es el factor de incertidumbre del patrón.

Se tiene que,  $u_o = I_o / w_o$

donde  $u_o$  es la desviación típica asociada a la incertidumbre del patrón.

Se quiere obtener la incertidumbre de calibración del instrumento de medida y se parte del patrón metrológico como valor verdadero.

Se medirá el patrón con el instrumento un número de veces  $n_c$  considerablemente superior que el número de reiteraciones de una medida en el uso habitual del instrumento. El conjunto de resultados  $x_{ci}$  con  $i = 1, \dots, n_c$  constituye una muestra del conjunto infinito de valores que es el resultado de esa medida. Por ello, el valor medido por el instrumento al ser aplicado sobre el patrón es:

Valor del patrón: media muestral de las lecturas obtenidas  $x_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_{ci}$

Dispersión de la muestra: varianza muestral:

$$s_c^2 = \frac{1}{n_c - 1} \sum_{i=1}^{n_c} (x_{ci} - x_c)^2$$

pero como el resultado de la medida viene dado por la media muestral, la dispersión de ésta vendrá dada por la varianza de la media muestral:

$$\frac{s_c^2}{n_c}.$$

Los resultados de la calibración son los siguientes:

El patrón mide (está certificado)  $x_o$  y las lecturas del instrumento dan  $x_c$ . Como se acepta como verdadero el valor del patrón, el instrumento deberá ser corregido, en este punto de su escala métrica, en una cantidad  $\Delta x_c$  tal que  $x_o = x_c + \Delta x_c$  (donde el signo de  $\Delta x_c$  puede ser positivo o negativo), y es la cantidad que deberá sumarse al resultado de las medidas o introducirse como corrección en el instrumento (es este

punto de su escala métrica) durante el periodo en el que la calibración se considera válida.

Para calcular la incertidumbre de calibración se parte los datos del patrón y de los datos de la propia operación de calibrado:

1) Varianza del patrón (certificada):  $u_o^2 = \left(\frac{I_o}{w_o}\right)^2$

2) Varianza de la muestra obtenida en el proceso de calibración al estimar el valor del patrón

$$\frac{s_c^2}{n_c}$$

La varianza total será la suma de las anteriores (se suman las varianzas no las desviaciones):

$$u_c^2 = u_o^2 + \frac{s_c^2}{n_c}$$

Para obtener la incertidumbre de calibración (en este punto de la escala métrica del instrumento) basta multiplicar la desviación típica asociada a la varianza total (su raíz cuadrada positiva) por un escalar denominado factor de incertidumbre  $I_c = u_c \cdot w_c$ .

En definitiva, los resultados del proceso de calibración son:

Corrección de calibración	$\Delta x_c$	$x_o = x_c + \Delta x_c$
Incertidumbre de calibración	$I_c$	$I_c = u_c \cdot w_c$ donde $u_c^2 = u_o^2 + \frac{s_c^2}{n_c}$
Factor de incertidumbre	$w_c$	suele tomarse un valor de 2 ó 3

Sin embargo estos resultados se han obtenido en la calibración del instrumento donde, tanto las condiciones operativas son mucho más detalladas y cuidadosas que las condiciones normales de trabajo del instrumento, como el número de veces que se reitera una medida es mucho mayor. Por lo tanto, los resultados obtenidos no reflejan lo que se obtendría al operar con el instrumento en condiciones normales de trabajo.

## Cálculo de los valores de medida (o de trabajo) del instrumento

En este caso se aceptan como verdaderas las lecturas del instrumento (siempre que éste haya sido previamente calibrado) y se desea conocer el valor de la magnitud a medir (justo al contrario que en la operación de calibración).

Al efectuar una medida se aplica en instrumento sobre la magnitud a medir un número de veces  $n$ , menor que el número de reiteraciones usado en la calibración ( $n \ll n_c$ ). Generalmente en los instrumentos de medida directa  $n = 1$ .

El resultado adoptado como valor más probable de la medida es la media muestral de los valores medidos, posteriormente corregida:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + \Delta x_c$$

Para calcular la incertidumbre de medida se parte de los datos de calibración del instrumento y de los datos de la propia operación de medición:

1) Varianza de calibración del instrumento (certificada):  $u_c^2 = u_o^2 + \frac{s_c^2}{n_c}$

2) Varianza de la muestra obtenida en el proceso de medición  $\frac{s_c^2}{n}$ .

En este caso se toma la varianza de las medidas obtenidas en el proceso de calibrado, ya que tanto la fiabilidad de las medidas como el número de reiteraciones sobre la magnitud a medir es mucho mayor en la calibración que en el proceso de medida. Dicho de otro modo, no tendría sentido obtener una varianza muestral con  $n = 1$ .

La varianza total será la suma de las anteriores (se suman las varianzas no las desviaciones):

$$u^2 = u_c^2 + \frac{s_c^2}{n}$$

Teniendo en cuenta las expresiones anteriores, se tiene:

$$u^2 = u_o^2 + \left( \frac{1}{n_c} + \frac{1}{n} \right) \cdot s_c^2$$

Por último, para obtener la incertidumbre de medida (en este punto de la escala métrica del instrumento) basta multiplicar la desviación típica asociada a la varianza total (su raíz cuadrada positiva) por un escalar denominado factor de incertidumbre  $I = u \cdot w$ .

En definitiva, el resultado de medir una magnitud Y con un instrumento calibrado será:

***Resultado = lectura neta ± incertidumbre de medida (factor de incertidumbre)***

Donde: *lectura neta = lectura bruta del instrumento + corrección de calibración*

Es decir, el valor estimado de la magnitud Y será:  $y = (lec + \Delta x_c) \pm I(w)$ .

Es importante resaltar que estos valores sólo son aplicables para el punto de la escala métrica del instrumento donde se está operando. Si al medir posteriormente con el instrumento, las indicaciones resultantes no están en las proximidades del punto de calibración, las expresiones anteriores no permiten determinar la corrección e incertidumbre pues los parámetros que en ellas intervienen no son conocidos al no haberse realizado la calibración en dicho punto.

Los instrumentos de metrología de gran precisión pueden llegar a exigir la necesidad de una calibración previa a cada medida de responsabilidad sobre el punto de su campo de medida en cuyas proximidades se va a realizar la medición.

Cuando se trata de instrumentos que se emplean con cierta frecuencia, se prefiere resumir toda la información obtenida al calibrar en diversos puntos de su escala

(generalmente se distribuyen uniformemente a lo largo de su escala métrica), en unos parámetros globales que reflejen el comportamiento propio de los mismos sin distinguir la zona del campo de medida en la que actúan en cada caso. Esto es especialmente aplicable a los instrumentos muy estables y que metrológicamente pueden denominarse “terminales”, es decir, instrumentos que solamente miden pero que no se utilizan para calibrar a otros.

En estos casos es conveniente simplificar en todo lo posible los criterios de cualificación metrológica y la incorporación de los parámetros correspondientes en la utilización práctica y habitual de dichos instrumentos. Así, por ejemplo, no se justificaría la utilización de un micrómetro de exteriores que exigiese del operario la corrección de las indicaciones obtenidas, o la realización de operaciones aritméticas para determinar el valor de la incertidumbre de sus medidas. Todo ello debe haber

sido resuelto con anterioridad por la persona señalada en la organización de la calidad, que habrá asignado este micrómetro para la comprobación de determinadas cotas y tolerancias, sin mayor exigencia que la de comprobar si sus indicaciones pertenecen o no a los intervalos de verificación en cuestión.

El factor de incertidumbre debe ser entendido como una función metrológica que transforma un parámetro meramente estadístico, obtenido a partir de una muestra de valores y usado para calcular una estimación de la variabilidad inherente a un proceso, la desviación típica, en un dato con pleno significado metrológico, la incertidumbre del resultado del proceso de medida.

En el límite, podría darse el caso de un proceso con un valor de la desviación típica nulo, pero nunca se admitiría un valor de incertidumbre cero. Tal situación se obtendría al calibrar un instrumento con un patrón cuya precisión sea muy superior con respecto al primero (una regla con una resolución de un milímetro y un bloque patrón con una precisión por debajo de la micra). Por muy elevado que sea el número de reiteraciones que se realicen al medir del patrón con el instrumento dado, siempre se obtendrá el mismo resultado, ya que el instrumento no posee suficiente capacidad de discriminación para apreciar diferencias de orden inferior a la micra. En estas condiciones, no tendría sentido obtener parámetros estadísticos.

La relación matemática que relaciona la desviación típica y la incertidumbre, llevaría a asignar un valor a esta última nulo, y esto es conceptualmente imposible.

Todo instrumento de medida tiene asignado un intervalo de incertidumbre, que en el límite, será igual al doble de la resolución del instrumento:

$$\text{Intervalo mínimo de incertidumbre} = \pm I = 2 I = \pm \text{resolución} = 2 \text{ resolución}$$

## **2. Valores en planta de los datos de diseño.**

En este punto se pretende responder a la pregunta planteada al principio: “Una vez conocidos los valores especificados en el plano (valores de diseño) para una pieza y los datos de calibración del instrumento de medida con el que van a ser verificados, qué valores admitirá el operario en la fabricación de dicha pieza (valores reales)”.

Para su respuesta, se seguirá un ejemplo práctico.

Se desea construir un eje de diámetro  $\phi = 125 \text{ mm}$ , que servirá como soporte, cuyo acoplamiento con el agujero responde al ajuste D10/h9.

Determinar los valores de diseño máximos y mínimos tanto del eje como del agujero, así como el tipo de ajuste que se obtendrá.

Si las dos piezas del ajuste fueran verificadas en planta, determinar qué valores reales admitirá el operario de planta, sabiendo que los instrumentos de medida de los que dispone son los siguientes:

<b>I-1:</b>  desviación de calibración = 0.003 mm  corrección de calibración = -0.002 mm  factor de incertidumbre = 2	<b>I-2:</b>  incertidumbre de medida = 0.012  factor de inc.: w=2  corrección de calibración: incluida en la incertidumbre
---	--

¿Qué instrumento será el más adecuado para el control de las piezas?

**Valores de diseño:**

Los valores de diseño vienen especificados por la notación: 125 D10/h9, la cual indica:

<b>Agujero:</b>  $\phi_{\text{nominal}} = 125 \text{ mm}$  tolerancias ISO = D10  En tablas: $\Delta T = 160 \text{ }\mu\text{m}$  $\Delta i = + 145 \text{ }\mu\text{m}$  $\Delta s = + 305 \text{ }\mu\text{m}$	<b>Luego:</b>  $\phi_{\text{sup}} = 125.305 \text{ mm}$  $\phi_{\text{inf}} = 125.145 \text{ mm}$
<b>Eje:</b>  $\phi_{\text{nominal}} = 125 \text{ mm}$  tolerancias ISO = h9  En tablas: $\Delta T = 100 \text{ }\mu\text{m}$  $\Delta s = 0 \text{ }\mu\text{m}$  $\Delta i = - 100 \text{ }\mu\text{m}$	<b>Luego:</b>  $\phi_{\text{sup}} = 125.000 \text{ mm}$  $\phi_{\text{inf}} = 124.900 \text{ mm}$

Considerando el acoplamiento entre las dos piezas:  $\phi_{sup\ eje} < \phi_{inf\ agujero}$  , con lo que el ajuste resultante será móvil. El acoplamiento producirá juego entre las dos piezas, cuyos valores extremos serán:

$$J_{\text{máximo}} = \phi_{\text{máximo agujero}} - \phi_{\text{mínimo eje}} = 0.405\text{ mm}$$

$$J_{\text{mínimo}} = \phi_{\text{mínimo agujero}} - \phi_{\text{máximo eje}} = 0.145\text{ mm}$$

Debe resaltarse los elevados valores de juego que tendrá el acoplamiento.

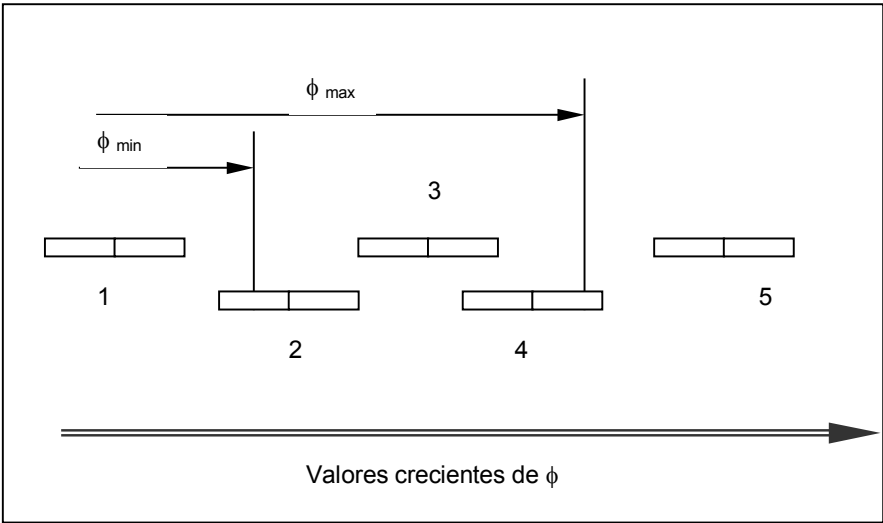
**Valores en planta:**

Los datos de los instrumentos disponibles en planta son:

<b>I-1:</b>  desviación de calibración = 0.003 mm  corrección de calibración = -0.002 mm  factor de incertidumbre = 2	<b>I-2:</b>  incertidumbre de medida = 0.012  factor de inc.: w=2  corrección de calibración incluida en la incertidumbre
---	---

De cada uno de ellos se deberá determinar su incertidumbre de medida (no de calibración) y su corrección de calibración (si procede).

El modelo que va a seguirse es el siguiente:



Modelado de la medición en planta



Cada una de las medidas efectuada por un instrumento deberá ser interpretada de la siguiente forma:

$$\text{Resultado} = \text{lectura bruta} + \text{corrección} \pm \text{Incertidumbre}$$

Cada lectura del instrumento, lectura en bruto, deberá ser corregida si procede, sumándole un valor de corrección (cuyo signo será positivo o negativo) para obtener la lectura neta. Después, dicho valor será afectado de un intervalo centrado de incertidumbre de valor  $\pm I$ .

Es decir, el valor más probable de la medida, es el indicado por el instrumento una vez corregido, pero debido a la inevitable variabilidad inherente a todo proceso de medida, no puede asegurarse que el verdadero valor sea el dado como más probable. Sin embargo, el valor verdadero está incluido dentro del intervalo de incertidumbre del resultado.

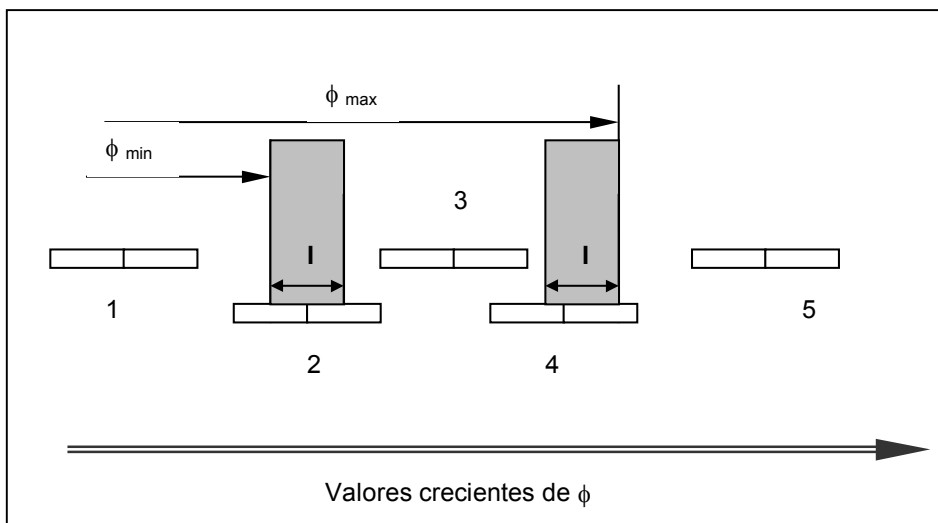
Analizando cada uno de los resultados posibles dados en la figura adjunta, es claro que las piezas que respondan a las situaciones 1 y 5 serán rechazadas, y que las piezas que respondan a la situación 3 serán admitidas.

Sin embargo, las situaciones 2 y 4 son diferentes. El resultado de ambas puede ser interpretado de la siguiente manera: el valor más probable de la medida cae dentro del intervalo de tolerancias, pero no puede ser asegurado ya que el intervalo de incertidumbre del instrumento empleado en dicha medida, sobrepasa los valores de las tolerancias de diseño. Es decir, aunque el valor más probable de la medida caiga dentro del intervalo de tolerancias, no puede asegurarse la validez del resultado si no se contempla en su totalidad el intervalo de incertidumbre.

En este sentido, las piezas cuyas medidas respondan a las situaciones 2 y 4 deberán ser rechazadas, pues no puede admitirse metrológicamente que estén dentro del intervalo de tolerancias de diseño.

Para una total seguridad, las medidas especificadas en el diseño para los valores máximo y mínimo, deberán ser interpretadas y modificadas ***únicamente para su control en planta, nunca en el plano***. Es decir, no se están cambiando los datos de diseño, sino que se están interpretando en planta en función de los datos metrológicos del instrumento con que va a producirse su control. Unos mismos valores de diseño, darán lugar, en planta, a valores de control diferentes si se utilizan instrumentos de medida cuyos datos metrológicos sean distintos.

Para evitar las situaciones 2 y 4, el intervalo de tolerancia deberá ser reducido en una cantidad igual al intervalo de incertidumbre del instrumento con el que se van a efectuar las medidas de control: el diámetro máximo deberá ser disminuido en una cantidad igual a la incertidumbre del instrumento, y el diámetro mínimo deberá ser ampliado en una cantidad igual.



Valores modificados para control en planta

En este caso los valores de control en planta son:

$$\phi_{\text{máximo control}} = \phi_{\text{máximo diseño}} - I_{\text{instrumento}}$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = \phi_{\text{mínimo diseño}} + I_{\text{instrumento}}$$

En este caso, las piezas cuyas medidas respondan a las situaciones 2 y 4, no serán admitidas, ya que sus valores caen fuera del intervalo de control válido.

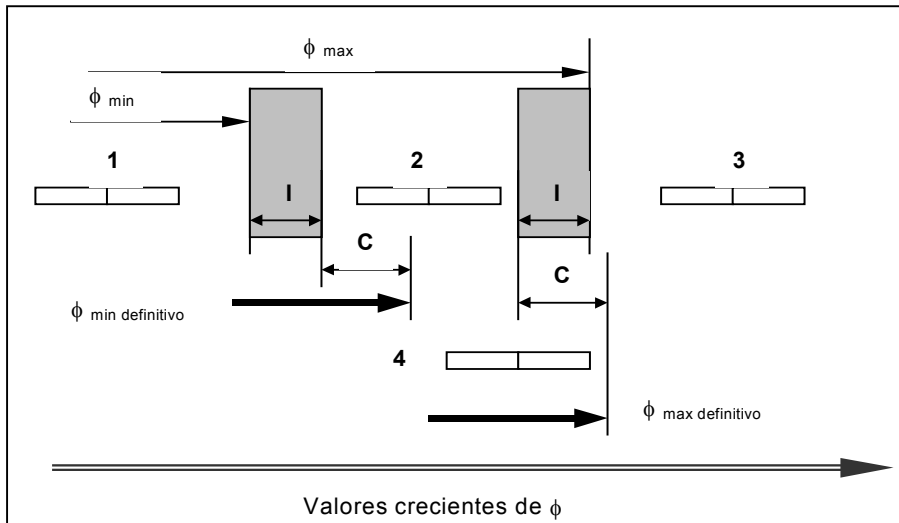
Estos valores serían definitivos si los instrumentos de medida sólo estuvieran afectados por la incertidumbre de medida. Sin embargo, otro de los datos obtenidos en el calibrado, es la corrección de calibración. Es decir, la cantidad que hay que sumarle a la lectura del instrumento (lectura en bruto) para obtener el valor más probable de la medida (lectura neta).

Los valores de control definitivos en planta son:

$$\phi_{\text{máximo control}} = \phi_{\text{máximo diseño}} - I_{\text{instrumento}} + C$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = \phi_{\text{mínimo diseño}} + I_{\text{instrumento}} + C$$

No obstante, como la corrección de calibración se suma (independientemente de su signo) a los dos diámetros modificados, el ancho de la zona de admisión para los valores reales de las piezas no varía.



Valores de control definitivos en planta

La anchura del intervalo de tolerancias de diseño es  $\Delta T$ , mientras que la anchura de la zona de admisión para los valores reales (en planta) es  $\Delta T - 2 I$ , donde  $2 I$  es el intervalo de incertidumbre de medida del instrumento utilizado en la medición.

Se puede definir un índice de adecuación del instrumento de medida (de forma análoga a como se definen los índices de capacidad en el control de procesos), como el cociente entre la zona de admisión real en planta y el intervalo de incertidumbre de medida. Este índice es único para cada instrumento y puede ser interpretado como el número de veces que el intervalo de incertidumbre cae en la zona de admisión.

$$C_{instrumento} = \frac{\Delta T - 2I}{2I}$$

Hay que tener en cuenta, que cuanto mayor sea este índice más preciso será el instrumento para controlar las piezas. Sin embargo, cuanto más preciso es un instrumento, mayor es su costo, tanto de adquisición como de uso. Dependerá de la situación de cada planta y de la consideración del encargado de control metrológico, el asignar un instrumento u otro a cada medida en particular.

Una vez establecido el modelo que va a seguirse, se procede a calcular los valores prácticos en base a los instrumentos de que se disponen.

## Instrumento I-1:

desviación de calibración = 0.003 mm

corrección de calibración = -0.002 mm

factor de incertidumbre = 2

En primer lugar, se debe señalar que los datos disponibles del instrumento no son los más adecuados, ya que son datos de calibración y no de medida (datos que deben ser obtenidos en el proceso de calibrado). Sin embargo, aunque esta anomalía podría hacer inaceptable su uso, se estimarán los valores de medida, si bien, el responsable de la calibración de este instrumento deberá ser advertido del error cometido: la calibración debe dar como resultado la incertidumbre de medida, la incertidumbre con la cual dicho instrumento podrá ser utilizado en su uso común, no la presentada durante el proceso de calibración (de valor menor que el anterior).

En el proceso de calibrado, la incertidumbre es función de los siguientes valores:

Error cometido en la calibración = error del que se parte (error del patrón) + error cometido durante el propio proceso de calibrado

Estos errores son estimados por las distintas varianzas certificadas o aparecidas durante la calibración:

$$u_c^2 = u_o^2 + \frac{s_c^2}{n_c}$$

En el proceso de medida, la incertidumbre será función de los siguientes valores:

Error cometido en la medida = error del que se parte (error de calibración) + error cometido durante el propio proceso de medida

La estimación por varianzas será:  $u^2 = u_c^2 + \frac{s_c^2}{n}$ .

Sin embargo, el único dato del que se dispone es la desviación de calibración o, lo que es lo mismo, la varianza  $u_c^2$ .

Para determinar la varianza de medida hay que estimar el error cometido durante el propio proceso de medida. Al no disponer de datos, puede aproximarse dicho error por la varianza de calibración, lo cual no será del todo correcto, pero sin duda será

mucho más adecuado que considerar los datos de calibración iguales a los datos que deben utilizarse en la medida. De esta forma, se tiene:

$$u^2 = u_c^2 + u_c^2 = 2 \cdot u_c^2$$

En base a este dato, la incertidumbre del instrumento I-1, con factor  $w=2$ , es:

$$I = w \cdot u = 2 \cdot (\sqrt{2} \cdot 0.003) = 0.008 \text{ mm}$$

Luego los valores que admitirá un operario al usar el medidor I-1 son:

$$\phi_{\text{máximo control}} = \phi_{\text{máximo diseño}} - I_{\text{instrumento}} + C$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = \phi_{\text{mínimo diseño}} + I_{\text{instrumento}} + C$$

La estimación de la capacidad de I-1 será:

$$C_{\text{instrumento}} = \frac{\Delta T - 2I}{2I}.$$

Sustituyendo valores:

Para el eje:

$$\phi_{\text{máximo control}} = 125.000 - 0.008 - 0.002 = 124.990 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = 124.900 + 0.008 - 0.002 = 124.890 \text{ mm}$$

$$\text{capacidad } C = (100 - 2 \cdot 8) / (2 \cdot 8) = 5.25$$

Para el agujero:

$$\phi_{\text{máximo control}} = 125.305 - 0.008 - 0.002 = 125.295 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = 125.145 + 0.008 - 0.002 = 125.151 \text{ mm}$$

$$\text{capacidad } C = (160 - 2 \cdot 8) / (2 \cdot 8) = 9.00$$

### **Instrumento I-2:**

incertidumbre de medida = 0.012

factor de inc.:  $w=2$

corrección de calibración: incluida en la incertidumbre

En este caso, los datos disponibles son acertados. Los valores que admitirá un operario con I-2 son:

Para el eje:

$$\phi_{\text{máximo control}} = 125.000 - 0.012 = 124.988 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = 124.900 + 0.012 = 124.912 \text{ mm}$$

$$\text{capacidad } C = (100 - 2 \cdot 12) / (2 \cdot 12) = 3.17$$

Para el agujero:

$$\phi_{\text{máximo control}} = 125.305 - 0.012 = 125.293 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{mínimo control}} = 125.145 + 0.012 = 125.157 \text{ mm}$$

$$\text{capacidad } C = (160 - 2 \cdot 12) / (2 \cdot 12) = 5.67$$

Considerando todos estos valores y los índices de capacidad (costo) de cada instrumento, y teniendo en cuenta la confianza metrológica que le merezcan los instrumentos de los que dispone, el responsable metrológico de la planta organizará el proceso de control de las piezas fabricadas.

## Referencias

- CARRO V. *Curso de Metrología Industrial* Universidad Politécnica de Madrid
- CHEVALEIR L. *Dibujo Industrial* UTEHA 1992.
- FERNÁNDEZ A. *Expresión Gráfica*. Ed. Mira. Zaragoza, 2003.
- SANCHEZ A., CARO J. *La incertidumbre de un instrumento de medida*. Análes de Ingeniería mecánica.
- SPEITEL K. *Handbook of industrial engineering*. John Wiley & Sons, 1992.
- TORRES F., PFEIFER T., *Manual de gestión e ingeniería de la calidad*. Ed. Mira. Zaragoza, 1999.

## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

---

### **VUELO VIRTUAL INTEGRAL POR LA RIOJA**

SANTAMARÍA PEÑA, Jacinto (1); SANZ ADÁN, Felix (2); DIEZ LEGLISE, Fransua (3)

<sup>(1)</sup> Universidad de La Rioja, España  
Centro de Enseñanzas Científico-Técnicas  
jacinto.santamaria@dim.unirioja.es

<sup>(2)</sup> Universidad de La Rioja, España  
Centro de Enseñanzas Científico-Técnicas  
felix.sanz@dim.unirioja.es

<sup>(3)</sup> Grupo Energías Renovables de La Rioja  
jfdiez@sitejf.com

### **RESUMEN**

En este artículo, se pretende describir los procesos desarrollados para realizar la simulación virtual interactiva de todo el territorio de la Comunidad Autónoma de La Rioja. El material utilizado se basa en las Ortofotografías Digitales en color verdadero de resolución 2 m/píxel y el modelo digital de elevación (MDT) de 100 m de malla. La simulación abarca una superficie total superior a los 5.000 Km<sup>2</sup> y se consigue un movimiento del observador sobre el terreno totalmente libre y realista.

Se añaden herramientas auxiliares como una brújula para orientación del desplazamiento y la ventana de posicionamiento, con coordenadas UTM. Sobre el modelo, es posible insertar construcciones geométricas texturizadas de todo tipo integradas en el ambiente, e incluso asociar bases de datos a diferentes elementos de la escena.

El lenguaje inicial de programación se basa en VRML, al cual se le han implementado desarrollos en JAVA para mejorar el interface de navegación.

En este artículo quedan reflejadas las dificultades encontradas para diseñar esta simulación y se establecen los condicionantes para aplicar la metodología a otros territorios o ambientes diferentes.

**Palabras clave:** VRML, Simulación Virtual, Ortofotografía Digital, JAVA

**Key words:** VRML, Virtual Reality, Digital Orthofotography, JAVA

# 1. Introducción

El objetivo del presente trabajo es la simulación virtual interactiva de todo el territorio comprendido dentro de la Comunidad Autónoma de la Rioja. Se pretende que cualquier persona pueda desplazarse de forma virtual, pero libremente, por una zona concreta visualizando la información gráfica que le proporciona la textura proveniente de la Ortofotografía Digital de ese terreno.

La principal dificultad a la hora de afrontar el presente trabajo, se ha centrado en el gran volumen de información a analizar por la aplicación, tanto a nivel de imagen digital como a nivel de modelo digital de elevación. Dado que los detalles quedan mejor definidos en las Ortofotografías cuanto menor es el tamaño del píxel, se ha intentado trabajar en la simulación con Ortofotografías digitales de hasta 0,5 m/píxel y modelos digitales del terreno con una definición de hasta 5 m. de malla regular.

Las distintas pruebas efectuadas con diferentes materiales, han demostrado, que utilizando lenguaje de programación VRML y equipos informáticos de tipo standard, se consiguen buenos rendimientos con tamaños de 2 m/píxel para las Ortofotografías y de 100 m para la malla regular del modelo.

## Las Ortofotografías Digitales

Se ha optado por utilizar las Ortofotografías digitales disponibles gratuitamente en la página web de la Consejería de Turismo y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja, que tienen una resolución de 2 m/píxel. Son ortofotos en color verdadero (24 bits) comprimidas en ficheros con formato \*.jpg, , los cuales vienen asociados al correspondiente fichero \*.jgw para su georreferenciación en coordenadas UTM.



Estos ficheros, tienen una extensión de 4 Km. x 2,5 Km., en total, 10 Km<sup>2</sup> de amplitud superficial.

Cada fichero tiene por tanto, 2000 pixeles en horizontal y 1250 pixeles en vertical, ocupando por término medio un tamaño de fichero de unos 500 Kbs.

En total, se trabajará con 602 ortofotos comprimidas.

Todo ello permite hacerse una idea del volumen de información que se deberá manejar al intentar simular el conjunto del territorio de la Comunidad Autónoma de La Rioja.



## Partición de las Ortofotografías

La simulación en entorno VRML precisa asignar a un determinado modelo su correspondiente textura y para que la simulación se desarrolle con cierta agilidad, se precisa que tanto los ficheros del modelo como los ficheros de textura no sean excesivamente “pesados”.

Por ello, se tomó la decisión de realizar la partición de las ortofotografías originales en zonas de 1 Km<sup>2</sup>, consiguiendo ficheros de 500 x 500 píxeles, manteniendo la resolución espacial de 2 m/píxel. El número total de ficheros obtenidos y que se tuvieron que procesar fueron más de 6.000.

## Resampling

Para dar un mayor rendimiento a la simulación con VRML, es conveniente que los ficheros de textura tengan un número de píxeles en X e Y que sea potencia de 2, por lo que se estimó oportuno realizar el resampling de todas las ortofotos a tamaño 512 x 512 píxeles.

Como las dimensiones de la zona representada por cada fichero se mantuvieron invariables (1.000 m x 1.000 m.), el resultado del resampling fue un tamaño de píxel en torno a 1,95 m.

En definitiva, tras realizar todo este proceso, se disponía de un total de 6.000 ortofotos comprimidas en ficheros de 512 x 512 píxeles, con una resolución espacial cercana a los 2 m/píxel.



## Sistema de coordenadas

Las ortofotos vienen representadas en Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM). Para adecuar este sistema de coordenadas al utilizado en la simulación VRML, fue necesario rotar todas las ortofotos 180° y después hacerles un volteo horizontal, mediante un programa de retoque fotográfico. De esta forma, quedaron emparejados perfectamente los sistemas de coordenadas UTM de la ortofoto y del entorno VRML.

## El modelo Digital del Terreno

La utilización de un Modelo Digital de Elevaciones es imprescindible para poder simular virtualmente en entorno VRML un terreno y dotarle del aspecto realista que se pretende.

Se disponía inicialmente de un modelo digital del terreno, propiedad del Gobierno de La Rioja, con un paso de malla de 5 metros. La información estaba en un primer momento almacenada en ficheros \*.dbf y contenía para cada punto de la malla los campos de coordenadas X,Y UTM, cota, orientación y pendiente. Estos ficheros \*.dbf ocupaban en bruto un tamaño próximo a los 10 Gb, tamaño que resulta inviable manejar por un entorno VRML como se pretende. Aún comprimidos, estos ficheros no bajaban de un tamaño próximo al 1 Gb.

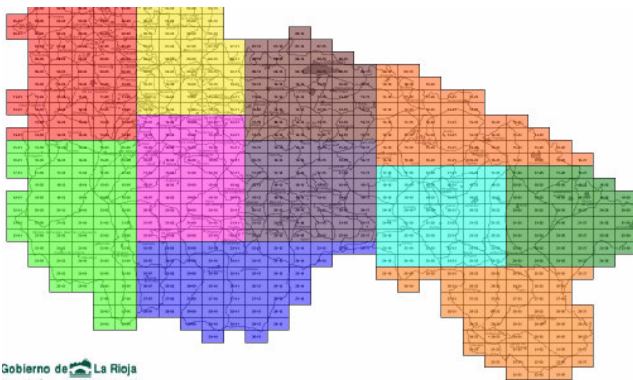
Por tanto, fue necesario realizar un filtrado de la información disponible en ellos, rebajando al mismo tiempo la resolución del paso de malla. Se decidió extraer un dato de cota por cada 100 m., resolución que resultaba suficiente para los objetivos de simulación que se pretendían, prescindiendo de momento de los datos de orientación y pendiente.

Se consiguió de este modo generar igualmente unos 6.000 ficheros de modelo digital de elevación, homólogos a los correspondientes ficheros de textura, cada uno con 100 datos de cota.

## 2. La Simulación

Con todo este material, se debía proceder a la correspondiente programación en entorno VRML. No obstante, y debido al grandioso volumen de toda la información existente, se consideró oportuno segmentar en zonas todo el territorio de la Comunidad Autónoma de La Rioja, de forma que especialmente la carga de las texturas fuera más ágil.

Se han considerado 11 zonas de vuelo, de forma que el usuario deba seleccionar previamente sobre qué zona quiere volar. Una vez cargado el modelo y las texturas correspondientes a dicha zona, el usuario puede volar libremente en dicho entorno.



Se están estudiando posibles algoritmos para la carga y descarga interactiva de ficheros en función de la dirección de vuelo. De esta forma sería posible la no segmentación del territorio.

## Implementación de la simulación

Más allá de la propia programación en entorno VRML de toda la simulación descrita, merece la pena destacar aquellos desarrollos paralelos que se han implementado y que se describen a continuación.

### *Uso de distintos niveles de resolución*

Existe la posibilidad en la programación VRML, a través del nodo llamado LOD, de establecer varios niveles de resolución para la textura, de forma que se pueda visualizar cada nivel en función de la distancia existente entre el punto de vista del observador y el modelo.

Para utilizar esta herramienta se han establecido tres niveles de resolución, aplicados a cada una de las distancias siguientes:

De 0 a 1500 metros                      resolución 2 m/píxel.

De 1500 m. a 5000 metros      resolución 4 m/píxel.

Más de 5000 metros sin textura, solo se observa el mallado.

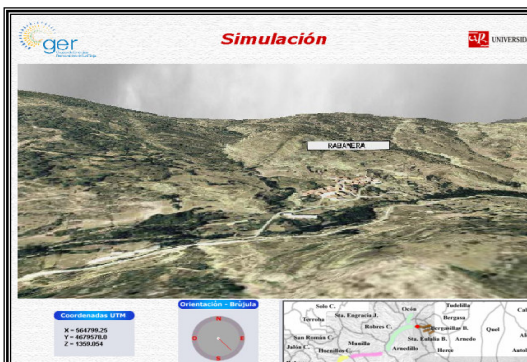
## ***Orientación***

Se ha desarrollado un código en VRML que se añade al modelo general, de forma que se pueda saber en todo momento la dirección del vuelo. Debido a problemas observados en la visualización durante el renderizado, se han desarrollado programas en JAVA que permiten una correcta visualización de la herramienta de orientación en el entorno HTML de la página.

### *Localización*

Se trata de un código en VRML diseñado para visualizar la posición en coordenadas UTM del observador

## Entorno de navegación



El entorno de navegación desarrollado es el que se puede apreciar en la figura.

Además de la ventana principal de visualización de la simulación, se incorporan las herramientas propias de orientación y localización descritas.

### 3. Conclusiones

En este trabajo se demuestra la viabilidad de la programación VRML para la simulación virtual de grandes áreas. Pero se evidencian también importantes limitaciones en este sentido. Cuando el volumen de información a virtualizar es elevado, la simulación se ralentiza en exceso y las limitaciones del hardware pueden ser también decisivas.

Si pensamos en una simulación vía web, por pequeño que sea el entorno a visualizar, la programación VRML presenta grandes inconvenientes. Es necesario pues, continuar la investigación con otros visualizadores dinámicos 3D interactivos que ofrezcan otras herramientas con mejores rendimientos.

### Agradecimientos

*A la Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno de la Rioja, por facilitarnos las ortofotografías digitales y el modelo digital del terreno para desarrollar esta simulación.*

*A la empresa Grupo de Energías Renovables de La Rioja, por la financiación parcial de este trabajo, y por el interés mostrado en aplicar la simulación en su campo concreto de actuación.*

### Referencias

Vince, John; “ Virtual Reality Systems”. Cambridge (Great Britain): Ed. Addison-Wesley, 1995.

Brenda, L.; “Realidad Virtual”. Rev Investigación y Ciencia. Noviembre 1995. pag. 32

De la Rosa, A.; “Sistemas de bases de datos relacionales orientadas a objetos e interfaces VRML para el www”. Rev. El profesional de la información. 1998.

Pozo, M. M.; Sánchez, R.; Pinilla, C.; “Actualización cartográfica mediante integración de fotografías aéreas e imágenes de satélite”. 1998.

García, C.; “Prototipos en el Centro de Realidad Virtual de Gedas”. Rev. Automática e Instrumentación. Nº 296, 1999, pag. 105.

Casey Larijani, L. “Realidad Virtual”. Ed. McGraw Hill. 1999.

Félez, J.; Cabanellas, J.; Martínez, M.J.; Carretero, A.; Romero, G. “Entorno de realidad virtual para el entretenimiento de operadores de subestaciones eléctricas”. Actas XI Congreso Ingegraf. Logroño-Pamplona (España). 1999.

Gómez, A.F.; Ibáñez, J.; “Un entorno para la Edición y Simulación de Plantas de Producción virtuales”. Actas XI Congreso Ingegraf. Logroño-Pamplona (España). 1999.

Bescós del Castillo, C., Arredondo Waldmeyer, M.T.; “Estado del arte de las tecnologías de realidad virtual”. Ed. PCWORLD, Enero 2001, pag. 103.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### A REVERSE ENGINEERING METHODOLOGY TO CAPTURE COMPLEX SHAPES

BARONE, Sandro; RAZIONALE, Armando Viviano

University of Pisa  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione  
Email: [s.barone@ing.unipi.it](mailto:s.barone@ing.unipi.it), [a.razionale@ing.unipi.it](mailto:a.razionale@ing.unipi.it)

#### ABSTRACT

This paper presents a research activity concerning the development of a non-contact scanning system based on combining structured light with stereo vision. A methodology is proposed to establish reliable dense correspondences among a pair of cameras on the basis of vertical and horizontal coded fringe patterns. The methodology can efficiently be used to measure free-form shapes, which typically do not present peculiarities usable by classical correlation procedures.

The proposed technique is the core of a complete 3D shape measurement framework, which also includes a multi-scan procedure to reconstruct complex surfaces.

In this work, the system has been successfully used to measure styling surfaces of sport cars. In particular, the methodology has been applied to acquire and model the shapes of a scaled vehicle prototype, typically, used for aerodynamic tests in wind tunnel.

**Key words:** Reverse engineering, stereo-vision, surface modelling.

#### 1. Introduction

The measurement process of three-dimensional shapes has recently assumed a relevant role in various industrial applications [1]. During the last decades, three-dimensional scanning techniques have rapidly evolved towards methodologies that can be subdivided in *contact systems* and *non-contact systems*.

*Contact systems* are based on digitising a physical surface by long and complex point-by-point processes. Optical technologies enable full field shape measurements through *non-contact processes* with considerably time reduction. For example, active techniques are based on scanning a surface by a light source (laser or white light), which interacts with optical sensors. However, a critical problem, which has

discouraged the use of this technology in industrial contexts, is still the high cost of high quality scanning devices.

This paper presents the development of an alternative solution for a low-cost non-contact scanning system. The methodology is based on a light coded approach [2-3]. A standard video projector is used to generate vertical and parallel black and white fringe patterns and is not directly involved in the measurement process. Two digital cameras are used to acquire images of the surface under structured lighting. The stereo video system is calibrated by evaluating the intrinsic and the extrinsic parameters of the digital cameras. A double coded light approach is proposed to solve the correspondences among the digital cameras. This procedure assures high quality results, even using standard video projectors, which are typically manufactured with poor quality optical devices.

In the paper, the methodology is described and experimental analyses are illustrated. Measurements of nominal shapes have been carried out to validate the proposed procedures. Moreover, the system has been used to acquire the shape of a scaled sport car prototype. A preliminary study has been conducted to optimise the multi-scan strategies and the measurement procedures have been integrated to an aerodynamic analysis code.

## 2. Experimental set-up

The optical system (Figure 1) is composed of two monochrome digital cameras (1280×960 pixels) and a standard video projector (1024×768 pixels). The optical devices are fixed on to an adjustable support and connected to a personal computer through a dual-head video board and an IEEE 1394 data acquisition board.

A calibration procedure [4-5] is adopted to calculate the intrinsic (focal distances, coordinates of the principal points, radial and tangential distortions) and extrinsic (positions and orientations with respect to an absolute reference system) of the cameras. In particular, the parameters of each camera are obtained correlating the coordinates of known markers located on a calibrating sample (Figure 2) with the corresponding coordinates on the image plane. The procedure is based on solving the relation  $\mathbf{m}_k = \mathbf{P}_k \mathbf{w}_k$ , where  $\mathbf{k}$  indicates the generic position of the calibration specimen,  $\mathbf{m}_k$  is the image coordinate vector of the known points,  $\mathbf{w}_k$  is the coordinate vector of the marker with reference to an absolute datum system integral to the calibration sample, and  $\mathbf{P}_k$  is the perspective transformation matrix containing the intrinsic and extrinsic parameters of the camera. The procedure consists of acquiring a number of images by the cameras with the calibration sample in different positions. For each position, an iterative process solves the correlation equation and provides, separately, the intrinsic and the extrinsic parameters of each camera.

The measurement process is based on correlating data detected in the camera images and, consequently, the video projector does not need to be calibrated.



Figure 1: The vision system.

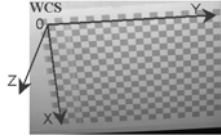


Figure 2: Samples for camera calibration with indication of the absolute system.

### 3. Description of the technique

Shape measurements based on light plane projections, are generally carried out with an adequate number of lines generated by either a unique projection (*simultaneous projection*) or a scanning process (*generation in temporal succession*). The first methodology limits the resolution due to the number of lines which the projection system can define. Moreover, grids with very small pitches are not efficient in presence of abrupt geometric variations. The latter method requires acquisition and processing of as many images as the projected lines. Thus, good resolutions can only be obtained with a high number of images. This problem can be solved by the use of coded light techniques [2-3], which use binary patterns in order to obtain high resolutions with a small number of light patterns.

Traditionally, coded light approaches use a calibrated camera-projector pair to recover 3-D shape information. A single active column in projector space results in a plane of light, which is projected onto the scene of interest and the resulting contour is imaged by the camera. Then, for any image pixel on the contour, a 3-D point is found intersecting the optical ray passing through that pixel and the equation of the plane. Instead of specifying each plane individually, the planes can be specified in parallel using a set of temporally encoded patterns. In particular, light patterns are simply generated by considering the bit-planes of the binary representation of the column indices.

In this work, a double coded light approach is used to correlate information in the camera images. The un-calibrated projector is used to generate a set of vertically and horizontally striped binary light patterns, both of varying widths. This procedure encodes not only the columns of projector space, but also the rows, providing a unique temporal code for the rectangular regions in camera spaces.

#### Line correlation

The line correlation process consists of projecting and capturing a sequence of lines defined as crossing zones between white and black fringes. A high number of

lines are created by a coding method based on projecting  $n$  images of parallel fringes with periods progressively halved (Figure 3). Each pixel in the camera images is characterised by a light intensity that can be either bright or dark depending on its position in the respective plane image. A binary code (0,1 with  $n$  bit) is assigned to each pixel, where  $n$  is the number of fringe patterns, and the values 0 and 1 are associated to the intensity levels, *i.e.*, 0=black and 1=white. This coding procedure allows the generation of  $\ell=2^n-1$  lines and the direct correlation between the lines on the camera image planes.

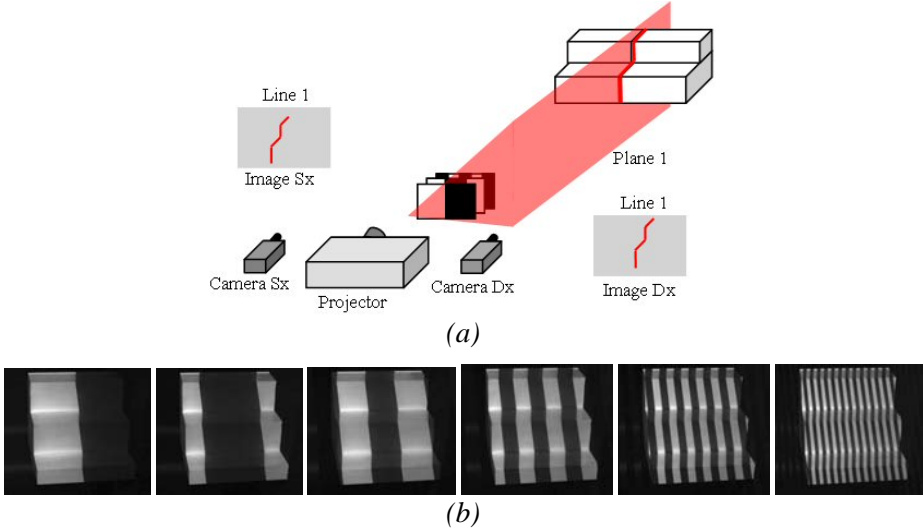


Figure 3: Projection of fringe patterns and vertical line coding on the image planes (a), example of acquired images of vertical pattern (b).

### Point correlation

The methodology proposed in this paper solves the problem of point matching by projecting both horizontally and vertically striped coded patterns. A double code is assigned to the intersection points through the horizontal and vertical stripes. This procedure yields an automatic and unique correlation between conjugate points in the camera images.

The double coded light approach exhibits a natural hierarchical spatial resolution ordering, which dictates the size of the projector space rectangles. The patterns are ordered from coarse to fine, and each associated pair of vertical-horizontal patterns at the same scale subdivides the projector space by two in both directions. Figure 5 shows an example of four patterns that encode a  $4 \times 4$  projector space. Using the coarsest two patterns alone results in only a  $2 \times 2$  projector space. Adding the next pair of patterns increases the projector space to be  $4 \times 4$ , with every rectangle's area reduced by a fourth.

The resolution that can be obtained by the proposed procedure is  $\ell_v \times \ell_h$  points, where  $\ell_v$  and  $\ell_h$  are the number of vertical and horizontal lines switched by the projector, respectively.



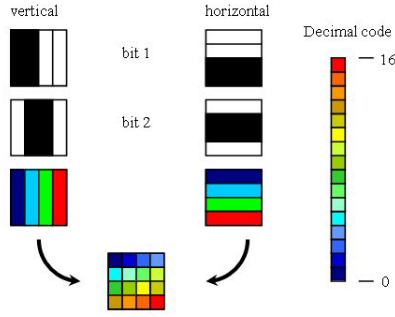


Figure 4: Example of 2-bit double coding of a 4×4 pixels projected image.

### Line extraction

The double code procedure allows intersection points to be directly correlated (one-to-one matching). However, the vertical and horizontal lines on the camera images have to be determined localizing the crossing zones between bright and dark pixels with sub-pixels accuracy.

Typically, crossing zones do not present an abrupt variation of grey levels, rather a quite smooth intensity gradient. The process to determine crossing lines on the camera image can be improved projecting  $n_v \times n_h$  more images (negative images, Figures 5-b) obtained inverting the light intensities of the pixels of the initial images (Figures 5-a). The images obtained as difference of the positive (initial sequence) and negative light intensity distributions (Figure 5-c) provide crossing zones that are well defined and localizable with a higher level of accuracy (Figure 6). In particular, this procedure allows crossing lines and, consequently, the intersection points to be localized with a subpixel accuracy.

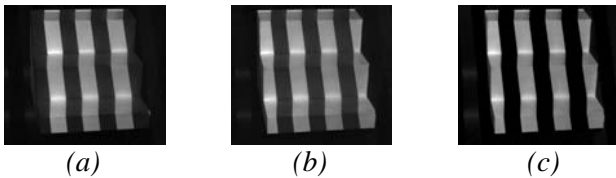


Figure 5: Example of positive (a), negative (b) and difference (c) fringe pattern.

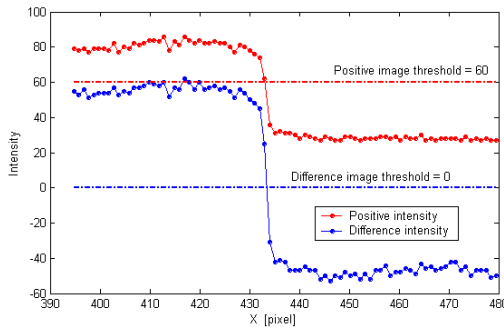
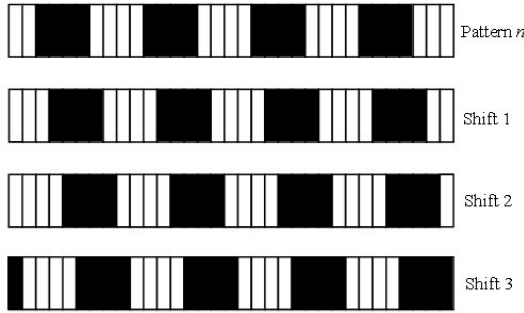


Figure 6: Plot of light intensities measured through transition (black-white) zones in the positive (red) and difference (blue) images.

## Code shifting

The described approach allows high resolutions to be obtained with increasing the number  $n$  of fringe patterns. In this case, finer fringes are included in the coding process, and the maximum resolution depends on the resolution attainable by the projector. However, the use of finer fringes produces a reduction of accuracy in the line extraction process, at a parity of digital camera resolution. To obtain a resolution beyond the number of lines which can be switched by the projector, the finest fringes are shifted in steps of 1 pixel for a total of  $N=2\div 4$  pattern positions. This procedure provides higher resolutions, without losing accuracy.

For example, the code shifting enables a resolution of  $511\times 383=195.713$  points with an 8-bit code ( $n=8$ ) and two shifted patterns (finest fringes of 8-pixel width) and a resolution of  $1023\times 767=784.641$  points with a 9-bit code ( $n=9$ ) and two shifted patterns (finest fringes of 4-pixel width).



*Figure 7: Shifting of a 4-pixels width fringe.*

## Three-dimensional reconstruction

Given a pair of conjugate points  $m_{sx}$ ,  $m_{dx}$ , the corresponding 3D point  $w$  is determined by a triangulation procedure (Figure 8) based on the extrinsic and intrinsic parameters obtained from system calibration [6]. The correlation procedure does not require any operator's intervention. Moreover, this methodology can efficiently be used to measure free-form shapes, which typically do not present peculiarities usable by classical correlation procedures.

A triangulation-based measurement system can only capture those parts of an object that are visible by both the digital cameras. The complete reconstruction of any part makes it therefore necessary to measure the object from different viewpoints. Further processing is necessary to register and integrate the datasets into a common surface description. In this paper, the methodology has been integrated with a multi-scan process based on a photogrammetry procedure [7].

As example, Figures 9 show the experimental results obtained scanning a stepped surface (Figure 9-a). The point cloud (Figure 9-b) has been measured by a single-scan process and triangulated to generate *stl* representations (Figure 9-c).

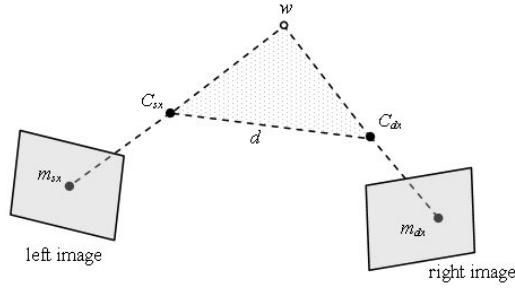


Figure 8: 3D reconstruction scheme.

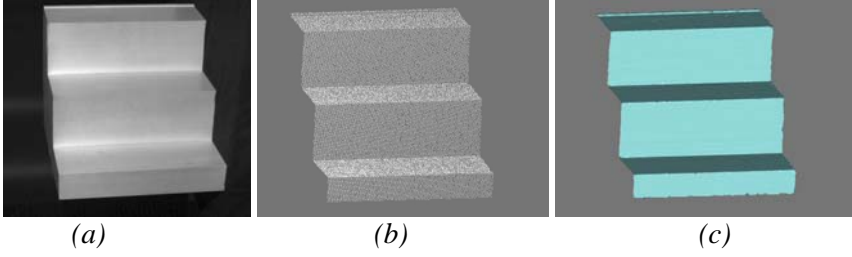


Figure 9: Stepped surface (a), points cloud (b) and stl representation (c) obtained by the proposed technique.

#### 4. Experimental analyses

The objective of the experimental analyses has been the validation of the proposed system operating in different configurations. In this work, a statistic approach, based on Design of Experiments (D.O.E.), has been used to plan and execute the experimental tests.

A rectified planar surface and a cylindrical surface ( $radius=125$  mm) have been scanned by the optical system. The investigation has been conducted selecting the following parameters of influence: working distance ( $D_w$ ), distance between the digital cameras ( $D_c$ ), focal distance of the cameras ( $F$ ) and typology of surface to be measured (*plane* or *cylinder*). The maximum error ( $E_{max}$ ) and the standard deviation ( $E_{sd}$ ) have been estimated comparing the point clouds obtained by single scans with the corresponding surfaces of best fit.

Tables 1, 2 and 3 report the results obtained averaging five measurements for three values of working distance, two values of distance between the cameras and two values of focal distance of the cameras. Better results have been achieved with  $D_w=600$  mm,  $D_c=430$  mm and  $F=12$  mm. This configuration has yielded a maximum error of 0.2 mm and a standard deviation of 0.049 mm for the planar surface, and a maximum error of 0.29 mm and a standard deviation of 0.053 mm for the cylindrical surface. This was predictable because better results were expected with the optical configuration corresponding to the minimum working distance and the maximum camera distance. The experimental data of tables 1, 2 and 3 also give indications about accuracies attainable with different optical configurations.

Table 1: Errors measured with  $D_w=600$  mm.

$D_c$ (mm)	$F$ (mm)	Object	$E_{max}$ (mm)	$E_{sd}$ (mm)
240	6	Plane	0.9945	0.2680
240	6	Cyl	0.7779	0.2263
240	12	Plane	0.3641	0.0773
240	12	Cyl	0.3041	0.0721
430	6	Plane	0.5114	0.1003
430	6	Cyl	0.4999	0.1203
430	12	Plane	0.2013	0.0495
430	12	Cyl	0.2980	0.0533

Table 2: Errors measured with  $D_w=1050$  mm.

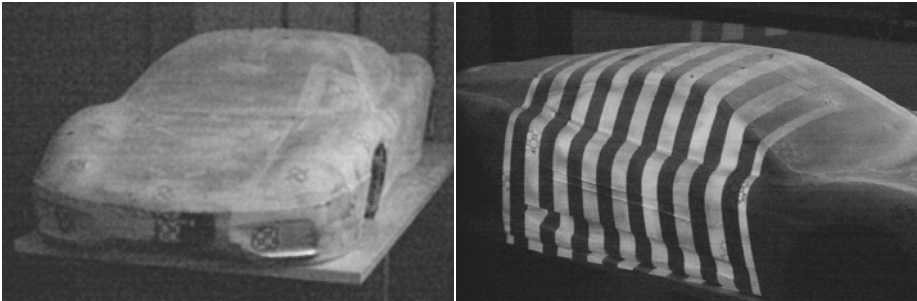
$D_c$ (mm)	$F$ (mm)	Object	$E_{max}$ (mm)	$E_{sd}$ (mm)
240	6	Plane	1.2594	0.2200
240	6	Cyl	0.7661	0.1719
240	12	Plane	0.5658	0.1558
240	12	Cyl	0.4775	0.1181
430	6	Plane	0.7605	0.1526
430	6	Cyl	0.5707	0.1336
430	12	Plane	0.3261	0.0891
430	12	Cyl	0.3439	0.0727

Table 3: Errors measured with  $D_w=1400$  mm.

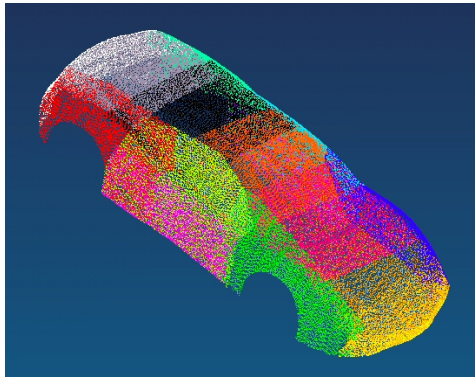
$D_c$ (mm)	$F$ (mm)	Object	$E_{max}$ (mm)	$E_{sd}$ (mm)
240	6	Plane	1.4431	0.3239
240	6	Cyl	1.1586	0.2700
240	12	Plane	0.8078	0.1841
240	12	Cyl	0.5262	0.1361
430	6	Plane	0.7862	0.1674
430	6	Cyl	0.7557	0.1679
430	12	Plane	1.0875	0.1172
430	12	Cyl	0.4101	0.0896

The shape measurement methodology has also been used to capture the surface of a scaled prototype of sport car (Figure 10). The various scans have been aligned by using a photogrammetry procedure. The multi-scan method has been based on evaluating three dimensional coordinates of adhesive markers located on the physical component, directly using the stereo vision system. For each acquisition, the system has provided a point cloud and the three dimensional positions of the markers. The scanning process has proceeded moving the optical system around the vehicle prototype and capturing surface patches with overlapping zones characterized by at least three common markers.

The complete point cloud has been composed of 1.500.00 points (Figure 11) obtained by 15 scans in about 4 hours. The experimental points have been triangulated to generate *stl* representations (Figure 12). The triangular mesh has been directly used as input to aerodynamic analysis tools.



*Figure 10: A scaled (1:2) sport car prototype.*



*Figure 11: Aligned point clouds of the sport car of Figure 10.*



*Figure 12: Details of the stl model of the sport car obtained by the proposed methodology.*

## 5. Conclusions

In this paper, a stereo vision system for reverse engineering applications has been developed. The proposed method is based on using a double coded light approach. This solution enables the matching problem, which is typical of stereo vision approaches, to be solved using a limited number of images with white and black fringes. High resolutions are obtained coupling the coded light approach to a phase shifting procedure.

The experimental analyses have evidenced the high accuracy and the easy of use of the proposed solution. An application concerning the shape measurement of a sport car model has demonstrated that the technique is suitable to resolve even complex industrial problems.

## References

- [1] VÁRADY T., MARTIN R.R., COX J., "Reverse engineering of geometric models – an introduction", *Computer Aided Design*, 29(4), 1997, 255-268.
- [2] POSDAMER J.L., ALTSCHULER M.D, "Surface Measurement by Space Encoded Projected Beam Systems", *Computer Graphics and Image Processing*", 18(1), 1987, 1-17.
- [3] KRATTENTHALER W., MAYER K.J., DUWE H.P., "3D surface measurement with coded light approach", *Fourth International Workshop for Digital Image Processing and Computer Graphics*, 12 , Graz, 1993, 103-114.
- [4] TSAI R.Y., "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses", *IEEE Journal of Robotics and Automation* RA-3(4), 1987, 323-344.
- [5] WENG JUYANG, COHEN P., HERNIOU M., "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(10), 1992.
- [6] HARTLEY R., ZISSERMAN A., "Multiple View Geometry in Computer Vision", *Cambridge University Press*, 2000.
- [7] BARONE S., CURCIO A., RAZIONALE A., "A structured light stereo system for reverse engineering applications", *Proceedings of the IV Italo-Español Seminar on Reverse Engineering Techniques and Applications*, Naples 2003, 65-74.



*INGEGRAF*

# **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**



## **3. APLICACIONES Y DESARROLLOS**



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE VARIABLES REGIONALIZADAS. APLICACIÓN AL ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE UNA PLAGA

MORAL GARCÍA, Francisco Jesús (1); GUTIÉRREZ DE RAVÉ AGÜERA, Eduardo (2);  
HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Extremadura, España  
Escuela de Ingenierías Industriales, Departamento de Expresión Gráfica  
Correo electrónico: [fjmoral@unex.es](mailto:fjmoral@unex.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Córdoba, España  
Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica  
Correo electrónico: [irlgurac@uco.es](mailto:irlgurac@uco.es) y [iglhifer@uco.es](mailto:iglhifer@uco.es)

### RESUMEN

En diversos trabajos relacionados con la ingeniería o con las ciencias medioambientales es necesario el conocimiento de la variable estudiada en todos los puntos del área experimental. Para ello, se parte de la información recogida en los puntos muestrales, los cuales suelen ser habitualmente muy escasos. Mediante los métodos de estimación geoestadística, siempre que se cumplan las asunciones básicas, es posible conocer los patrones de las variables que se encuentran distribuidas en el espacio de forma continua (variables regionalizadas), obteniéndose representaciones gráficas donde se muestran los distintos niveles de incidencia de la variable de interés.

En este trabajo se aplican dichas técnicas al análisis de la distribución espacial de una plaga (*Helicoverpa armigera* Hb.) en una plantación de tomate.

**Palabras clave:** Variable regionalizada, geoestadística, plaga, mapa.

### ABSTRACT

In several works related to engineering or environmental sciences, it is necessary to know the studied variable at the whole of the points of the experimental area. From information obtained at sampled locations, usually a few points, it is possible to get the pattern of the variable which is distributed continuously in the space (regionalized variable) and to map different incidence



levels, using geostatistical methods. In this work, these techniques are applied to analyze the spatial distribution of a pest (*Helicoverpa armigera* Hb.) in a tomato plantation.

**Key words:** Regionalized variable, geostatistics, pest, map.

## 1. Introducción

El manejo de la información es fundamental para la mejora de las prácticas agrícolas. Parece lógico que la información que se posea sobre las diferentes variables que incidan sobre los cultivos o que sean de interés en cualquier explotación agrícola, se organicen en bases de datos espaciales, referenciadas con respecto a un origen de coordenadas previamente determinado. En los sistemas agrícolas, las variables físicas y biológicas muestran generalmente una importante heterogeneidad espacial, con una distribución que en muchos casos se realiza en forma de parches irregulares sobre el área de interés. Pero, por el hecho de existir dichas variaciones, no significa que sea imposible encontrar un patrón de distribución de las variables. Muy al contrario, en la mayoría de los casos, existe una continuidad espacial entre las diferentes localizaciones.

El desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) y la aplicación de la geoestadística, ha supuesto un nuevo impulso a los estudios relativos al análisis de la distribución espacial de cualquier variable que se encuentre distribuida de forma continua en el área de interés (variable regionalizada).

En este trabajo se muestra como, mediante técnicas geoestadísticas fáciles de comprender y utilizar, puede analizarse el patrón de distribución de una plaga en una parcela. Se incidirá en el método apropiado para la realización de una evaluación geoestadística completa, tanto si se lleva a cabo con un SIG que incorpore esta tecnología o con un programa informático auxiliar que permita exportar la información obtenida. Finalmente, se muestra un conjunto de mapas elaborados mediante la aplicación de los métodos de interpolación geoestadística.

## 2. Materiales y métodos

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio, o en el tiempo, de una forma continua. Debido a su aplicación orientada a los SIG, también se podría definir como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca además como estadística espacial.

Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas: 1º) Análisis exploratorio de los datos. En esta fase se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Sería una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose aquellos que sean erróneos, y se identifican las distribuciones de las cuales provienen. 2º) Análisis estructural. Se estudia la continuidad espacial de la variable. En esta etapa se calcula el variograma experimental, o cualquier otra función que nos explique la variabilidad espacial, se ajusta al mismo un variograma teórico y se analiza e interpreta dicho ajuste al modelo

paramétrico seleccionado. 3º) Predicciones. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa, en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas u observadas.

En cualquier trabajo geoestadístico, el principal objetivo del mismo es la caracterización de la variable investigada en todas las localizaciones, partiéndose de la información suministrada por los puntos muestrales. Los métodos de estimación geoestadística son conocidos como krigeado o krigeaje (kriging en la literatura inglesa, en honor de Danie Krige, quien formuló por primera vez esta metodología en 1951). Las principales características que hacen del krigeado un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, etc., se han descrito en diversas obras (por ejemplo, Goovaerts, 1997; Moral, 2003). La idea fundamental del krigeado es consecuencia de los conceptos relacionados con la dependencia espacial: los lugares que disten menos entre sí tendrán unos valores de los atributos más semejantes que los correspondientes a los puntos o bloques que estén más separados. En la naturaleza, esto suele cumplirse y, además, las variables naturales generalmente se distribuyen de una forma continua.

La parcela experimental sobre la cual se realizó el estudio se encuentra situada en el suroeste del término municipal de Badajoz, en las coordenadas 7° 4' 45" de longitud oeste y 38° 46' 25" de latitud norte, dentro de la finca "Benavides". La parcela tiene una forma casi rectangular, con lados de 560 m y 350 m, dando lugar a una superficie de aproximadamente 20 ha, estando plantada completamente con tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.).

Con el fin de establecer los puntos de muestreo en la parcela experimental, se diseñó una retícula regular superpuesta sobre la misma. De esa forma, sobre el terreno se determinaron una serie de puntos equidistantes. Se realizaron divisiones cada 43 m, según el lado menor de la parcela, y cada 40 m en el lado mayor. Como resultado, se generaron 8 filas de puntos de muestreo con 14 puntos en cada una de ellas. Por lo tanto, se determinaron 112 puntos distribuidos regularmente sobre el terreno. En cada uno de los puntos muestrales se instaló una trampa para la captura de los insectos de la plaga analizada (*Helicoverpa armigera* Hb.), referenciándose todas ellas sobre un origen de coordenadas previamente establecido en uno de los vértices de la parcela. Las trampas se dispusieron a un metro del suelo, para que la base inferior de las mismas quedara justo sobre las plantas de tomate. Aunque hubiese sido deseable la instalación de trampas más próximas entre sí, sin embargo no fue posible porque ello hubiera producido una serie de interacciones, debido a que las trampas contenían en su interior una feromona sexual de larga duración atrayente de los machos.

Se efectuaron conteos diarios de los insectos capturados en cada trampa durante una serie de días previos a la recolección del tomate y con posterioridad a la misma. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos con los datos correspondientes a las capturas para los días comprendidos entre el 10 y el 22 de julio de 2002, antes de la recolección del fruto. Para llevar a cabo los análisis geoestadísticos se dispuso del programa SURFER. La elección del mismo se debe, primeramente, a que con él se pueden efectuar todas las fases de un estudio geoestadístico (análisis exploratorio de los datos, análisis estructural y estimaciones). Además, las representaciones gráficas

que se obtienen son de una gran calidad, permitiendo una elevada versatilidad en cuanto a las formas de mostrar la información y su posible exportación para un uso en otras aplicaciones.

La base de datos disponible consta de las coordenadas de las trampas y del número de insectos capturados en las 112, para cada uno de los días de muestreo. Dispuesta esta información en un fichero ASCII, en forma tabulada, se procedió a la realización del estudio geoestadístico.

La aplicación de los métodos de estimación geoestadística es adecuada para variables continuas. Cuando se tratan de variables discretas, como son los conteos de insectos en cada trampa, para solucionar ese inconveniente lo que se propone es asignar cada dato muestral al área que representa, dando lugar a una variable continua como es la densidad de insectos. En este trabajo, como se realizó un muestreo uniforme sobre toda la parcela experimental, la superficie asociada a cada muestra es la misma, equivalente a las dimensiones de las celdas de la retícula superpuesta sobre la parcela.

Para la descripción de la estructura de correlación espacial de los datos se utilizó el variograma. En la construcción del variograma experimental se consideró una distancia máxima de 330 m, debido a que esa magnitud es aproximadamente la mitad de la diagonal de la parcela, por lo que, si nos situásemos en el centro de la misma, abarcaríamos todos los puntos. Otro parámetro que se tiene que fijar es el incremento de distancia a considerar en el variograma. Se eligió el valor de 47,15 m para que cada dato muestral se emparejase con los cuatro más próximos, en las direcciones norte, sur, este y oeste, teniendo en cuenta además que en el variograma experimental se definirán siete puntos, ya que el producto del incremento de la distancia (47,15) por el número de puntos del variograma (7) debe ser aproximadamente la distancia máxima considerada en el variograma experimental (330). Conviene indicar que con el programa SURFER, para el cálculo del variograma no se considera una tolerancia dimensional de forma explícita. Así, en este caso, el primer punto del variograma se obtiene mediante el emparejamiento de cada dato muestral con aquellos que disten menos de 47,15 m; el segundo punto se obtiene emparejando los datos muestrales con aquellos que disten entre 47,15 y 94,30 m, y así hasta completar la distancia máxima de 330 m.

Hubiera sido deseable el cálculo de más puntos en el variograma, a consta del emparejamiento de cada dato muestral con menos datos vecinos. Sin embargo, en ese caso se perdería la información aportada por los puntos desechados. Así, si por ejemplo se tuvieran 8 puntos en el variograma, el incremento de distancia sería de 41,25 m, ya que la distancia máxima es de 330m. Con ese valor de 41,25 m, cada dato muestral se emparejaría sólo con el situado al norte y al sur del mismo.

### **3. Resultados y discusión**

Durante la primera etapa del estudio geoestadístico, el análisis exploratorio de los datos, se construyeron una serie de histogramas, uno por día. En todos los casos se detectaron unas distribuciones muy sesgadas, que en ningún caso sugería una

aproximación a la distribución normal. Por ello, se realizó una transformación logarítmica a los datos, dando lugar a unas distribuciones que mostraban una mayor normalidad, confirmado mediante el cálculo de los estadísticos asociados a cada distribución (Arranz, 2002). Como en algunas trampas las capturas eran nulas, para evitar el logaritmo de cero se propuso la transformación de la variable *densidad de insectos + 1*. En esta etapa, entre los muchos tipos de gráficos que se pueden construir (Moral, 2003), es especialmente útil el denominado mapa de posicionamiento de las observaciones (figura 1). Mediante este mapa se indica como se distribuyen los puntos de muestreo en la parcela experimental. Suele emplearse para la detección de errores en la localización de los datos y para analizar la posible presencia de valores anormales.

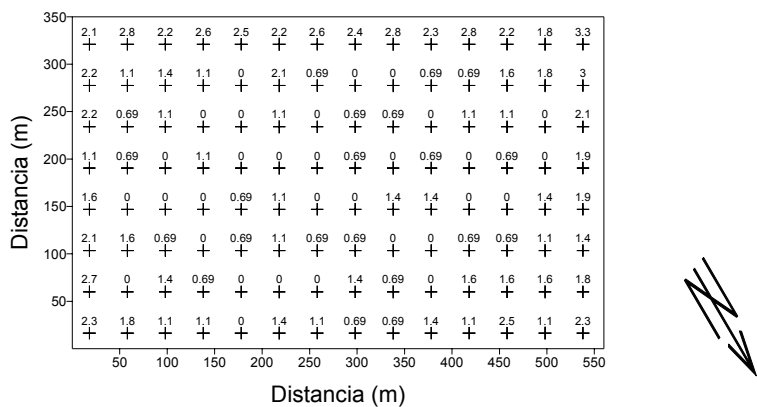


Figura 1: Mapa de posicionamiento de las observaciones en la parcela experimental. Se incluye el valor de la variable (logaritmo de la "densidad de insectos +1", para el día 20 de julio de 2002) en cada punto muestral. Con la flecha exterior a la parcela se indica la dirección del norte geográfico.

En la fase del análisis estructural de los datos, se eligió la función variograma para la caracterización de la continuidad espacial. Se construyeron variogramas omnidireccionales para cada uno de los días y, con posterioridad, se les ajustaron unos modelos teóricos. Conviene indicar que en ningún caso se consideró la existencia de anisotropía. Con el número de datos disponibles, el cálculo de los variogramas direccionales se hubiese sustentado sobre muy pocos puntos muestrales, dando lugar a unos resultados que hubieran sido muy deficientes. Dado que la parcela experimental no lindaba con otras donde hubiera plantaciones de tomate, no es probable la existencia de migraciones de insectos entre parcelas adyacentes, aunque es conocida la capacidad de la *Helicoverpa armigera* Hb. de desplazarse incluso cientos de kilómetros, según las direcciones de los vientos dominantes.

Se ajustaron unos variogramas teóricos esféricos o exponenciales, con un efecto pepita, a los variogramas experimentales. En la tabla 1 se tienen los valores de los parámetros de los mismos y, en la figura 2, se muestran los variogramas correspondientes a algunos de los días del estudio. Es necesario que el variograma que se elija refleje el patrón de continuidad espacial de la variable analizada. Una variable como la densidad de insectos en una parcela probablemente se distribuya muy

erráticamente en distancias reducidas, con lo que los modelos teóricos más apropiados para los variogramas deben ser el esférico o el exponencial (Isaaks y Srivastava, 1989). La experiencia ha demostrado que lo fundamental no es la forma analítica del modelo, sino la determinación de los rasgos más notables de la variable estudiada (Goovaerts, 1997). Mediante el uso de un buen programa gráfico que permita la interactividad, como el utilizado en este trabajo, se obtendrán los mejores resultados. Por orden de importancia, se debe considerar el efecto pepita, el rango, la meseta y la anisotropía.

El efecto pepita se estima extrapolando el variograma hasta que corte al eje vertical. El comportamiento del modelo en el origen es muy importante, debido a su influencia en el proceso posterior de estimación. En los variogramas que se obtuvieron en este trabajo, el efecto pepita es bastante considerable en relación con la meseta. Podría haberse disminuido mediante la consideración de datos muestrales más próximos, lo cual no era factible por el problema de interacción entre las trampas. Además, en una variable tan errática a pequeñas distancias como es el número de insectos, es lógico un efecto pepita notable, debido a la variabilidad que existe a una distancia menor que la abarcada por cada retícula asignada a cada dato muestral.

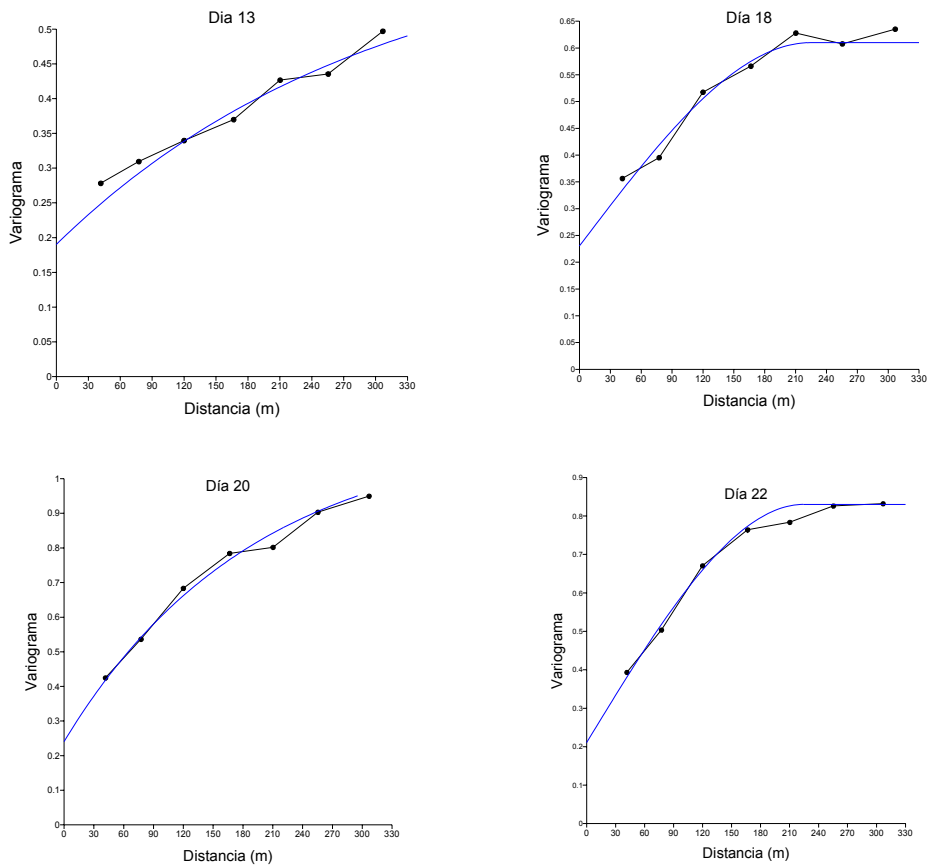
Tabla 1: Variogramas teóricos ajustados a los diferentes variogramas experimentales. (E = Exponencial, S = Esférico)

<b>Día</b>	13	18	20	22
<b>Modelo</b>	E	S	E	S
<b>Rango</b>	300	225	190	225
<b>Meseta</b>	0,45	0,38	0,90	0,62
<b>Pepita</b>	0,19	0,23	0,24	0,21

Para caracterizar la distancia hasta la cual existe dependencia espacial en la densidad de insectos, hay que hallar el rango o alcance. En los casos estudiados, varía entre 190 y 330 m, o sea, la distancia máxima, abarcando la totalidad de la parcela. En general, la dependencia espacial era más acusada en los primeros días, cuando las densidades de insectos eran menores, aunque en todos los casos se extiende a grandes distancias. La anisotropía es el rasgo menos importante a la hora de caracterizar un modelo. Sólo es obligada su inclusión en los casos donde sea muy intensa según una dirección determinada, ya que influirá muy notablemente en los patrones de distribución que se obtengan. Por los inconvenientes antes mencionados, en este trabajo se consideró la existencia de isotropía.

Para la estimación en los puntos no muestrales y, en definitiva, la elaboración de mapas donde se muestre la densidad de insectos en todos los puntos de la parcela, se empleó el krigeado ordinario en bloques, considerando las estructuras de correlación espacial descritas con los variogramas. Los bloques se definieron como cuadrados de 5 m de lado.

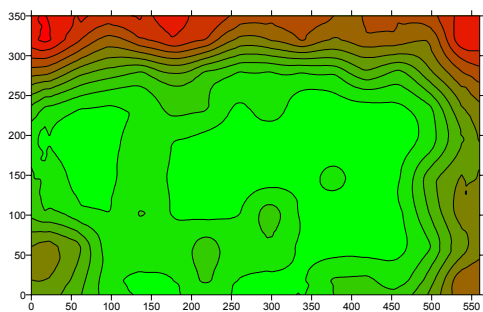
Con ese método de estimación, se obtuvieron los mapas de distribución de las densidades de insectos en la parcela experimental para todos los días considerados en el estudio. En la figura 3 se muestran, a modo de ejemplo, algunos de ellos. Si se comparan las representaciones gráficas diarias, se puede analizar la evolución temporal de la población de insectos en la parcela. Con los mapas obtenidos se pudo comprobar como, en todos los casos, la distribución de los insectos mostraba un patrón común, con máximas densidades en las lindes de la parcela, disminuyendo, de forma concéntrica, a medida que se avanza hacia el centro de la misma. Esto significa que los insectos se instalan en las primeras plantas que encuentran, colonizando las más próximas a las lindes y, cuando van llegando otras poblaciones, aumentando las densidades en los bordes de la parcela, se producen avances hacia el interior de la misma.



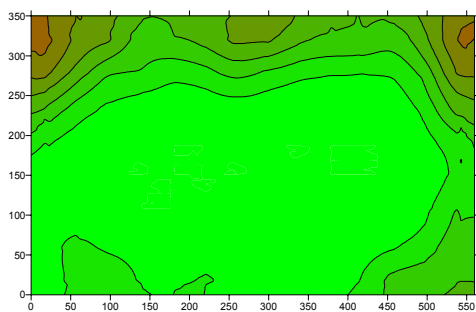
*Figura 2: Variogramas experimentales (puntos y línea negra) y teóricos (línea azul) para los días indicados.*

Con unas condiciones meteorológicas favorables para los insectos, en varios días podrían llegar a colonizar totalmente la parcela. Sin embargo, estas poblaciones son muy sensibles a los cambios de humedad y temperatura, por lo cual, cuando las condiciones son cambiantes, suele producirse una disminución de las densidades por mortalidad. Las nuevas poblaciones que lleguen a la parcela se instalarán en las

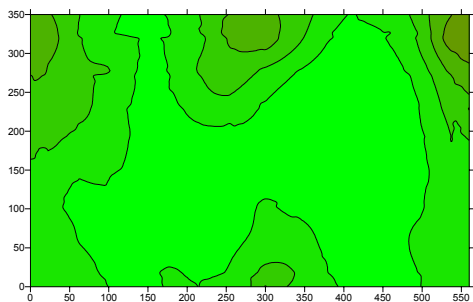
plantas desocupadas de las lindes. Este proceso se repite constantemente durante la época de actividad migratoria del insecto. Obsérvese, en la figura 3, como en el día 10 aparece en una de las lindes una alta densidad de insectos. Esa linde es el lugar donde incide el viento dominante en ese día (Arranz, 2002). En el día 12 de julio se registró una caída de la temperatura, por lo que las densidades de insectos eran mucho menores en el día 13. Sin embargo, entre los días 17 y 22 las temperaturas se mantuvieron constantes, dando lugar a una progresiva colonización de la parcela.



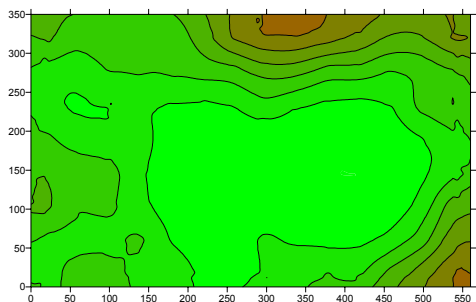
**Día 10**



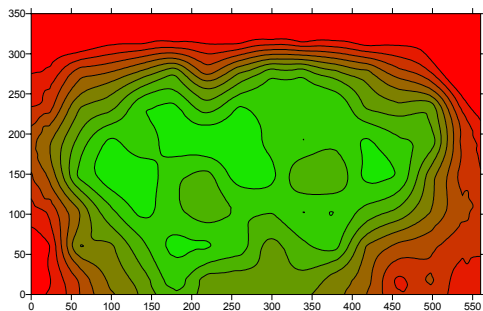
**Día 13**



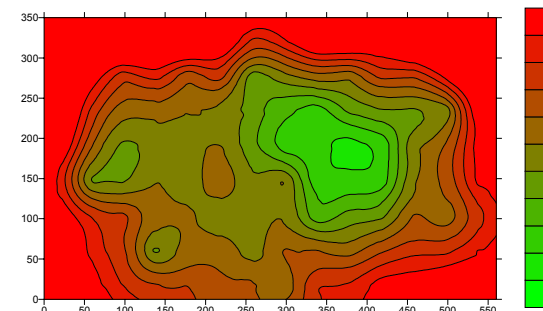
**Día 15**



**Día 17**



**Día 20**

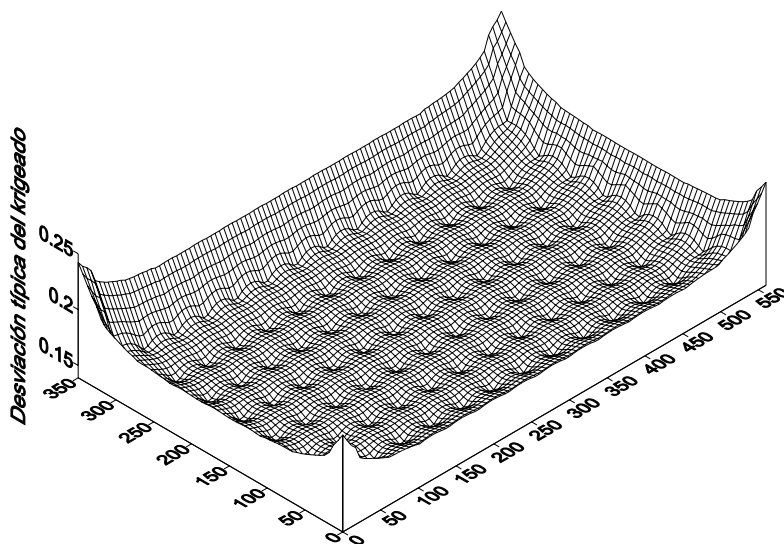


**Día 22**



*Figura 3. Mapas de distribución de Helicoverpa armigera Hb., para los días indicados, en la parcela experimental. La escala usada corresponde al logaritmo natural de la "densidad de insectos + 1".*

Para visualizar la bondad de las estimaciones en los diferentes lugares de la parcela experimental se puede representar la varianza o la desviación típica del error en este caso del krigado ordinario en bloques, para la variable de interés. En la figura 4 se muestra, como ejemplo, la representación de la desviación típica del krigado ordinario en bloques para el día 15 de julio. En el resto de los días, las distribuciones de las desviaciones típicas son equivalentes, variando sólo en las magnitudes de las mismas. Debido a que se tomaron muestras dispuestas regularmente en la parcela, en la mayor parte del área de estudio la desviación típica del krigado es muy reducida, aumentando notablemente en las cercanías de las lindes. Esto denota como las estimaciones son menos precisas en los límites de la parcela, ya que en esos lugares las interpolaciones en los puntos no muestrales se realizan con menos información, apoyadas sólo con datos muestrales en unas determinadas direcciones, mientras que las llevadas a cabo en las localizaciones más interiores, cada interpolación se realiza contando con la información aportada por puntos muestrales que rodean al lugar seleccionado.



*Figura 4: Distribución de la desviación típica del error, en la parcela experimental, para el día 15 de julio.*

Los mapas de distribución de las densidades de insectos son muy importantes para una correcta planificación en la lucha contra la plaga. Un tratamiento adecuado debe considerar que las densidades de insectos son mayores en las lindes, por lo que en esas zonas se debe actuar más intensamente. Además, con la realización de tratamientos preferenciales en los bordes de la parcela, se impide notablemente que los insectos se instalen y avancen al interior de la misma. Desde el punto de vista medioambiental, la realización de tratamientos localizados o preferenciales implica una menor aplicación de sustancias potencialmente contaminantes sobre la parcela considerada, reduciendo el riesgo de polución de las aguas superficiales o de las subterráneas. También supone un ahorro para el agricultor, al consumirse una cantidad menor de productos y una necesidad menor en el uso de las máquinas agrícolas para la realización de los tratamientos.



## 4. Conclusiones

Mediante el uso de la geoestadística se ha estudiado la distribución espacial de *Helicoverpa armigera* Hb. en una parcela de tomate, con el empleo de la función variograma, obteniéndose adicionalmente unas representaciones gráficas diarias de dichas distribuciones. Estos mapas se basan en la técnica de estimación geoestadística conocida como krigeado, particularmente el krigeado ordinario en bloques.

Con el ajuste de unos variogramas teóricos exponenciales o esféricos a los variogramas experimentales, en todos los días considerados, se ha puesto de manifiesto las oscilaciones locales que presenta la distribución de la densidad de insectos, confirmado además con el importante efecto pepita detectado. Los rangos de los variogramas oscilan entre 190 y 330 m, por lo que la dependencia espacial entre los datos abarca, en muchos de los casos, o bien toda o bien la mayor parte de la parcela.

Los mapas contienen las mejores estimaciones en los puntos no muestrales, ya que se basan en unos datos que, después de una transformación logarítmica, se ajustaban a una distribución normal, suponiendo además que los variogramas elegidos describen lo más realmente posible la variabilidad espacial, si bien las precisiones de las estimaciones son mejores en el interior de la parcela que en las proximidades de las lindes, donde la desviación típica del error es más alta. Los mapas de distribución de la densidad de insectos constituyen una herramienta imprescindible para la planificación de la lucha contra la plaga, indicando la necesidad de un tratamiento más intenso en las áreas próximas a las lindes. El desarrollo de una agricultura más eficiente, con mayores beneficios para el agricultor y el medio ambiente, implica en última instancia la necesidad de conocer y aplicar correctamente las técnicas geoestadísticas para representar gráficamente la variable regionalizada objeto del estudio.

## Referencias

ARRANZ ROMERO, A.M. *Estudio Geoestadístico de la Distribución Espacial de la Helico-verpa armigera* Hb. en el cultivo del tomate en las vegas bajas del Guadiana. Trabajo fin de carrera., Escuela de Ingenierías Agrarias, Universidad de Extremadura, Badajoz. 2002.

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York. 1997.

ISAAKS, E.H., y SRIVASTAVA, R.M. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford Univ. Press, New York. 1989.

MORAL GARCÍA, F.J. *La Representación Gráfica de las Variables Regionalizadas. Geoestadística lineal*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Badajoz. 2003.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA Y GEOMÉTRICA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA. ESTUDIO DEL DESLIZAMIENTO DE LA CARRETERA DEL MOLINAR (ALCOY, ALICANTE)

R. Tomás<sup>1)</sup>, L. Bañón<sup>2)</sup>, A. Cuenca<sup>3)</sup>, J. Delgado<sup>4)</sup>, C. Doménech<sup>5)</sup>

(1) Universidad de Alicante. España. Dep. Expresión Gráfica y Cartografía. roberto.tomas@ua.es

(2) Grupo Ortiz. Construcciones y Servicios, S.A. España. lbanon@gruportiz.com

(3) Consejería de Obras Públicas Urbanismo y Transporte. artemio.cuenca@coput.m400.gva.es

(4) Universidad de Alicante, España. Dep. Ciencias de la Tierra. jose.delgado@ua.es

(5) Instituto Técnico de la Construcción S.A. Área de Geotecnia. geotecnia.alicante@itcsa.es

### RESUMEN

Los movimientos de ladera son fenómenos gravitacionales capaces de producir importantes daños en las infraestructuras humanas anualmente. El reconocimiento de los movimientos de ladera se lleva a cabo a través de diversos indicadores geomorfológicos del terreno. Una vez identificados, el estudio de estos procesos exige una descripción de detalle que incluya, además de otros datos, sus dimensiones geométricas. La terminología empleada facilita la comunicación entre profesionales. Alcoy, situado en la provincia de Alicante, sufre un gran número de estos fenómenos debido sobre todo a dos causas, el crecimiento de la ciudad en torno a los escarpados márgenes de los ríos y la litología predominante en la zona. En el presente trabajo se presentan los principales rasgos geomorfológicos y características geométricas de los movimientos de ladera, aplicándolos a un movimiento de gran envergadura que afecta a la ciudad de Alcoy, conocido como deslizamiento de la Carretera del Molinar.

**Palabras clave:** Rasgos geomorfológicos, dimensiones geométricas, movimiento de ladera

### ABSTRACT

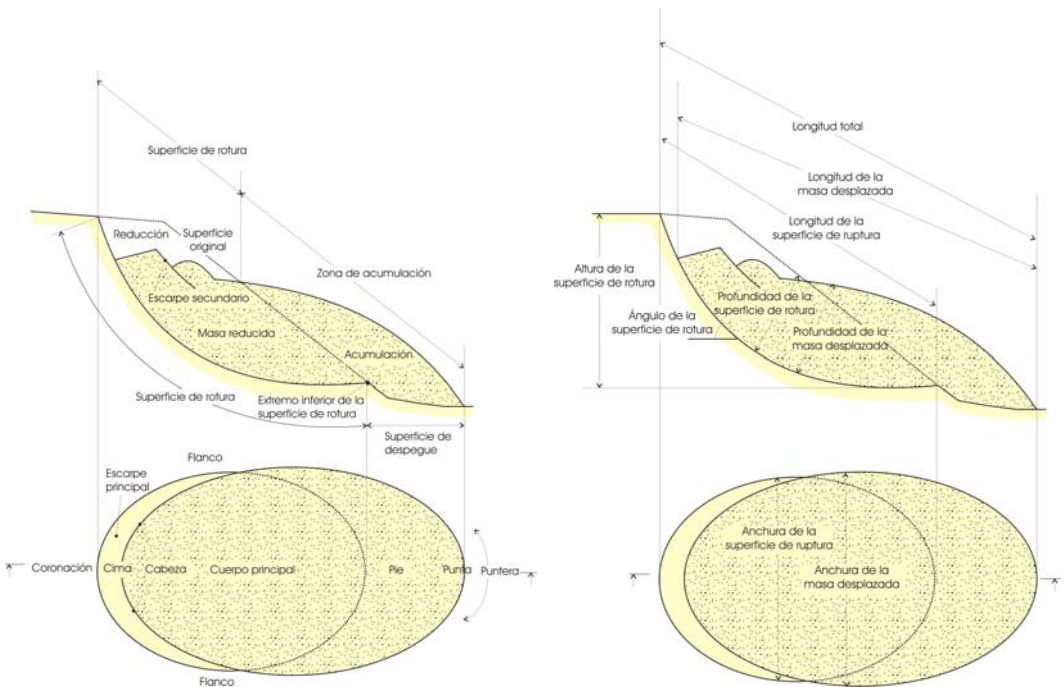
Landslides are gravitational processes that annually cause important human infrastructures damages. Recognition of landslides is made identifying various geomorphological features on terrain surface. Once identified, the study of these processes demands a detailed description that includes, besides other data, its geometric dimensions. The used terminology facilitates the communication between professionals. Alcoy, located in Alicante Province, suffer a great number of this phenomena due to two causes, the growth of the city around the step river sides and the predominant lithology in the area. In this work we present the principal features and geometric characteristics of the landslides, applying them to a great landslide that affects the city of Alcoy, called Carretera del Molinar Landslide.

**Keywords:** Geomorphological features, geometrical dimensions, landslide

# 1. Introducción

Los movimientos de ladera (landslides) constituyen procesos gravitacionales que movilizan pendiente abajo grandes masas de suelo y/o roca afectando a las infraestructuras humanas asentadas sobre ellas o sus proximidades, causando cuantiosas pérdidas materiales anualmente.

El reconocimiento espacial de estos fenómenos constituye el primer paso en el estudio de los riesgos asociados. La identificación suele llevarse a cabo fundamentalmente a través de la interpretación de rasgos geomorfológicos del relieve (Delgado y Tomás, 2003.a) haciendo uso de fotografías aéreas, imágenes satélite y observaciones de campo. Una vez identificado un movimiento de ladera es necesario establecer su localización geográfica estableciendo sus coordenadas WGS y la altitud, generalmente de la coronación (WASSS, 1997).



*Fig. 1.- Partes y geometría de un movimiento de ladera (WP/WLI, 1993; Dikau et al. 1996; Corominas y García-Yagüe, 1997)*

El presente trabajo se centra en los movimientos de ladera denominados deslizamientos (slides), cuyos principales criterios geomorfológicos de reconocimiento son (modificado de Corominas, 1989 y Vallejo et al. 2002):

- Anomalías en la pendiente de la ladera.
- Desvío de cauces.
- Formas lobuladas por acumulación de material.
- Perfiles longitudinales cóncavo-convexos.

Los deslizamientos pueden clasificarse atendiendo a la geometría de la superficie o superficies de rotura que puede ser (WSSS, 1997): Plana (P), escalonada (E), en cuña (W), circular (C), no circular (NC), circular múltiple (MC) u ondulada (O).

Cuando los deslizamientos se producen sobre tierra o suelos y no sobre rocas ni derrubios, podemos distinguir dos tipos de deslizamientos (Cruden y Varnes, 1996): deslizamiento de tierras rotacional (rotational earth slide), con una superficie de rotura curvilínea, y translacional (translational earth slide) con una superficie de rotura plana.

La diferenciación entre unos y otros desde una perspectiva estrictamente geomorfológica puede llegar a ser difícil, aunque la observación de las formas del relieve puede desvelar el tipo de rotura. Soeters y Van Westen (1996) han establecido una relación entre la profundidad ( $D_d$ ) y la longitud ( $L_d$ ) de la masa desplazada inferior a 0.1 para deslizamientos de tierra traslacionales y entre 0.1 y 0.3 para rotacionales.

Una vez identificado el movimiento de ladera ha de estudiarse la geometría de éste. Sus dimensiones pueden ser muy variadas tanto en planta como en sección longitudinal existiendo una terminología establecida para su estudio (Fig. 1). Las principales dimensiones utilizadas en la caracterización geométrica de deslizamientos son las siguientes (modificado de Dikau et al., 1996; Fig. 1):

- *Longitud total ( $L$ )*: distancia mínima comprendida entre la punta y la coronación del deslizamiento.
- *Longitud de la masa desplazada ( $L_d$ )*: Distancia mínima comprendida entre la punta y la cima del deslizamiento.
- *Longitud de la superficie de ruptura ( $L_r$ )*: Es la mínima distancia comprendida entre el extremo inferior de la superficie de ruptura y la coronación.
- *Profundidad de la superficie de ruptura ( $D_r$ )*: Es la máxima profundidad de la superficie de ruptura existente por debajo del talud original medida en la dirección perpendicular al plano constituido por  $W_r$  y  $L_r$ .
- *Profundidad de la masa desplazada ( $D_d$ )*: Es la máxima profundidad de la masa deslizada medida en la dirección perpendicular al plano constituido por  $W_d$  y  $L_d$ .
- *Anchura de la superficie de ruptura ( $W_r$ )*: Es la distancia máxima comprendida entre los dos flancos y medida perpendicularmente a la dirección de  $L_r$ .
- *Anchura de la masa desplazada ( $W_d$ )*: Es el ancho máximo de la masa desplazada medido perpendicularmente a la dirección  $L_d$ .
- *Ángulo de la superficie de rotura ( $\alpha_r$ )*: Ángulo formado por la superficie de ruptura con la horizontal.
- *Altura de la superficie de rotura ( $H_r$ )*: Distancia vertical entre la coronación y el pie de la superficie de ruptura.

## **2. Metodología de estudio del deslizamiento de la carretera Molinar**

La información considerada en el análisis de la evolución temporal del deslizamiento con el fin de establecer su geometría ha consistido básicamente en el uso de pares de fotografías aéreas, lecturas de inclinómetros, datos topográficos de las cabezas de los inclinómetros, datos de campo así como algunos antecedentes históricos.

Los pares de fotografías aéreas analizados pertenecen a vuelos realizados durante los años 1956-1957, 1986 y 1997, siendo las escalas de las mismas 1:33.000, 1:18.000 y 1:5.000 respectivamente. Éstas han servido fundamentalmente para definir la planta del deslizamiento, así como la distribución espacial de los escarpes y demás elementos.

Los inclinómetros constituyen un sistema de auscultación muy utilizado para el control de deslizamientos de ladera. Éstos miden fundamentalmente la desviación respecto a la vertical de las paredes de un sondeo proporcionando así una medida de la deformación horizontal del terreno en profundidad en dos direcciones x-y. En el deslizamiento de la carretera del Molinar se llevó a cabo una campaña de auscultación entre los años 1982 y 1984 consistente en tres sondeos inclinométricos de unos 40 m de profundidad, de la cual se obtuvieron las lecturas que se muestran en la Figura 2. Otras fuentes de información empleadas en el estudio del deslizamiento del Molinar fueron las observaciones de campo que facilitaban datos sobre el estado actual del movimiento de ladera (Delgado y Tomás, 2003.b). Esta información, totalmente descriptiva, consistió básicamente en la identificación de daños en el firme de la calzada de la carretera de acceso al barranco así como en edificaciones colindantes. El último tipo de datos empleados en el estudio fueron diversas citas históricas recogidas en trabajos y memorias de los últimos 100 años.

## **3. Evolución del deslizamiento de la Carretera del Molinar**

La principal información sobre la evolución planimétrica del deslizamiento se obtuvo a partir del análisis de las fotografías aéreas (Fig. 3) que permitieron identificar los límites del movimiento. La principal dificultad fue reconocer el límite neto del pie del movimiento de ladera dado que la acción erosiva del río Molinar lo modificaba sustancialmente en el tiempo, haciendo compleja su identificación. El estudio morfológico y geométrico que se hace en este trabajo corresponde al estado actual del deslizamiento, el cual sigue mostrando signos de actividad a través de fracturas en el firme de la carretera y grietas en las edificaciones situadas en el flanco izquierdo del movimiento aunque las velocidades son claramente inferiores a las estimadas en los años 80.

La masa desplazada y los escarpes del movimiento de ladera se encuentran altamente antropizado en comparación con el aspecto que presentaba en el año 1957 debido a las actuaciones que se han llevado a cabo sobre él para su estabilización así como las numerosas construcciones que se han realizado en sus proximidades. La velocidad del movimiento se estimó a partir de los datos inclinométricos mostrando una velocidad constante comprendida entre 0.6 y 1.2 mm/mes (IGME, 1985).

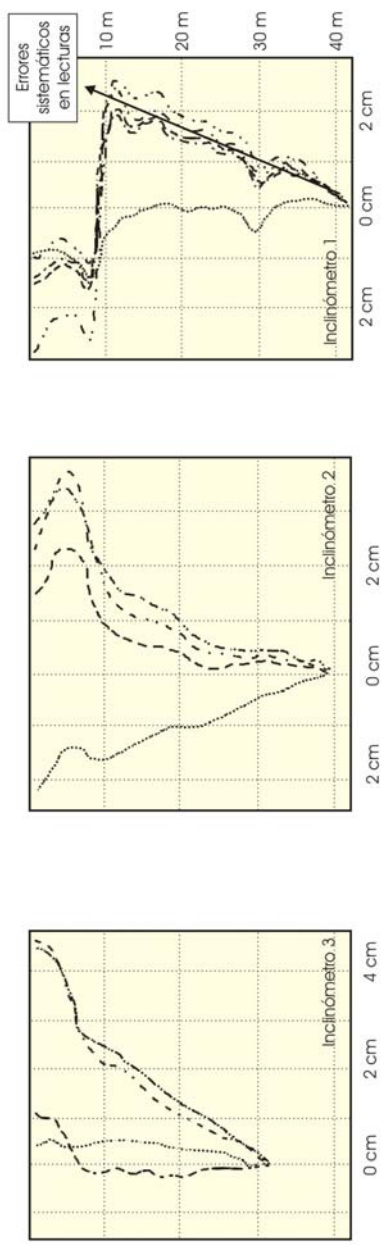
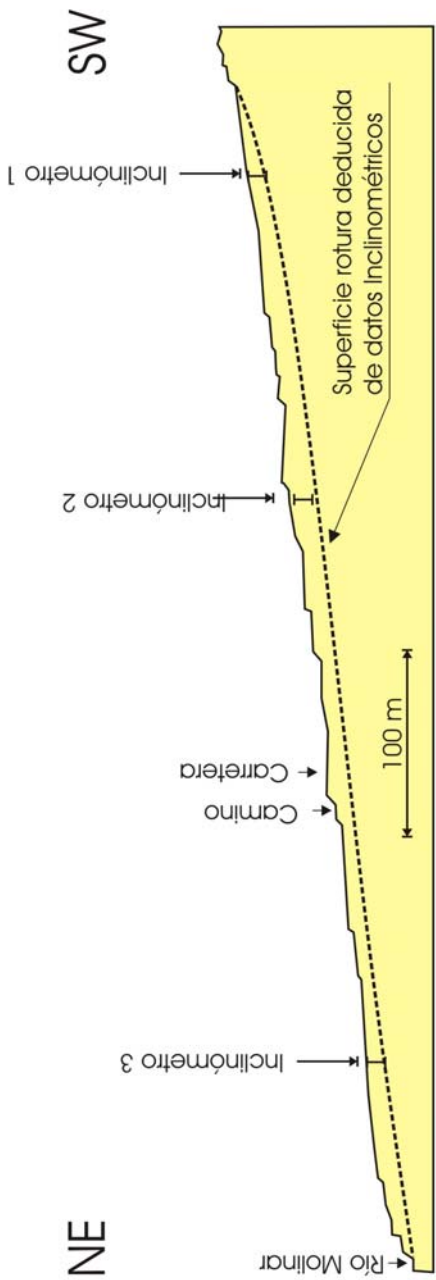
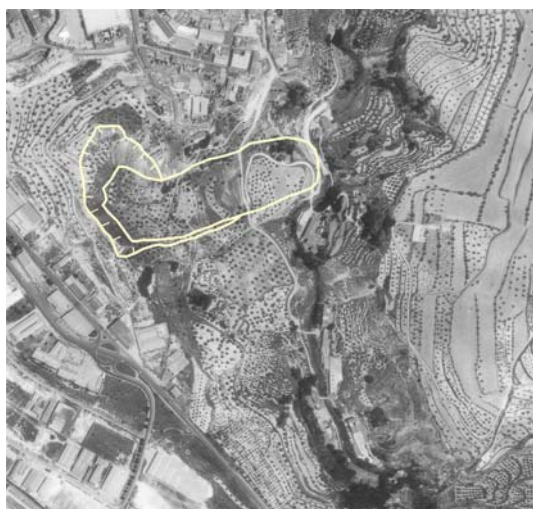


Fig. 2.- Lecturas de los inclinómetros instalados en el deslizamiento del Molinar (IGME, 1985)



(a)



(b)



(c)

*Fig. 3.- Evolución del deslizamiento de la Carretera del Molinar. Fotografías aéreas pertenecientes a los años: (a) 1956-1957, (b) 1986 y (c) 1997.*



Por otro lado se han reconocido diversos parámetros morfológicos a partir del análisis de las fotografías aéreas y de los datos topográficos disponibles del terreno (Fig. 4). El primero de ellos es el cambio de curvatura que se produce en la topografía del deslizamiento, pasando de ser cóncava en la parte de la cabecera a convexa hacia el pie (Figs. 4 y 5). La curva pronunciada que hace el río al pasar por el pie del deslizamiento indica que la acumulación masiva de material al pie de la ladera ha ocupado el río viéndose este obligado a buscar un nuevo cauce (Fig. 4). Otro rasgo característico de la cartografía de los deslizamientos es el cambio brusco que se produce en las curvas de nivel al pasar por los flancos del movimiento debido al incremento de pendiente que en ellos se produce (Fig. 4).

Tabla 1: Parámetros geométricos del deslizamiento de la carretera del Molinar

Parámetro	Valor
Altitud s.n.m. (m)	662 m
Coordenadas UTM (Huso 30)	x   719.905
	y   4.285.289
Superficie de rotura	Plana
Longitud total, $L_t$ (m)	450 m
Longitud de la masa desplazada, $L_d$ (m)	427 m
Longitud de la superficie de ruptura, $L_r$ (m)	450 m
Profundidad de la superficie de ruptura, $D_r$ (m)	12 m
Profundidad de la masa desplazada, $D_d$ (m)	12 m
Anchura de la superficie de ruptura, $W_r$ (m)	201 m
Anchura de la masa desplazada, $W_d$ (m)	125 m
Pendiente mínima-máxima//media de la ladera (°)	2-30°//11°
Ángulo de la superficie de rotura, $\alpha_r$ (°)	12°
Altura de la superficie de rotura, $H_r$ (m)	90 m
Relación $D_d/L_d$	0.028 < 0.1

Un último paso en el estudio gráfico-técnico de los deslizamientos suele ser la elaboración de un modelo 3D o bloque diagrama que permita observar de forma inmediata la morfología del movimiento de ladera. En el caso del movimiento de ladera del Camino del Molinar ha sido realizada a partir de un modelo digital del terreno (MDT) a escala 1:25.000 de la zona de estudio sobre el que se ha superpuesto la planimetría deducida de la fotografía aérea del año 1991.

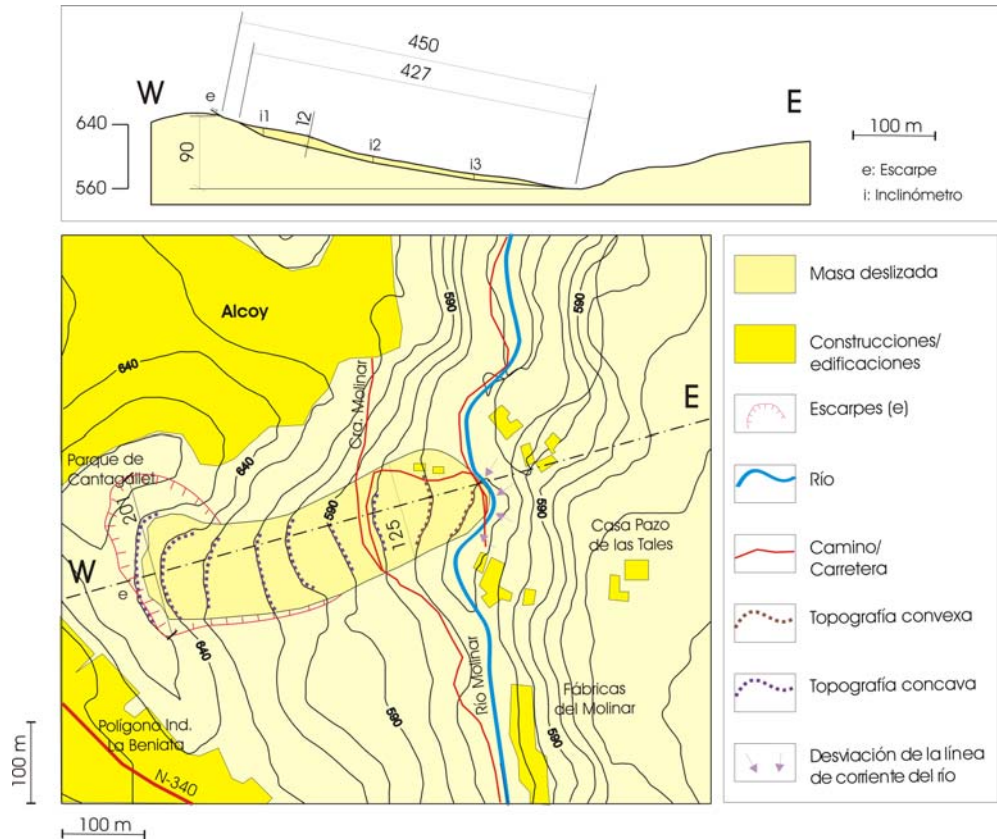
#### 4. Parámetros geométricos y geomorfológicos del deslizamiento de la Carretera del Molinar

Como ya se ha descrito en el primer apartado del presente trabajo, se han establecido una serie de parámetros por convenio que permiten definir la geometría del movimiento de ladera estudiado y que en este caso se van a aplicar al deslizamiento del Molinar. Los índices geométricos del deslizamiento del Molinar son los que se indican en la Tabla 1.

Tal y como se deduce de los datos inclinométricos y de los cálculos de estabilidad llevados a cabo por el IGME (1985) el deslizamiento parece tener una superficie de



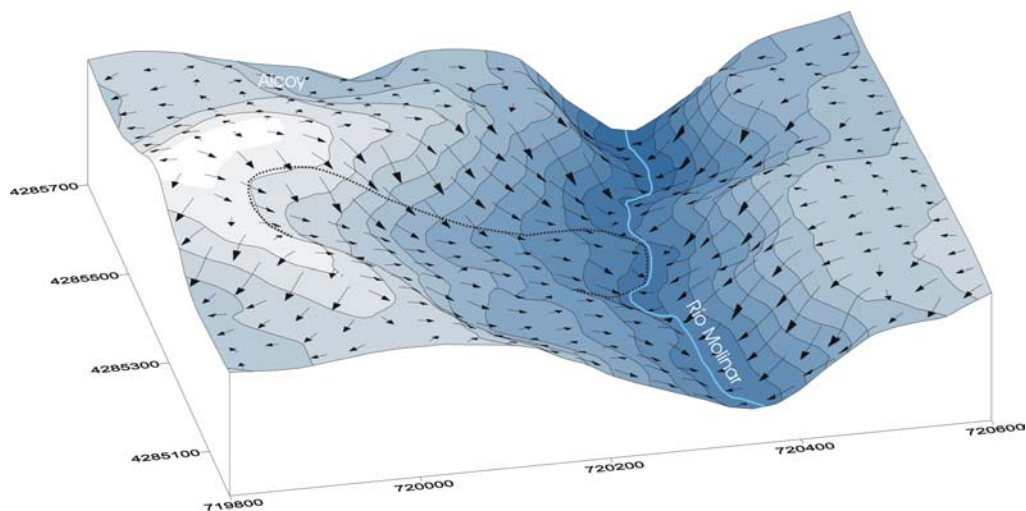
rotura situada a unos 10-12 metros de profundidad con una morfología plana. El extremo inferior de la superficie de rotura se sitúa en el mismo río Molinar lo que hace que coincidan la longitud total y la de ruptura, no existiendo zona de despegue debido a la acción erosiva del río.



La longitud de la masa desplazada resulta ser inferior a la longitud total dado que en la cabecera del deslizamiento existen unos escarpes muy desarrollados. La anchura de la superficie de ruptura es muy superior a la de la masa desplazada siendo los valores medidos de 201 y 125 m respectivamente.

Por otro lado se han reconocido diversos parámetros morfológicos a partir del análisis de las fotografías aéreas y los datos topográfico disponibles del terreno (Fig. 4). El primero de ellos es el cambio de curvatura que se produce en la topografía del deslizamiento, pasando de ser cóncava en la parte de la cabecera a convexa hacia el pie (Figs. 4 y 5). La curva pronunciada que hace el río al pasar por el pie del deslizamiento indica que la acumulación masiva de material al pie de la ladera ha taponado el río viéndose este obligado a buscar un nuevo cauce (Fig. 4). Otro rasgo característico de la cartografía de los deslizamientos es el cambio brusco que se produce en las curvas de nivel al pasar por los flancos del movimiento debido al incremento de pendiente que en ellos se produce (Fig. 4).

Un último paso en el estudio gráfico-técnico de los deslizamientos suele ser la elaboración de un modelo 3D o bloque diagrama que permita observar de forma inmediata la morfología del movimiento de ladera. En el caso del movimiento de ladera del Camino del Molinar ha sido realizada a partir de un modelo digital del terreno (MDT) a escala 1:25.000 de la zona de estudio sobre el que se ha superpuesto la planimetría deducida de la fotografía aérea del año 1991.



*Fig. 5.- MDT del deslizamiento de la Carretera del Molinar.*

## 5. Conclusiones

El primer paso en el estudio de los movimientos de ladera es el reconocimiento e indentificación espacial de los mismos. Esto suele llevarse a cabo a través de los indicadores geomorfológicos. Una vez localizado el deslizamiento es necesario establecer su posición xyz, generalmente de su coronación.

El siguiente paso es caracterizar geométricamente el deslizamiento. Para ello se ha establecido una nomenclatura estándar que facilita la comunicación entre profesionales de la Ingeniería Geológica dedicados al estudio de los movimientos de ladera. Estos parámetros se han determinado para el deslizamiento de la Carretera del Molinar (Alcoy) lo que ha permitido determinar que se trata de un deslizamiento planar de 450 metros de longitud total, una profundidad de la superficie de rotura y de la masa acumulada mínima de 12 m con una pendiente media de 12°. El estudio planimétrico ha permitido establecer los valores correspondientes a la anchura de la superficie de rotura y de la masa deslizada en 201 y 124 m respectivamente.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto CTIDIB/2002/177 y es la publicación 01/2004 de la unidad de Ingeniería Geológica del grupo de investigación GRUPOS03/085 de la Generalitat Valenciana.

## Referencias

COROMINAS, J. (1989). *Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera*. En Corominas, J. (ed.): Estabilidad de taludes y laderas inestables. Sociedad Española de Geomorfología, monografía nº3, 1-30. Barcelona.

COROMINAS, J., GARCÍA-YAGÜE, A. (1997). *Terminología de los movimientos de ladera*. IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada.

CRUDEN, D.M., VARNES, D.J. (1996). *Landslide types and processes*. En A.K. Turner y R.L. Schuster Eds. Landslides. Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247, 36-75.

DELGADO, J., TOMÁS, R. (2003.a). *Geología Aplicada a la Ingeniería: Movimientos de Ladera*. En Recursos Didácticos para la enseñanza de los Riesgos Geológicos en la Provincia de Alicante. Edita ICE Universidad de Alicante. Alicante.

DELGADO, J., TOMÁS, R. (2003.b). *Movimientos de ladera en el casco urbano de Alcoy y Sectores adyacentes*. En Recursos Didácticos para la enseñanza de los Riesgos Geológicos en la Provincia de Alicante. Edita ICE Universidad de Alicante. Alicante.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., FERRER, M., ORTUÑO, L., OTEO, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Prentice Hall. Madrid.

IGME (1985). *Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para la ordenación urbana de Alcoy*. Mapa de riesgos geológicos E: 1/25.000, 1/2.500 y 1/1.000. Memoria. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

SOETERS, R., VAN WESTEN, C.J. (1996). *Slope stability recognition, analysis and zonation*. En landslides Investigation and mitigation. Transportation Research Board Spec. Rep. 247. Turner and Schuster Eds. Chapter 8.

VARNES, D.J. (1978). *Slope movement types and processes*. En L. Schuster y R.J. Krizek Eds. Landslides: analysis and control. Transportation Research Board. Special Report 176, 11-33.

WP/WLI (1993). *Multilingual landslide glossary*. The Canadian Geotechnical Society. BiTech Publishers Ltd.

WIDE AREA SLOPE STABILITY SERVER, WASSS home page (1997). <http://wasss.entpe.fr>



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### DISEÑO DE UN MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 3D DE LA VEGA BAJA DEL RÍO SEGURA (ALICANTE, SE ESPAÑA)

R. Tomás<sup>1)</sup>, A. Cuenca<sup>2)</sup>, J. Delgado<sup>3)</sup>, C. Doménech<sup>4)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Alicante, España. Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía.

Correo electrónico: roberto.tomas@ua.es

<sup>(2)</sup> Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, España. Laboratorio de Carreteras

Correo electrónico: artemio.cuenca@coput.m400.gva.es

<sup>(3)</sup> Universidad de Alicante, España. Departamento de Ciencias de la Tierra

Correo electrónico: jose.delgado@ua.es

<sup>(4)</sup> Instituto Técnico de la Construcción, S.A., España. Área de Geotecnia

Correo electrónico: geotecnia@itcsa.es

### RESUMEN

Los modelos geológico-geotécnicos permiten al ingeniero comprender mejor las condiciones reinantes en un determinado lugar, además de identificar los principales problemas geotécnicos y hacer más realista la estimación de propiedades del suelo. En este trabajo se presenta la metodología empleada para el diseño de un modelo geológico-geotécnico tridimensional de la Vega Baja del Río Segura que consta de cuatro zonas caracterizadas por sus propiedades geotécnicas y su problemática asociada. El modelo resulta fundamentalmente de gran utilidad para la planificación de investigaciones preliminares de obras civiles.

**Palabras clave:** Modelo geológico-geotécnico tridimensional, Vega Baja del Río Segura

### ABSTRACT

Geological-geotechnical models allow the engineers to understand better the site conditions, to identify the principal geotechnical problems and to estimate more realistically the soil properties. In this work we present the used methodology for the design of a geological-geotechnical three-dimensional model of the Segura River flood plain composed of four zones characterized by their geotechnical properties and the associated problems. The model is very useful for the preliminary site investigation planning of civil works.

**Keywords:** Three-dimensional geological-geotechnical model, Segura River flood plain

## **1. Introducción**

Los modelos constituyen simplificaciones de problemas más complejos acordes con la realidad, que permiten comprender mejor el comportamiento o funcionamiento de un sistema. Los modelos son muy utilizados en todas las ciencias, aunque adquieren una gran relevancia en la Ingeniería Geológica. Dentro de esta disciplina podemos diferenciar tres tipos básicos de modelos (Vallejo et al., 2002) que son: el modelo geológico, que representa la distribución espacial de los materiales, accidentes tectónicos, características hidrológicas, geomorfológicas etc.; el modelo geomecánico, en el cual se diferencian las características geotécnicas e hidrogeológicas de los materiales; y el modelo geotécnico de comportamiento, que representa la respuesta del terreno durante y después de la construcción de las obras de ingeniería que afectan a la zona de estudio.

El primer paso en la elaboración de un modelo geológico es caracterizar correctamente el lugar y definir unidades con comportamiento similar (Anonymous, 1972, 1976). A través de esta información los ingenieros geólogos o geotécnicos pueden desarrollar un modelo geológico conceptual (Fookes, 1997) que resulte de gran utilidad para los proyectos desarrollados sobre el mismo terreno.

Algunos ejemplos de modelos geológico-geotécnicos son los elaborados por Mollah (1993), Bozzano et al. (2000) y Griffiths (2001) entre otros.

En este trabajo se presenta un modelo geológico del sector del Río Segura más próximo al Mar Mediterráneo basado en datos sedimentológicos, geomorfológicos y estructurales (Delgado et al. 2003). El modelo se completa con las propiedades geotécnicas de los materiales (modelo geomecánico), estableciendo finalmente los comportamientos más significativos de cada una de las zonas establecidas en el modelo geotécnico (modelo geotécnico de comportamiento).

## **2. Metodología**

La elaboración de un modelo geológico-geotécnico consta de varias etapas de trabajo. En el caso de la Vega Baja del Segura el trabajo de modelización comenzó con la recopilación de todos aquellos datos topográficos (fotografías aéreas y modelos digitales del terreno), geológicos (mapas estructurales, mapas geomorfológicos, mapas geológicos y mapas de isopacas o espesor de sedimentos), geotécnicos (sondeos mecánicos, ensayos de laboratorio y ensayos in situ) y de auscultación (lecturas de líneas continuas de asiento -LCA-, lecturas de piezómetros, informes de patologías, etc.) disponibles sobre el sector de estudio.

En primer lugar se recompuso la topografía a partir de un modelo digital del terreno (MDT) a escala 1:25.000. Esta topografía constituyó la base sobre la cual se irían superponiendo los diferentes aspectos temáticos.

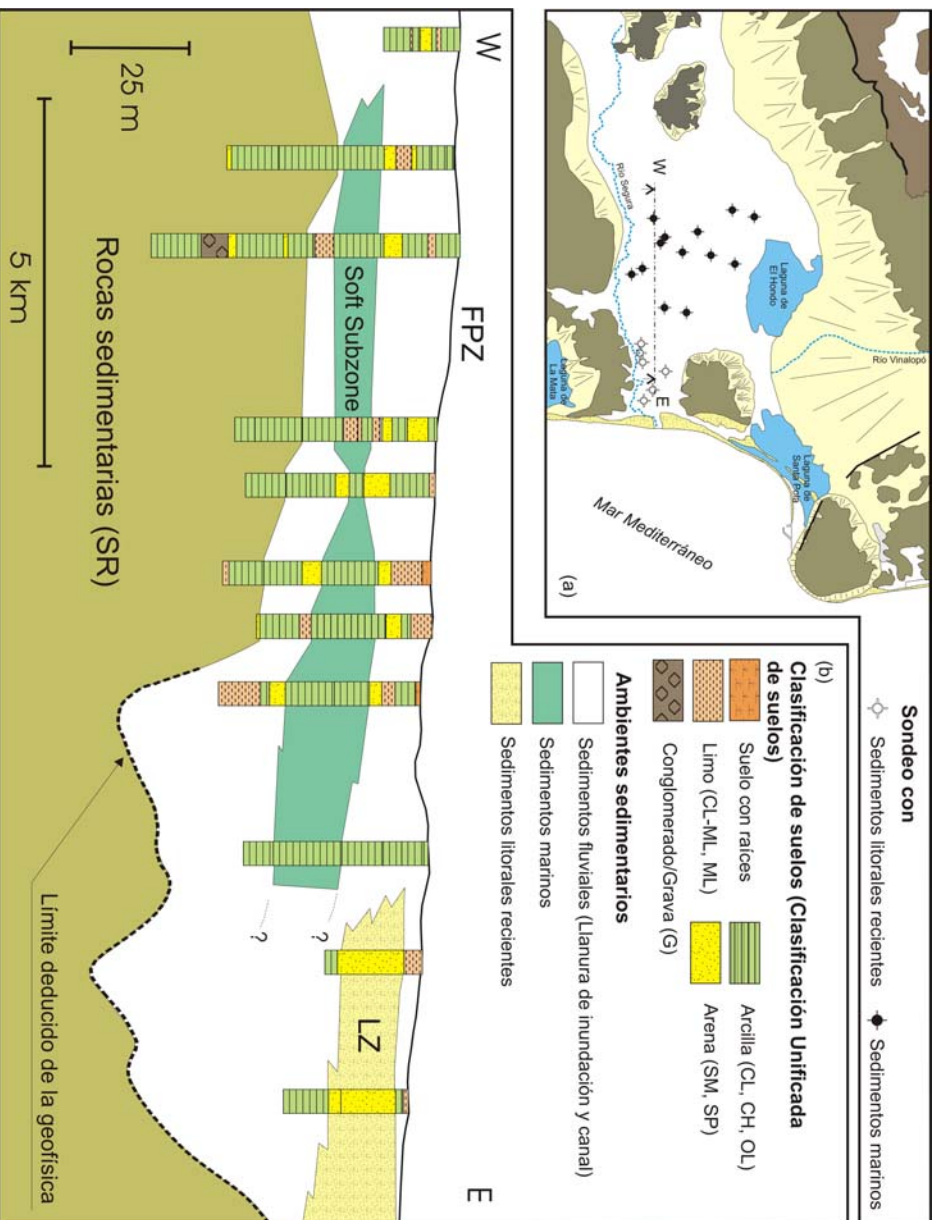
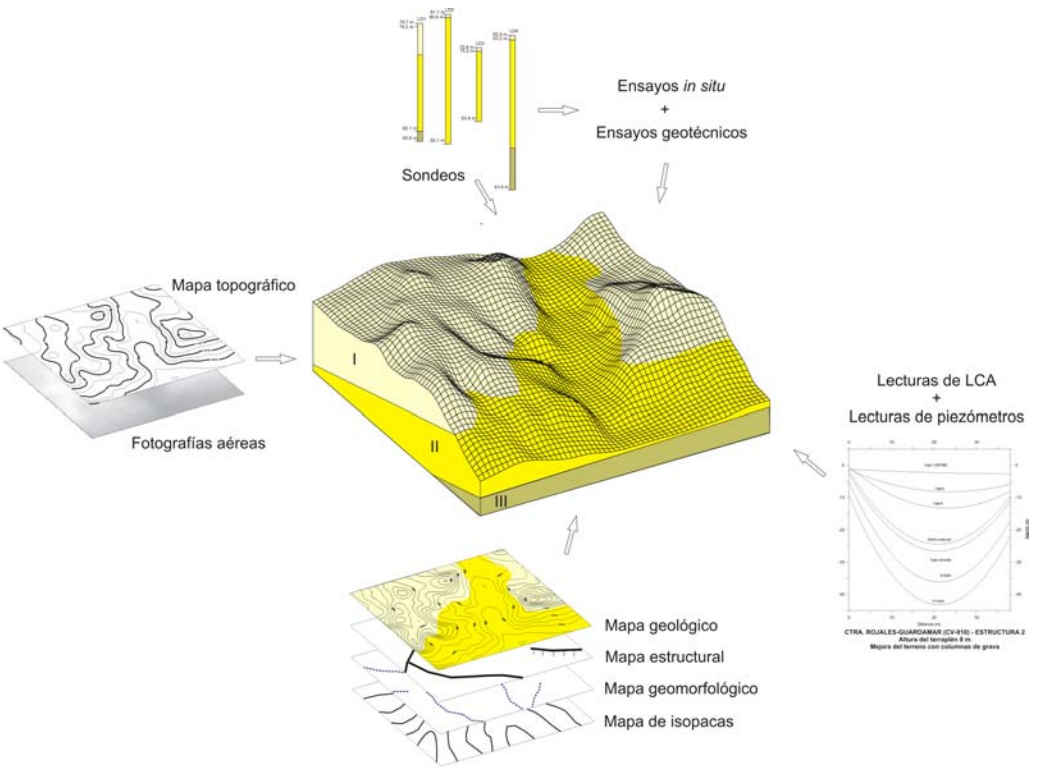


Fig. 1.- (a) Disposición de sedimentos marinos y litorales en los sondeos. (b) Ambientes y tipos de suelos  
 (modificado de Delgado et al., 2003).

El siguiente paso en la definición del modelo fue la elaboración de una cartografía sedimentológica basada en los datos extraídos del reconocimiento y análisis de las muestras de sondeos, que permitiera establecer las cuatro unidades principales existentes en la Vega Baja del río Segura así como las subunidades presentes en estos ambientes.

Simultáneamente se llevó a cabo la elaboración del mapa estructural y geomorfológico para lo que resultó imprescindible el uso de las fotografías aéreas del sector de estudio.

La distribución espacial de los diferentes ambientes sedimentológicos (Figs. 1.a y b) y litológicos (Fig. 1.b), así como de los principales accidentes tectónicos y elementos geomorfológicos permitieron la distinción de los distintos sectores o unidades geotécnicas que se establecen en el modelo geológico de la Vega Baja del Río Segura.



*Fig. 2.- Datos utilizados para la elaboración del modelo*

El siguiente paso era asignar propiedades geotécnicas a las diferentes unidades y subunidades. Para ello se contaba con 128 sondeos con profundidades de exploración que oscilaban entre los 0 y los 50 m además de numerosos datos de penetraciones estáticas y dinámicas. La situación geográfica del sondeo en coordenadas xyz permitió identificar la unidad geológica a la que pertenecía y por lo tanto hacer esa propiedad extensiva a toda la unidad. Puesto que el número de sondeos pertenecientes a cada



unidad era numeroso, los datos de los ensayos realizados sobre muestras de los mismos fueron tratados estadísticamente para asignar valores medios con sus correspondientes desviaciones. Las propiedades geotécnicas de los suelos consideradas fueron la densidad seca y aparente, el peso específico de las partículas, la humedad natural, el índice de huecos inicial, el diámetro medio de las partículas, los porcentajes de limo, arena y arcilla, los límites de Aterberg, la cohesión, el ángulo de rozamiento, el SPT y la resistencia a compresión simple.

Las unidades geológicas que constituyen el modelo geológico junto con las propiedades geotécnicas asignadas a cada una de ellas conforman el modelo geomecánico de la Vega Baja del Río Segura.

Finalmente, se elaboró el modelo geotécnico de comportamiento. Este modelo está constituido por el modelo geomecánico completado con los datos disponibles de comportamiento de los suelos que constituyen cada unidad. Es por tanto el máximo grado de concreción del modelo, y contiene información sobre la capacidad portante del suelo, los asentos del terreno, la licuefacción del suelo y los problemas hidrológicos de cada unidad. La Figura 2 resume esquemáticamente los datos empleados en la elaboración del modelo geológico-geotécnico de la Vega Baja del Río Segura.

### **3. Modelo geológico-geotécnico de la Vega Baja del río Segura**

El modelo elaborado para la Vega Baja del Río Segura (Delgado et al. 2003) consta de cuatro unidades bien diferenciadas (Fig. 3). La primera de ellas está constituida por los sedimentos (alternancias de limos y arcillas con algunos niveles arenosos) saturados que constituyen la gran planicie inundable a través de la cual discurre el Río Segura. Esta unidad recibe el nombre de Flood Plain Zone (FPZ) o Llanura de Inundación. Estos materiales se caracterizan principalmente por su baja resistencia al corte y su elevado índice de huecos. Dentro de esta unidad existe otra unidad altamente compresible denominada Soft Subzone o Subzona Blanda de características geotécnicas mucho peores que las del resto de la unidad FPZ. La unidad FPZ presenta una baja capacidad portante lo que se traduce en un uso de cimentaciones por losas o pilotes. Por otro lado esta zona se caracteriza por su alta compresibilidad, sobre todo en la Soft Subzone, lo que ha obligado al control de medidas de asiento en los terraplenes de carretera construidos sobre esta unidad además de la ejecución de columnas de grava para reducir los asentos (Cuenca et al., 2000; Tomás et al., 2002.a; Tomás et al., 2002.b; Delgado et al., 2003). Otra característica destacable de esta unidad es su alto riesgo de licuefacción (Delgado et al., 1998; Delgado et al., 2003) así como por las inundaciones que sufre por desbordamiento periódico del Río Segura.

La segunda unidad recibe el nombre de Sedimentary Rocks (SR) o Rocas Sedimentarias. Se encuentra situada bajo los sedimentos de la unidad FPZ constituyendo el basamento geotécnico de la cuenca dadas sus mejores propiedades geotécnicas. Constituye el soporte de las cimentaciones por pilotes que se ejecutan en la FPZ debido a su mayor capacidad portante. No presentan problemas de asiento estando constituida por conglomerados, margas, areniscas, gravas y arenas compactas



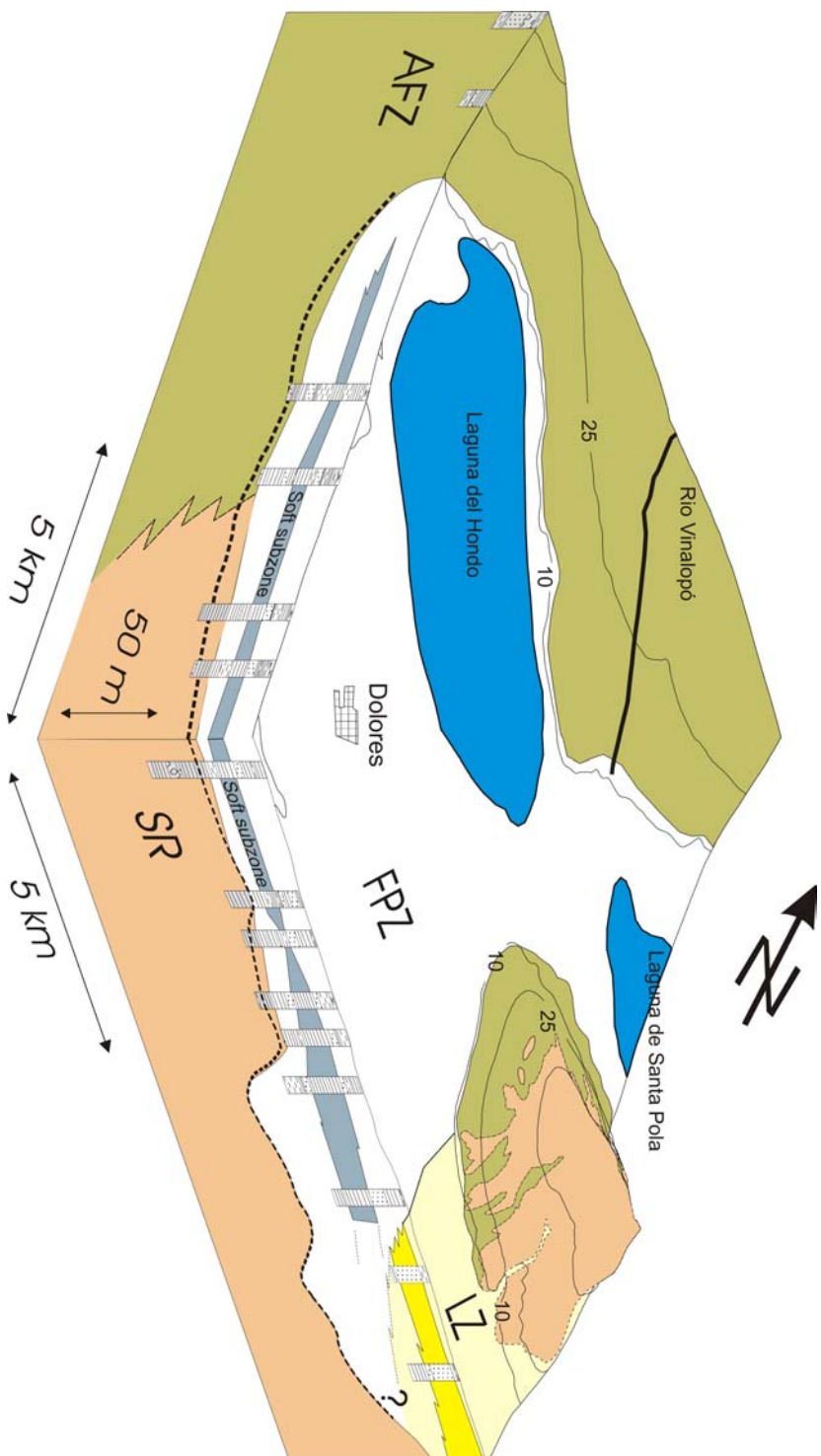


Fig. 3.- Modelo geológico-geotécnico 3D de la Vega Baja del río Segura (Delgado et al. 2003)

que afloran en superficie en algunos puntos de la Vega Baja del río Segura. Las mejores propiedades de esta unidad permiten el uso de cimentaciones aisladas por zapatas. El riesgo de licuefacción de esta unidad es nulo.

La tercera unidad geotécnica definida en el modelo es la unidad de Abanicos Aluviales o Aluvial Fan Zone (AFZ) constituida por arenas y gravas ocasionalmente cementadas. Ésta se caracteriza por su proximidad a los relieves periféricos de la cuenca, contando con altos valores de penetración dinámica y de resistencia a compresión simple, aunque inferiores a los de la unidad SR. Al igual que en la unidad anterior, la zona de abanicos aluviales permite el uso de cimentaciones con zapatas, no presentando problemas de asiento ni de licuefacción destacables.

La cuarta unidad recibe el nombre de Zona Litoral (Litoral Zone, LZ). Esta unidad, de composición predominantemente arenosa, se caracteriza por la presencia de *Possidonia Oceánica*, ya que son sedimentos de origen fundamentalmente marino reciente. La capacidad portante de esta unidad es baja aunque no tanto como la de la unidad FPZ. Los asientos generados en esta unidad dependen en gran medida de la presencia de la unidad FPZ bajo ella. El riesgo de licuefacción en estos materiales es alto, al igual que el de inundación.

#### **4. Utilidad del modelo**

Una vez elaborado el modelo el conocimiento sobre la distribución espacial en xyz de los suelos de la Vega Baja del Segura ha mejorado considerablemente encontrándonos en condiciones de explotarlo.

La principal utilidad de este modelo estriba en la posibilidad de establecer itinerarios pertenecientes a obras lineales (carreteras, canales, ferrocarriles, etc.) y determinar por qué unidades transcurre, que propiedades y que problemática afectará a cada tramo de ese recorrido. Esto supone que el modelo geológico-geotécnico de la Vega Baja del Segura propuesto puede ser aplicado directamente para la planificación y diseño de las campañas de investigación previa a la ejecución de obras, constituyendo una importante fuente de información con el consecuente beneficio económico.

Por otro lado, el modelo permite también la determinación del tipo de cimentación más conveniente y la estimación de las profundidades de pilotaje en el caso de que se opte por esta tipología de cimentación.

El modelo geotécnico de comportamiento permite además establecer la distribución espacial de los problemas geotécnicos asociados a cada unidad para así llevar a cabo un diseño y una ordenación del territorio acorde con éstos.

#### **5. Conclusión**

El presente trabajo muestra la metodología de diseño de un modelo geológico-geotécnico de la Vega Baja del río Segura. En este modelo se establecen cuatro zonas

geotécnicas con problemas geotécnicos diversos lo que facilita el diseño y planificación de posteriores campañas de investigación en la zona.

Los principales problemas de la FPZ, dentro de la cual se diferencia una capa de arcillas blandas (Soft subzone), son la baja resistencia portante de los suelos, los grandes asientos que sufren éstos al ser cargados y el alto potencial a la licuefacción.

Otra zona diferenciada en el modelo ha sido la LZ, que presenta una mayor resistencia portante y menores problemas de asiento, aunque estas propiedades dependen directamente de la existencia de la unidad FPZ bajo de los sedimentos. Su principal problema es el riesgo de licuefacción de estos materiales.

La tercera unidad descrita en el modelo ha sido la AFZ , junto con la cuarta, SR, presentan mejores propiedades geotécnicas pudiendo ser consideradas como el sustrato de la cuenca y siendo mucho más aptos para todo tipo de obra civil.

La utilidad práctica del modelo es evidente y permitirá a los futuros planificadores del territorio y a los diseñadores de estructuras lineales y edificaciones tener una mejor idea del terreno disponible en su área de actuación. Esto les facilitará notablemente la tarea de planificar las campaña de investigación previa a la obra con mayor rigor además de ayudarles a tomar las medidas de mejora del terreno y de cimentación oportunas.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto CTIDIB/2002/177 y es la publicación 02/2004 de la unidad de Ingeniería Geológica del grupo de investigación GRUPOS03/085 de la Generalitat Valenciana.

## **Referencias**

ANONYMOUS, C. (1972). *The preparation of maps and plans in terms of engineering geology*. Quaterly Journal of Engineering Geology, 5, 293-381.

ANONYMOUS, C. (1976). *Engineering Geological Maps: a guide to their preparations* The UNESCO Press, Paris.

BOZZANO, F., ANDREUCCI, A., GAETA., M., SALUCCI, R. (2000). *A geological model of the buried Tiber river valley beneath the historical center of Rome*. Bulletin of Engineering Geology and Enviroment, 59, 1-21.

CUENCA, A., DELGADO, J., DOMÉNECH, C., TOMÁS, R. (2000). *El Cuaternario reciente de la Vega Baja del Segura: Problemática geotécnica*. En Itinerarios Geológicos por la provincia de Alicante y limítrofes.

DELGADO, J., LÓPEZ CASADO, C., ALFARO, P., GINER, J., ESTÉVEZ, A. (1998). *Licuefaction potential in the Lower Segura Basin (Southeast Spain)*. Engineering Geology, 49, 61-79.

DELGADO, J., ALFARO, P., ANDREU, J.M., CUENCA, A., DOMÉNECH, C., ESTÉVEZ, A., SORIA, J.M., TOMÁS, R., YÉBENES, A. (2003). *Engineering-geological model of the Segura River flood plain (SE Spain): a case of study for engineering planning*. Engineering Geology, 68, 171-187.

FOOKES, P.J. (1997). *Geology for engineers: the geological model, prediction and performance*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 30, 293-424.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., FERRER, M., ORTUÑO, L., OTEO, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Prentice Hall. Madrid.

GRIFFITHS, J.S. (Ed) (2001). *Land surface evaluation for Engineering practice*. Geological Society of Engineering Geology Special Publications, vol. 18. The Geological Society, London, 248 pp.

MOLLAH, M.A. (1993). *Geotechnical conditions of the deltaic alluvial plains of Bangladesh and associated problems*. Engineering Geology, 36, 125-140.

TOMÁS, R., CUENCA, A., DELGADO, J., DOMÉNECH, C., SENTANA, I. (2002.a). *Seguimiento geométrico de terraplenes mediante línea continua de asientos en la Vega Baja del Segura (Alicante)*. Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 785-792. Cantabria, España.

TOMÁS, R., CUENCA, A., DELGADO, J., DOMÉNECH, C. (2002.b). *Auscultación de terraplenes mediante línea continua de asientos en la Vega Baja del Segura (Alicante). Comparación con los asientos previstos*. Revista Carreteras, 124, 50-59.

# IMAGEN Y ORTOFOTO, ELEMENTOS CLAVE EN LA REPRESENTACIÓN DE EVENTOS EN EL TERRITORIO, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS GIS.

PUEYO ECHEVARRÍA, Javier (1); LARRAZ DUERTO, Carlos (2)

<sup>(1)</sup> Universidad del País Vasco, España

Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería.

E-mail: [epppuecj@lg.chu.es](mailto:epppuecj@lg.chu.es)

<sup>(2)</sup> Universidad del País Vasco, España

Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería.

E-mail: [eppladuc@lg.chu.es](mailto:eppladuc@lg.chu.es)

## RESUMEN

En esta comunicación se va a trabajar con un conjunto de mapas de la misma zona del territorio, donde un lugar concreto, tiene la misma localización (las mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el Sistema de Información Geográfica. De este modo, resulta posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona.

Se van a crear unas imágenes de Modelos Digitales de Elevaciones, de Ruidos, etc; y por otra parte se va a disponer de la ortofoto digital de las zonas de trabajo como textura.

Imágenes y textura están georreferenciadas, es decir, para cada pixel en unas y en otra sabemos sus coordenadas UTM absolutas de tal manera que la superposición es automática.

Las superposiciones realizadas nos mostraran en tres dimensiones el territorio y eventos que se produzcan en él tales como ruido ambiental.

Se van a realizar unos vuelos o animaciones de las imágenes en 3D obtenidas anteriormente con un programa que nos asista y que sea capaz de definirnos una ruta de vuelo.

En el caso del vuelo que presentamos el MDT es de resolución (64x64 pixeles) y la textura que da color a esa superficie en relieve es la ortofoto digital, ambos productos referidos a la zona cartográfica 61-II, que comprende la ciudad de Bilbao y los municipios de su entorno y sobre la cual se realiza el estudio.

Lo anteriormente expresado nos permitirá cumplir el objetivo de poder acceder a la información territorial y ambiental de una manera sencilla y altamente expresiva.

## ABSTRACT

The geographical area evaluated is the city of Bilbao. It is situated in the north of Spain.

Several images exemplify the situation about noise immission level and involves the identification of areas in which harmful environmental effects caused by noise are being produced. The necessity for doing so has provided a new method efficient, inexpensive and easily comprehensible to all people about environmental noise conditions and their evaluation.

The study will show how Integrated Geographic Information Technology (Idrisi) can provide a convenient means for the advancement and optimization of the planning strategy.

## **1. Introducción**

Las curvas de nivel son un elemento válido de operatividad en las superficies topográficas, pero podemos aumentar la operatividad señalada anteriormente si trabajamos con un MODELO DIGITAL DE TERRENO.

Se puede crear un M.D.T de cualquier hecho que cumpla unas mínimas características, esencialmente la continuidad espacial de la variación. De este modo, variables sociales como niveles de ruidos, densidad de población, etc., se pueden representar y analizar como un Modelo Digital del Terreno.

De esta manera se van a representar territorios y niveles de ruidos en tres dimensiones mediante superposiciones de imágenes y ortofotos.

De la misma manera en este trabajo se van a dar a conocer otras utilidades de estos modelos al ser tratados en Sistemas de Información Geográfica.

## **2. Obtención de un modelo digital de terreno**

Para obtener un M.D.T, la forma tradicional hasta que la informática ha sido de uso común era superponer sobre una cartografía, por ejemplo los mapas del ejército, en papel de cebolla o semitransparente una cuadrícula e ir anotando para cada cuadrícula el valor medio de las diferentes curvas de nivel que apareciesen en esa celdilla, así entonces tendríamos en el papel una cuadrícula de las dimensiones que nosotros necesitásemos y un valor de altura para cada cuadro; luego eso se pasa al formato del programa que se este utilizando y ya estaría realizado un M.D.T en una forma un tanto artesanal.

Hoy en día, una cuestión inicial se refiere a cuál es el origen de la información de partida, que puede proceder básicamente de dos fuentes: el mapa topográfico o la restitución tridimensional de fotografías aéreas del terreno.

Podemos partir de esta segunda fuente de información (la restitución fotogramétrica) proporcionada por la administración local, mediante un modelo estereoscópico, de pares de fotografías aéreas del terreno. Para ello, y para otras funciones cartográficas, se han desarrollado dispositivos y aparatos que facilitan, en gran medida, estas tareas y generan, finalmente, un fichero informático conteniendo en la mayoría de las ocasiones, una rejilla densa de puntos con tres valores numéricos, las coordenadas geográficas X e Y con la altura Z. En este caso se puede decir que se cuenta ya con un Modelo Digital del Terreno en formato "raster". No obstante, en ocasiones puede ser necesario hacer más densa aún la rejilla de puntos generada o realizar algún tipo de transformación, en muchos de estos casos será necesario emplear procedimientos de interpolación.

A partir de las curvas de nivel se puede confeccionar un Modelo Digital de Terreno mediante alguna aplicación informática como un Sistema de Información Geográfica. También en el momento actual, ya se pueden conseguir realizados por el (I.G.N) Instituto Geográfico Nacional con su Base Cartográfica Numérica 1:200.000 (BCN200) y su MDT200 que se define como una malla cuadrada en proyección UTM cubriendo todo el territorio nacional con un ancho de malla de 200 metros entre nodos y cada nodo almacenando su cota correspondiente.

Otras fuentes de información son: El Servicio Geográfico del Ejército (S.G.E) y a nivel regional el Gobierno Vasco y las Diputaciones Forales con sus catálogos de productos cartográficos.

### **3. Análisis y aplicaciones**

El análisis de un Modelo Digital del Terreno permite describir una serie de parámetros que caracterizan a una superficie en tres dimensiones. En general, estas funciones proporcionan una potente capacidad de caracterizar un conjunto de fenómenos de gran interés práctico.

Se pueden diferenciar dos tipos de medidas diferentes que caracterizan un Modelo Digital del Terreno y, por lo tanto, dos formas distintas de análisis. Por un lado, las medidas que establecen la geometría general de la superficie y que, en lo esencial, dependen de la posición absoluta de los puntos que la forman. Se han definido entre estas medidas las siguientes: altura, pendiente (obtenida calculando la primera derivada matemática de la función altura, esta primera derivada está caracterizada por su gradiente y su orientación) y convexidad (segunda derivada de la altura, definida por convexidad vertical y horizontal).

En segundo lugar se pueden estudiar las relaciones relativas entre los puntos de la superficie, como son la medida de la rugosidad o fuerza del relieve, la intervisibilidad entre puntos y, en general, las medidas que establecen cómo se producen los flujos de un líquido sobre la superficie topográfica.

**Las aplicaciones** prácticas de un MDT son muy variadas y diferentes, las podemos subdividir, a grandes rasgos, en dos tipos:

1) El MDT actúa como un estrato más de una base de datos más amplia. En este caso, tanto las propias alturas como los otros aspectos derivados, calculados a partir de ellas: pendientes, orientación, perfil, etc. resultan de gran utilidad para realizar numerosos análisis y estudios. En muchos de los ejemplos que pueden verse en la bibliografía especializada se han podido comprobar la incorporación continua de estas capas temáticas a la resolución de problemas de muy diversa índole, existen además muchas otras posibilidades.

2) Por otra parte, la información contenida en un M.D.T, las altitudes de cada punto, es útil para el estudio del terreno, en especial en Geomorfología, Geología e Hidrografía. En concreto, se pueden hallar aplicaciones sobre las cuestiones siguientes: determinación automática de cuencas de drenaje; clasificación cuantitativa de las formas del relieve; modelado de hechos subterráneos, por ejemplo en Hidrogeología o en Minería.

#### **4. Sistemas de información geográfica**

Un Sistema de Información Geográfica (S.I.G o G.I.S por las siglas inglesas) se puede definir como:

Un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto, tiene la misma localización (las mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el sistema de información (Bosque Sendra, 1992). De este modo, resulta posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona.

Se ha planteado una cierta discusión sobre el verdadero significado y la esencia principal de un Sistema de Información Geográfica, en especial para diferenciarlo de un programa de cartografía asistida por ordenador o de uno de Gestión de Bases de Datos. Lo más característico de un S.I.G es su capacidad de análisis, de generar nueva información de un conjunto previo de datos mediante su manipulación y reelaboración.

En realidad un Sistema de Información Geográfica es útil en cualquier área donde sea necesario el manejo de información espacial.

Sirve por tanto un S.I.G, para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Por todo ello, se ha podido decir que, para el manejo de datos espaciales, los S.I.G son el paso adelante más importante desde la invención del mapa .

#### **5. Idrisi. Sistema de información geográfica**

IDRISI es un programa de ordenador, desarrollado por la “Graduate School of Geography en la Universidad de Clark”, cuyo cometido es ser un sistema de información geográfica y un procesador de imágenes. Consta de un programa, interfaz de usuario, (que cuenta con sistema de menú y barra de herramientas) y un conjunto de más de 150 módulos de programa que facilitan la entrada, visualización y análisis de información geográfica.

Los datos geográficos son descritos como capas temáticas, componentes elementales de mapas que describen un tema determinado. Algunos ejemplos de



capas temáticas serían la tipología de terrenos, usos del suelo, densidades de población, **ruido**, etcétera. Todos los análisis se llevan a cabo sobre capas temáticas. No obstante, para la visualización, pueden integrarse una serie de capas temáticas en una composición de mapa.

Como los datos geográficos pueden ser de diferentes tipos, IDRISI incorpora dos formas básicas de capa temática: raster (imagen) y vectorial.

Las imágenes raster describen una región del espacio mediante una rejilla de unidades regulares (celdas). Cada una de estas celdas contiene un valor numérico que expresa una determinada característica del terreno en esa localización. Éstas son muy apropiadas para la descripción de datos espaciales continuos.

Por otra parte, las capas vectoriales, son útiles para describir los distintos elementos del terreno, tales como carreteras, red hidrográfica, límites administrativos, y otros. Para ello, almacenan una serie de puntos (cada uno referenciado mediante un par de coordenadas espaciales) que describen la localización de los elementos (si son puntos), o su trayectoria o límite mediante una secuencia de puntos unidos por líneas rectas.

Idrisi para Windows nos permite una muy alta interactividad y flexibilidad para realizar composiciones cartográficas en la pantalla, incluyendo las especificaciones de múltiples capas de información, construyendo y posicionando sobre el mapa anotaciones, barra de escala, textos, permitiendo construir los colores y símbolos. Este análisis se realiza mediante un procedimiento denominado **superposición (Overlay)**, llamado de esta manera porque es idéntico en sus características a la superposición de entidades geográficas mediante mapas confeccionados en transparencias y superpuestos uno sobre otro.

## 6. Realización de un M.D.T. en Idrisi

El proceso que usa IDRISI para generar un MDT es el siguiente:

Un M.D.T es en principio un fichero raster, que lo que tiene en cada pixel es un valor, ese valor en lugar de ser como en otra cartografía temática un atributo físico como una característica del terreno, un tipo de suelo, un tipo de cubierta vegetal, si existe un colegio o se trata de una zona industrial o residencial; en lugar de tener eso lo que tiene para cada pixel es una “z” es decir un valor de altura

A partir de un “dx” con curvas de nivel habría que volcar o traducir ese “dx” a un fichero vectorial de Idrisi o sea un fichero “vec” haciendo que cada vector mantenga su “z” ; luego habría que volcar ese vectorial sobre una imagen raster, es decir, habría que rasterizar el vectorial y para eso se utiliza el comando “lineras” de Idrisi, la resolución de ese mapa raster tiene que ser la suficiente como para soportar la precisión del “dx” original.

Una vez que el vectorial ya se tiene en formato raster la forma de interpolar y dar valor a todos aquellos pixeles que no tuviesen curva de nivel o sea los de valor cero es con el comando “intercom” de Idrisi.

## **7. Realización de un vuelo**

Disponiendo ya del MDT se ha generado un video de vuelo sobre la zona a ensayar para obtener una mejor visualización de la misma.

Los productos que necesitamos para generar un vuelo son dos: para empezar un MDT que nos describa el relieve de la zona sobre la que estamos volando o sea, que describa en alturas esa superficie y por otra parte una textura (ortofoto) que de color para que cada pixel esté coloreado con determinado tono.

Ambas imágenes están georreferenciadas, es decir, para cada pixel en una y en otra imagen sabemos sus coordenadas UTM absolutas de tal manera que la superposición es automática.

Por supuesto para generar el vuelo necesitamos un programa que nos asista, en nuestro caso es ENVI y que sea capaz de definirnos una ruta de vuelo. Luego se exporta en un formato de video externo al propio ENVI, para que pueda correr de forma autónoma como el MPEG.

## **8. Operatividad en Idrisi a partir del M.D.T**

Con estos modelos digitales aumentamos la operatividad sobre el terreno de una manera muy considerable pudiendo realizar entre otras las siguientes operaciones:

### **A. MEDIDAS DE LA GEOMETRÍA GENERAL: PENDIENTE**

- Mapa de pendientes en un Modelo Digital del terreno “raster”
- Otras medidas relacionadas con la pendiente
  - Convexidad local
  - Longitud de la pendiente

### **B. ORIENTACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA**

- Cálculo de la orientación en un punto

### **C. ANÁLISIS DEL TERRENO**

- Curva hipsométrica
  - Determinación del perfil topográfico
  - Rugosidad del terreno
  - Determinación del perfil de alturas en un punto
  - Puntos críticos del relieve

### **D. DELIMITACIÓN DE CUENCAS DE DRENAJE**

- Cuenca de drenaje

E. INTERVISIBILIDAD DE LUGARES EN UN MDT

F. CÁLCULO DE VOLUMEN BAJO LA SUPERFICIE

G. BLOQUES DIAGRAMA EN PERSPECTIVA

H. SOMBREADO E ILUMINACIÓN DEL RELIEVE

I. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TERRITORIO

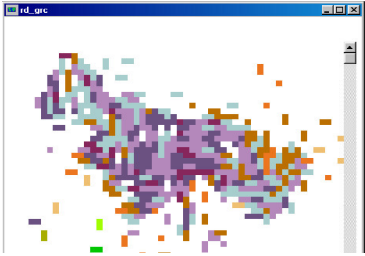
J. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE EVENTOS

## 9. Ejemplos

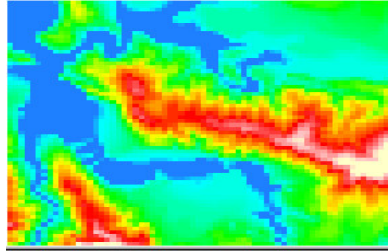
- A) En la *Figura 1*, vamos a ver como partiendo de unas imágenes raster, mediante la superposición de la ortofoto podemos representar en tres dimensiones el terreno y eventos que se produzcan en él, como es el caso del ruido.
- B) En la *Figura 2*, tenemos una imagen raster en la cual se han creado seis categorías para la representación de la pendiente del terreno.
- C) En la *Figura 3*, partiendo del M.D.T se ha determinado la cuenca de visibilidad desde un elemento lineal como una carretera.

## A.- SUPERPOSICIONES Y CREACIÓN DE 3D EN TERRENOS Y EVENTOS

**IMAGEN RUIDO**



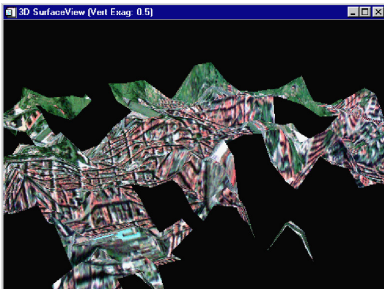
**MODELO DIGITAL DE TERRENO**



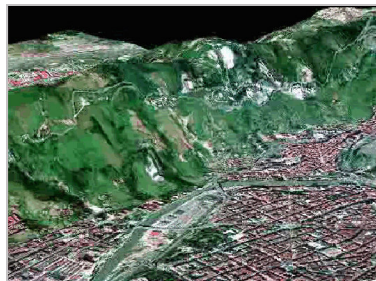
**ORTOFOTO**



**RUIDO + ORTOFOTO**

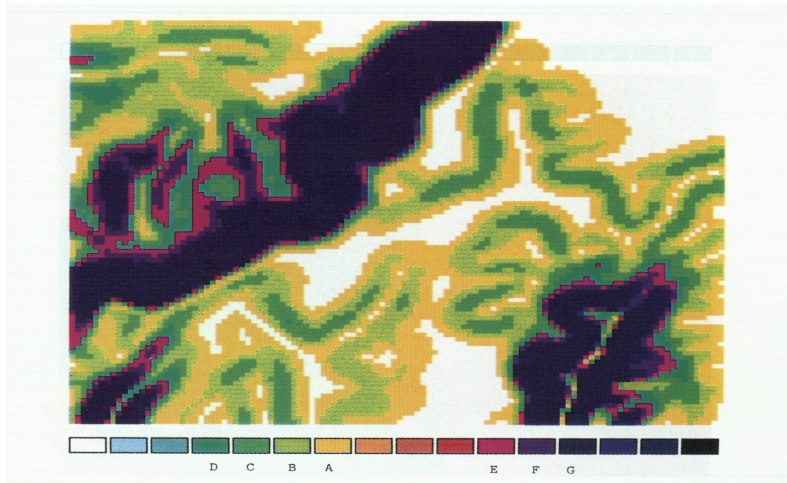


**M.D.T + ORTOFOTO**



*Figura 1*

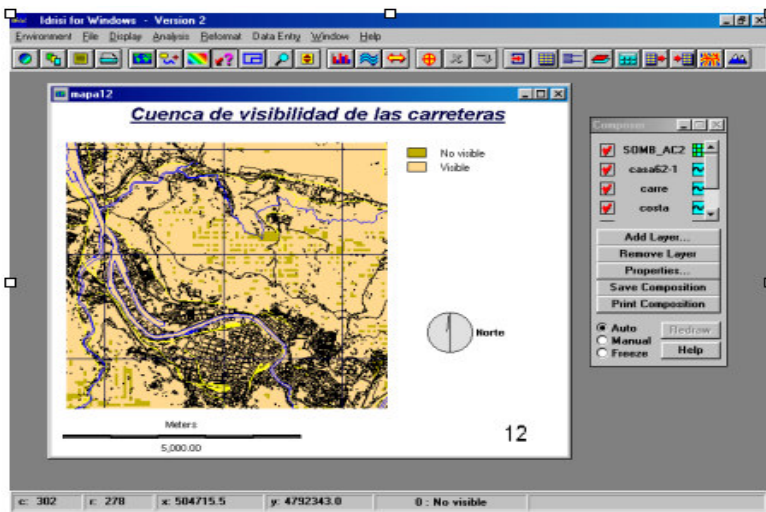
## B.- REPRESENTACIÓN DE PENDIENTES DE UN TERRENO



A, 1%; B, 3%; D, 4%; E, 5%; F, 6%; G, 7a29%.

*Figura 2*

## C.- CUENCAS DE VISIBILIDAD A PARTIR DE M.D.T.



*Figura 3*

## 10. Bibliografía

AYUNTAMIENTO DE BILBAO. “*Datos de valores de ruidos*” . Sección de Circulación y transportes, Sección de Medio Ambiente. Bilbao, Tf.944204200.

CEOTMA .

*Ruido de tráfico urbano e interurbano*. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, 1982.

BOSQUE SENDRA, J.

*Sistemas de Información Geográfica*. Ed. RIALP, Madrid, 1993.

BOSQUE SENDRA, J.; ESCOBAR, FJ.; GARCIA, E.; SALADO, MJ.

*Sistemas de Información Geográfica. Prácticas con Pc ARCINFO e IDRISI* . Ed. RAMA, Madrid, 1994.

BRUNET STARELLAS, P.; RUIZ-PEREZ, M.

*Aplicación de los Sistemas de Información Geográficos Raster al análisis de componentes Urbanos*. Actas del IV Coloquio de Geografía Cuantitativa. pp. 111-128. Palma de Mallorca, 1990.

ESRI ARC/INFO.

*User's manual*. vol.1, DEC/VAX versión 4.0. Redlands, California, 1986.

GUTIERREZ, J.; GOULD, M.

*SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Ed.Síntesis. Madrid, 1994.

RONALD EASTMAN, J.

*Referencia de comandos del programa Idrisi*.

Clark University, Graduate School of Geography. Worcester, Massachussets 1990.

AGUADO GONZALEZ, C.; ALEMANI GARCIA, L.

“*Mapa sonoro de Gijón y herramienta dinámica de cálculo de ruido de tráfico*”.

Servicio de protección del medio ambiente

Ayuntamiento de Gijón

XXVIII Jornadas nacionales de acústica y encuentro ibérico de acústica

Oviedo. noviembre, 1997.

UNIVERSIDAD DE BONN

“*Desarrollo de un GIS – prototipo para la cuantificación de la contaminación por ruido en base a niveles de inmisión*”.

Departamento de Geografía de la Universidad de Bonn.

Autor: Jens. Fitzke.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA GRÁFICA EN LA INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS Y LA PLANIFICACIÓN MINERA

TORAÑO ÁLVAREZ, Javier; RODRÍGUEZ DÍEZ, Rafael; RIVAS CID, José M.; PELEGRY  
CUESTA, Ángel

<sup>(1)</sup>Universidad de OVIEDO, España  
Departamento de EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS. E. T. S. Ingenieros de Minas  
Correo electrónico: jta@uniovi.es

### RESUMEN

El trabajo describe la aplicación de la ingeniería gráfica al estudio de un yacimiento de mineral y su utilidad en el diseño de la explotación minera subterránea. Partiendo del plano de labores de la antigua mina, de los datos obtenidos de la nueva infraestructura minera y de la información obtenida de los sondeos de investigación, se elabora un modelo 3-D del yacimiento. Dicho modelo es utilizado posteriormente en el diseño de la mina futura en temas tales como interpretación geológica, diseño de la infraestructura minera o la afección de las explotaciones en superficie.

**Palabras clave:** Modelización digital del terreno, Investigación de yacimientos, Planificación minera.

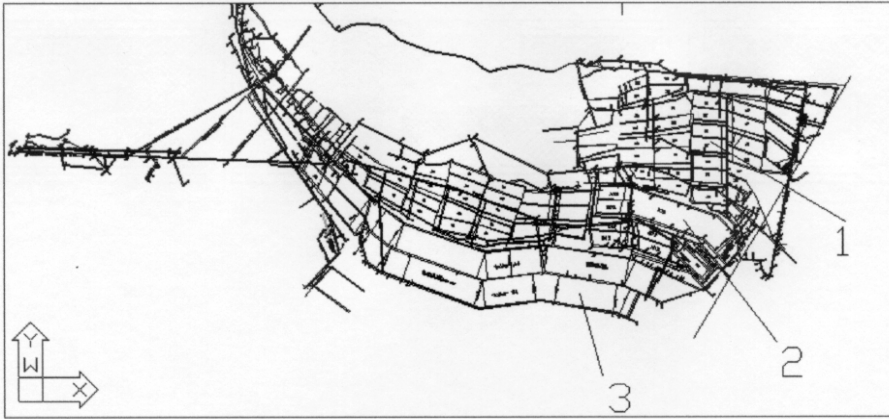
### ABSTRACT

In this work, the application of graphical engineering techniques to the exploration of a mineral deposit and its utility in designing the underground mining works is described. Based on works plan of the old mine, data obtained from the new galleries excavated and information obtained from the exploration boreholes, a 3-D digital model was developed. It was used in designing the future mine being useful in solving problems as geological interpretation, mine infrastructure design or influence of the mining works on the surface.

**Key words:** Digital terrain modelling, Mineral deposits exploration, Mining planning.

# 1. Introducción

La introducción de un nuevo método de explotación en una mina subterránea de carbón, con una inversión total en equipos de cerca de 9.000.000 €, obligaba a realizar una exhaustiva investigación del yacimiento que garantizara la viabilidad del proyecto y justificara dicha inversión. En la figura 1 se ve el plano de labores de la mina en su versión tradicional. En él están señaladas 3 zonas: la zona 1 corresponde a labores antiguas, la 2 es una zona donde se probaron los nuevos equipos y la 3 es la zona en la que se pretendía comenzar la explotación en marcha de régimen con el nuevo sistema. En este trabajo se describe la investigación sobre la zona 3 llevada a cabo apoyándose en herramientas de diseño gráfico. Tradicionalmente, dicho estudio se habría hecho con ayuda de poco más que dicho plano de labores.



*Figura 1: Plano de labores de la mina.*

Problemas típicos que se plantean en este tipo de investigaciones son la evolución del yacimiento en profundidad, la disposición de los paneles de explotación, las posibles influencias de la explotación en superficie... etc. (puede encontrarse una más extensa información sobre el tema en BUSTILLO y LÓPEZ, 1997)

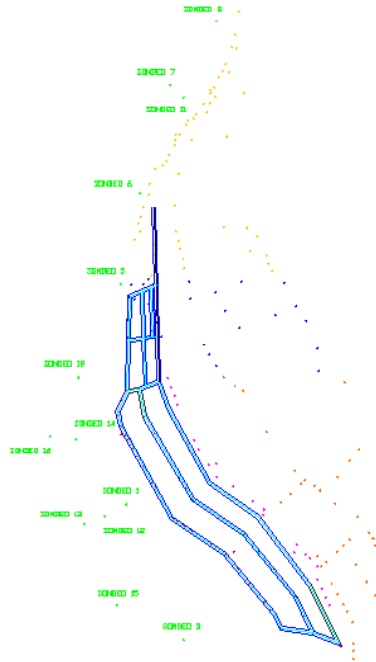
## 2. Elaboración del modelo

### Datos de partida

Los datos de partida para la elaboración del modelo se obtienen de diferentes fuentes. Unos datos provienen de aquellas zonas de la mina ya explotadas y que fueron registradas en su día por el servicio de topografía de la mina e incorporadas al plano de labores. De esta fuente se tienen la posición XYZ, relativa a la entrada de la mina, de numerosos puntos de las labores antiguas. Algunos puntos aportan además información de la capa mineral (espesor o potencia e inclinación) mientras que otros se refieren a elementos geológicos interesantes (contacto con el sustrato precámbrico o existencia de un plano de falla).



Otros datos provienen de los sondeos realizados para investigación de zonas no conocidas del yacimiento. Así se tienen la posición XYZ, relativa a la boca del sondeo, de los puntos en los que la capa de mineral o algún elemento geológico interesante es interceptado por dicho sondeo (como en el otro caso, también se tiene el otro tipo de información). En la figura 2 se han representado, utilizando un programa gráfico la posición en planta de los puntos concocidos, tanto de las antiguas labores como los relativos a los sondeos, junto con la zona a investigar (en la que se localizan los dos próximos paneles de explotación).



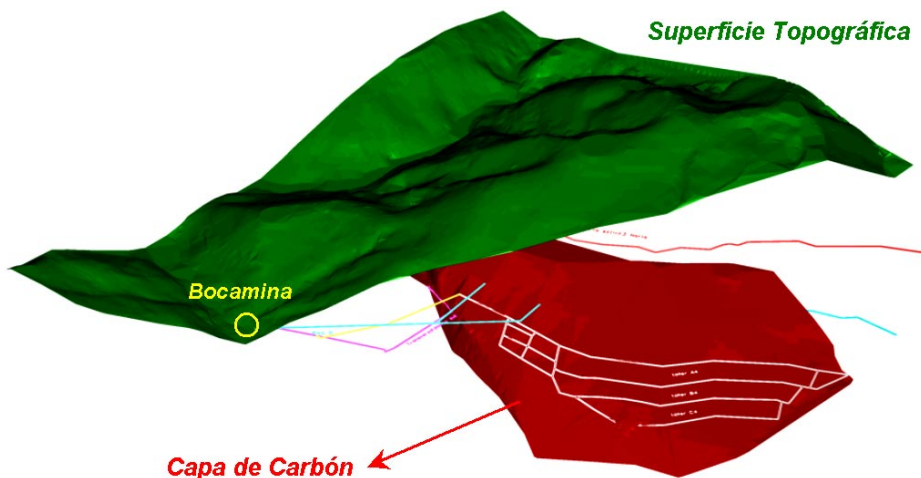
*Figura 2: Distribución de los puntos que son tomados como datos*

Por último, se tiene un elemento integrador que es la representación digital de la superficie del terreno. Ésta nos permite unificar el sistema de referencia de todos los datos ubicando sobre la superficie del terreno los puntos desde los que se realizan los sondeos y la entrada de la mina. Dicha representación se elabora a partir del Mapa Topográfico del Principado de Asturias, facilitado por la CONSEJERÍA DE INFRAESTRUCTURAS Y POLÍTICA TERRITORIAL (2000), en formato DGN para trabajar sobre plataforma MicroStation 95 de BENTLEY SYSTEMS (1995).

## Creación del modelo

Para la creación de un modelo 3-D del yacimiento se ha utilizado la aplicación SiteWorks Select Cad de INTERGRAPH (1998). En esta fase, fundamentalmente se utiliza la posibilidad que tiene el programa para generar superficies.

La capa de mineral es un volumen que queda representada por las dos superficies que la limitan (superficie superior o techo y superficie inferior o muro). A partir de los puntos en los que se corta la capa, en la mina y en los sondeos, y el valor del espesor o potencia de la misma se tienen los correspondientes puntos de las superficies techo y muro. El programa por medio de la interpolación define dichas superficies en la zona a investigar que queda comprendida entre esos dos conjuntos de puntos. Esta superficie así definida junto con la representación de la superficie topográfica nos permite tener una visión 3-D conjunta del yacimiento tal y como se muestran en la figura 3.



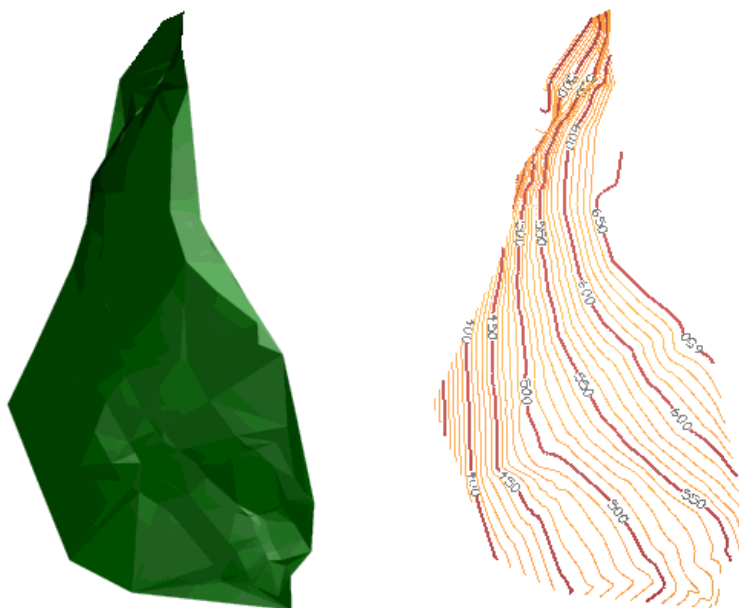
*Figura 3: Representación 3-D del yacimiento*

Otros elementos de importancia también tienen su representación como superficies. Este es el caso de las fallas, grandes superficies de rotura en la corteza terrestre, que afectan al yacimiento o el paleorrelieve precámbrico sobre el que sedimentó todo el material carbonífero que constituye la cuenca. Como se verá a continuación, al representar todos los elementos conjuntamente, se puede tener en cuenta su influencia en la planificación de la mina.

### **3. Utilización del modelo**

#### **Definición de los paneles de explotación**

Un tema importante en la planificación de la mina es la definición de los paneles de explotación dentro de la capa. Puesto que no existe una única solución, durante la fase de diseño se parte de diferentes alternativas las cuales se han de valorar posteriormente. En la figura 4 se muestra la representación por medio de curvas de nivel de la superficie de capa obtenida a partir del modelo 3-D de la misma. En la figura 5, sobre la misma representación, se superpone una posible disposición de varios paneles de explotación. En los apartados siguientes se muestra cómo se valora esta alternativa ayudándose de los programas de diseño gráfico.



*Figura 4: Representación de la capa en 3-D y 2-D*

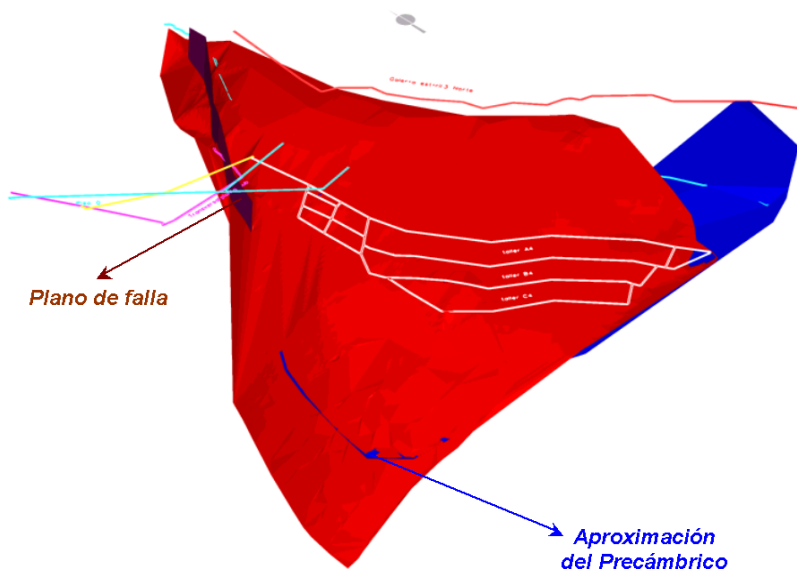


*Figura 5: Ejemplo de una alternativa de disposición de los paneles*

## Análisis de la geología

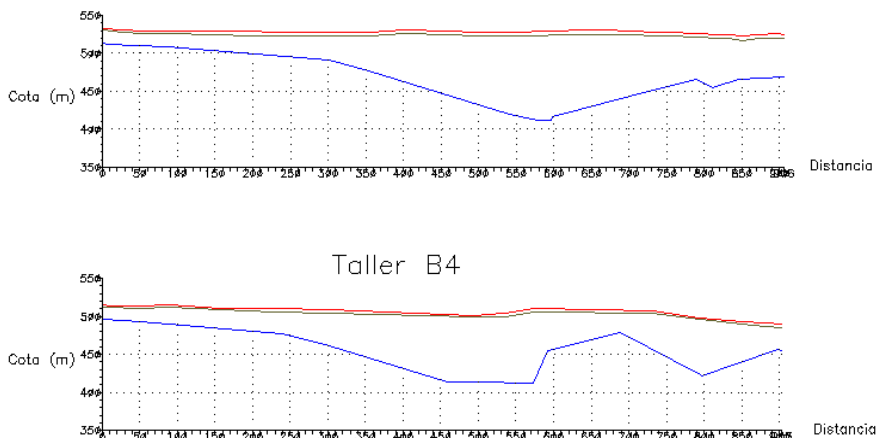
En la figura 6 se muestra el modelo 3-D del yacimiento con los paneles definidos previamente. El programa se ha utilizado en este caso extrapolando resultados, de manera que el modelo se extiende más allá de la frontera formada por los puntos que se tomaban como datos. Las fallas siempre son una fuente de problemas en las minas y ocasionan graves trastornos en la explotación. Así rompen la continuidad de la capa con lo que aumenta el número de veces que se ha de proceder al montaje/desmontaje de los equipos, o son zonas fracturadas que requieren un sostenimiento más pesado y por lo tanto más caro o contribuyen a la entrada de agua a la explotación. La figura pone de manifiesto que, en este caso, la falla sólo tiene importancia en una zona del yacimiento diferente a aquella en la que se han definido los paneles, no debiendo esperarse entonces problemas derivados de ella.

Así mismo, en la mina se tiene la experiencia de que cuando el paleorelieve precámbrico se aproxima a la capa (en verdad cuando ésta sedimentó sobre una zona alta de dicho paleorelieve) suelen aparecer estériles a muro de la capa disminuyendo la calidad del mineral. En la misma figura 6 se pone de manifiesto que la posible aproximación del precámbrico ocurre en una zona alejada a la de explotación. A este respecto cabe decir que aunque estas herramientas informáticas son muy potentes, han de utilizarse con precaución y apoyándose en la experiencia minera. Así, por ejemplo, en la interpretación de resultados hay que tener en cuenta que las capas de carbón tienen un origen sedimentario y, salvo fallas, hay continuidad en ellas por lo que la extrapolación a partir de unos datos conocidos es fiable. Ahora bien, un paleorelieve tiene un origen más aleatorio, pues resulta de la erosión de la superficie terrestre, pudiendo encontrarse entonces puntos singulares (como de hecho hay en esta mina) que no se ajustan con tanta precisión a las estimaciones hechas con el programa.



*Figura 6: Modelo 3-D con la capa, los paneles, el precámbrico y la falla*

Otra opción interesante de estos programas es la posibilidad de realizar cortes o perfiles. Definiendo una línea y una dirección, el programa automáticamente nos da el perfil generado sobre las superficies por la proyección de esa línea en esa dirección. En la figura 7 se han obtenido los perfiles a lo largo de las galerías que definen uno de los paneles señalados (se aprecia la distancia del precámbrico a la capa de carbón).



*Figura 7: Distancia del precámbrico a la capa de carbón*

## Diseño de la mina

Esta opción que se tiene para realizar perfiles es de gran utilidad a la hora de diseñar la mina y valorar una posible alternativa en la disposición de un panel de explotación. Por ejemplo, el transporte del mineral por las galerías se lleva a cabo por medio de cintas transportadoras que admiten una pendiente máxima de unos 12°. Utilizando el programa de diseño gráfico, se pueden obtener perfiles a lo largo de las galerías y con ellos se puede comprobar si la inclinación de la galería sobrepasa ese límite en algún punto en cuyo caso se procederá al re-diseño de la infraestructura y definición de otra alternativa.

Por otra parte, el rendimiento de la maquinaria empleada en el arranque de mineral varía con la inclinación de la capa (medida según su máxima pendiente). De nuevo se puede utilizar el programa en la obtención de perfiles transversales a la dirección de avance de la explotación que nos permitan conocer de antemano las pendientes en las que se moverá la maquinaria.

En la figura 8 se muestran varios perfiles obtenidos a partir del modelo 3-D. Tres de ellos son longitudinales y se han hecho siguiendo la traza de las tres galerías que definen los dos paneles. El cuarto es un corte transversal (en rojo en dicha figura) que nos define la pendiente lateral de la capa y que repercutirá en el rendimiento de la maquinaria.

La bondad del método se comprueba al comparar el perfil longitudinal de la galería realmente medido en la mina con el que se predijo con el programa (figura 9).

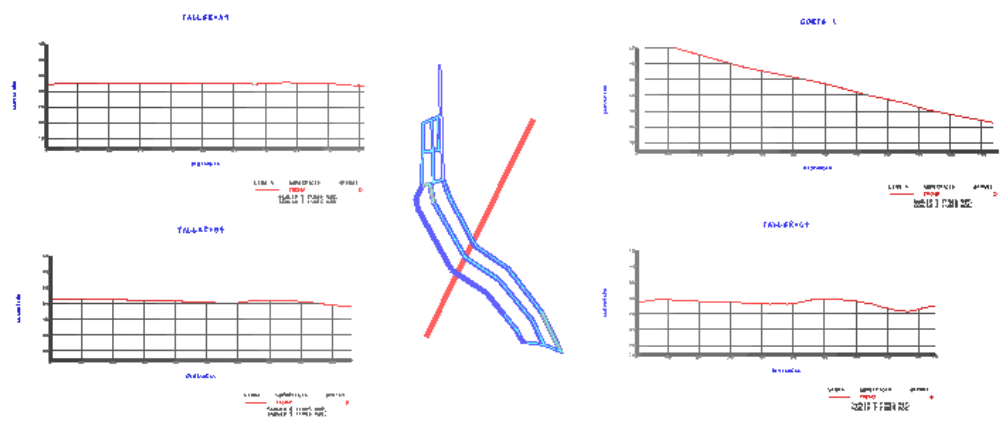


Figura 8: Análisis de pendientes de galerías y tajospor medio de perfiles

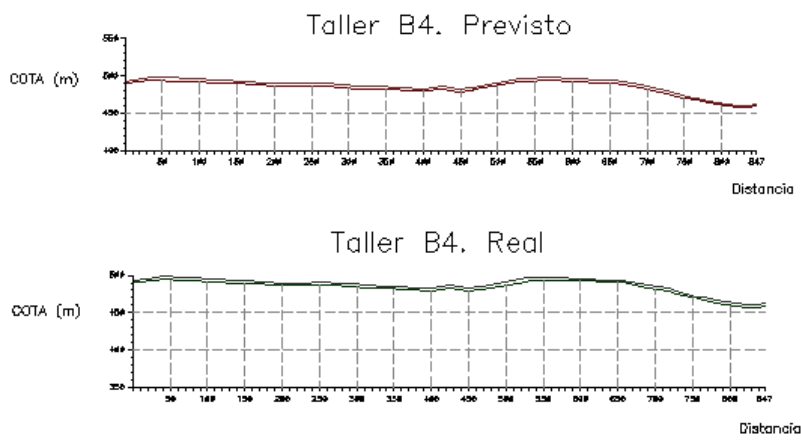
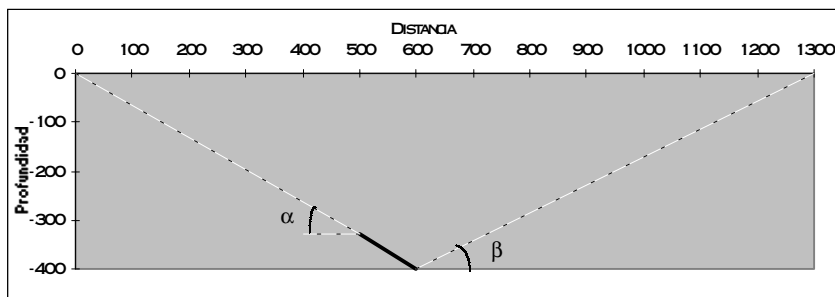


Figura 9: Perfil longitudinal de una galería (previsto y real)

### Influencia en superficie

Cuando se extraen grandes cantidades de mineral del subsuelo, ha de estudiarse sobre qué zona en la superficie puede llegar a haber algún tipo de afección (hundimientos, deslizamientos,...etc). También en este caso resulta de gran utilidad el modelo 3-D. Para ello hay que tener en cuenta que cuando se explota una capa de carbón, la zona de afección en superficie alcanza una extensión definida por los ángulos límite o de influencia (figura 10). Para determinar la extensión de dicha zona se aprovecha la utilidad del programa para formar intersecciones entre planos y

superficies. Desde los límites del panel se definen planos con una inclinación dada respecto a la horizontal y se determina la intersección con la superficie del terreno.



*Figura 10: Influencia de una explotación en superficie*

En la figura 11 se muestra una fotografía aérea y en la 12 la zona de afección estimada para distintos valores de los ángulos de influencia y una fotografía aérea de la zona. Se comprueba que dentro de los límites de la influencia de la explotación minera existe un núcleo rural. Normalmente esto exigiría un profundo estudio de los daños que se podrían causar a las edificaciones. En este caso en particular, dicho estudio no fue necesario al ser el pueblo propiedad de la empresa y estar deshabitado.



*Figura 11: Fotografía de la superficie sobre las explotaciones mineras*



*Figura 12: Zona de influencia de las explotaciones mineras*

## 4. Conclusiones

La explotación de un yacimiento minero conlleva una gran inversión lo que implica que, para minimizar el riesgo de dicha inversión, se ha de llevar a cabo un importante estudio previo que integra tanto la investigación del yacimiento como la planificación de la mina futura. Hoy en día este tipo de estudios se realizan ayudándose de programas de diseño gráfico los cuales son una herramienta muy importante, imprescindible en muchos casos, que ahorra tiempo y que añade precisión y rigor a la hora de evaluar el yacimiento y de diseñar la infraestructura minera.

En el presente trabajo se ha descrito brevemente la utilización de programas de diseño gráfico en la investigación de un yacimiento de carbón y el diseño de la explotación minera resolviendo problemas como la evolución de la capa en profundidad, la disposición espacial de los paneles de explotación , o las posibles influencias de la explotación en superficie.

## Referencias

BUSTILLO, Manuel y LÓPEZ, Carlos. *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Entorno Gráfico, Madrid 1997

CONSEJERÍA DE INFRAESTRUCTURAS Y POLÍTICA TERRITORIAL del Principado de Asturias. Mapa Topográfico del Principado de Asturias escala 1:5000. Oviedo, 2000.

BENTLEY SYSTEMS INC. MicroStation 95, User's Manual. PA, USA, 1995

INTERGRAPH CO. Working with Site Works Select Cad. AL, USA, 1998.





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CREACIÓN DE ENTORNOS 3D PARA UN SIMULADOR DE CONDUCCIÓN DE AUTOMÓVILES

MORER CAMO, Paz (1); NAYA VILLAVERDE, Miguel Angel (1);  
MONZÓN GÓMEZ, Luis (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de A Coruña, España  
Escuela Politécnica Superior  
[pmorer@udc.es](mailto:pmorer@udc.es)  
[minaya@cdf.udc.es](mailto:minaya@cdf.udc.es)

### RESUMEN

El objeto de este trabajo se centra en el desarrollo de una herramienta que permita cargar diversos entornos 3D, con cierto grado de realismo, y de los que se pueda obtener información geométrica del terreno, de manera que, en cada punto, se pueda saber con precisión las características que lo determinan. Esta información será utilizada para resolver las diferentes posiciones del vehículo, partiendo de unas fuerzas iniciales, velocidad, ... y obteniendo una respuesta en tiempo real. Financiado por la CICYT en el periodo 2001-03.

**Palabras clave:** Visualización de entornos 3D. Tiempo Real. Sistemas multicuerpo.

### ABSTRACT

This job has the purpose of developing a tool that allows loading different 3D worlds, with information about terrains, textures, culture, and vegetation; so we can know with certain precision their geometric characteristics, place a car in this geometry; and drive it on the terrain with extern hardware. This job was financed by CICYT during the period 2001-2003.

**Key words:** Visualization of 3D world. Real Time. Multibody Systems.

## **1. Introducción**

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto “Un entorno unificado de simulación para la dinámica en tiempo real de sistemas multicuerpo con análisis tensional y control” financiado por la CICYT para el trienio 2001-2003.

Su objetivo es la creación de entornos 3D de propósito general, que permita visualizar diversos terrenos, a partir de datos geoespaciales y distintos modelos de vehículos, sin necesidad de tener que volver a reprogramar el código adecuándolo a los nuevos datos. A su vez se pretende controlar el vehículo mediante un hardware externo que permita “conducir” por ese terreno.

Se parte de un modelo de simulación del control del automóvil, correspondiente a un vehículo experimental del Laboratorio de Ingeniería Mecánica. La programación se ha desarrollado sobre las librerías gráficas del Virtual Terrain Project y OpenScene Graph, en un entorno de Microsoft Visual C++.

Otros trabajos realizados en esta línea y pueden verse en [1]

## **2. Herramientas Utilizadas**

Existen numerosas herramientas, que permiten la generación de entornos 3D, la mayoría de ellas están basadas sobre las librerías gráficas de OpenGL, actualmente un estándar en gráficos, y soportada por la mayoría de las tarjetas gráficas y los diferentes sistemas operativos. Entre ellas podemos citar: “Open Inventor”, “Open Performer”, OpenScene Graph”, “The Mesa 3D Graphics Library”, entre otros.

Entre las diferentes opciones se ha optado por VTP “Virtual Terrain Project” [2], al tratarse de un conjunto de librerías gráficas de alto nivel, desarrolladas con el objetivo de facilitar la creación de nuevas herramientas que permitan la representación de cualquier parte del mundo real, en formato 3D digital e interactivo, de una manera sencilla y rápida.

“Virtual Terrain Project” supone una puesta en común y conjunta del CAD, GIS, Simulación, Topografía. Los campos de aplicación varían desde el turismo virtual, los impactos de la construcción en determinados entornos, la educación en temas geográficos, la visualización de la climatología, juegos, etc.

El código es abierto y de libre distribución. Ofrece un conjunto de herramientas de programación “VTP ToolBox” y una aplicación abierta “VTP Enviro” para trabajar con mapas de terrenos.

La siguiente figura muestra la jerarquía establecida de las herramientas desarrolladas. Las aplicaciones Enviro y VTBuilder se desarrollan sobre la librería vtlib y las librerías wxWindows, estas últimas permitirán desarrollar el código de programación referente al interface y dialogo del usuario con la aplicación.

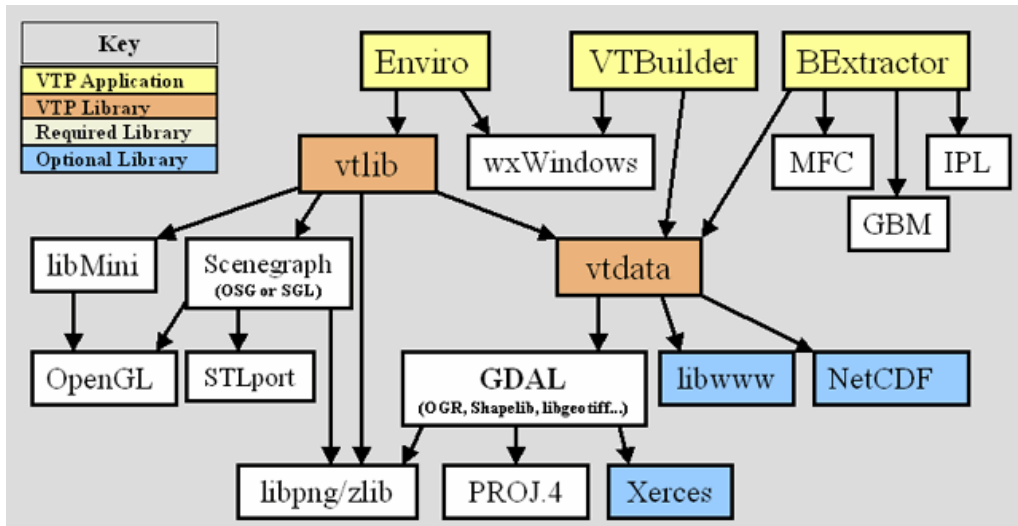


Figura 1: “Diagrama de la jerarquía de las librerías gráficas”

vllib (propia del VTP) recoge la librería de construcción de terrenos y renderizado 3D, la librería vldata (también desarrollada por VTP), incluye las operaciones 2D y datos geospaciales, y el resto son de libre distribución: las librerías libMini: se ocupa de la triangularización del terreno, STLport: aporta seguridad y mejora en el rendimiento, Gdal: librería utilizada para la lectura de datos geospaciales, etc. La siguiente figura muestra la relación entre las principales clases empleadas en vllib, siguiendo un orden jerárquico.

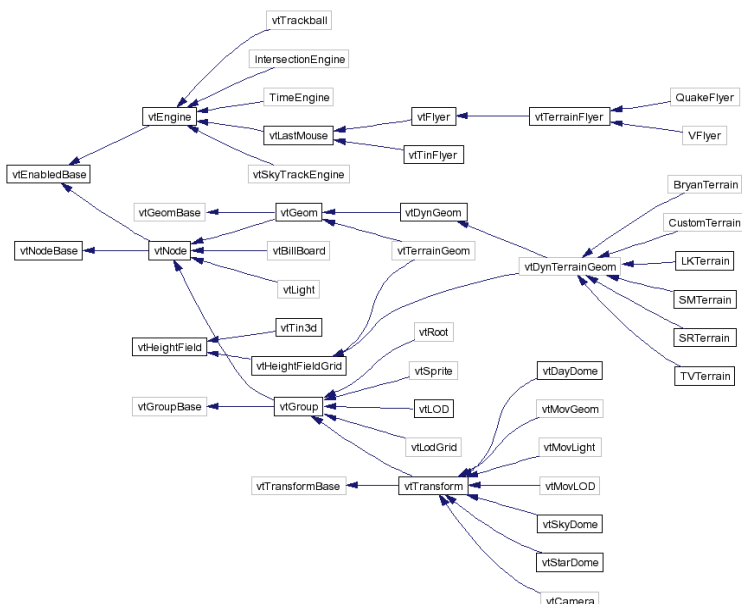


Figura 2”Jerarquía de las clases de vllib”

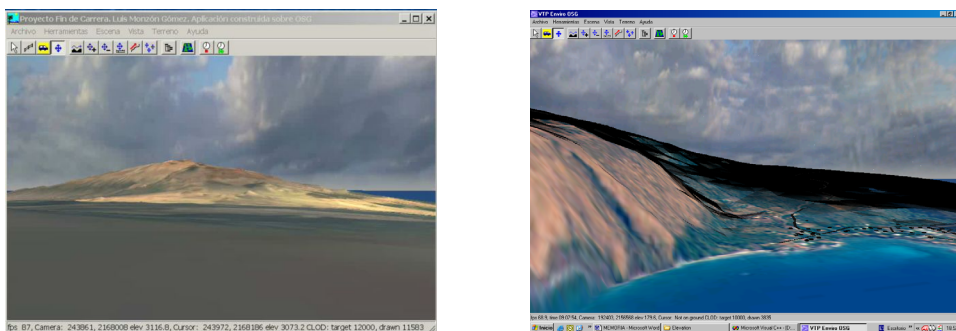
A la par que se ha desarrollado la aplicación sobre estas herramientas, se han utilizado programas de Cad comerciales para la modelización de elementos, como es el caso de los modelos de automóviles, en el que se distinguirán las partes fundamentales para el propósito que nos concierne: como son el chasis, carrocería interior y exterior y las ruedas. Estos programas de Cad se refieren al 3D-Studio, y el Rhinoceros, este último utilizado como intercambiador de ficheros.

Por último, la plataforma sobre la que se ha desarrollado este trabajo es el entorno de programación Visual C++ y Visual Fortran, debido a que la programación correspondiente a la parte gráfica se realiza en C++, mientras que el desarrollo correspondiente al cálculo de la dinámica se ha realizado en Fortran.

### 3. Creación del Entorno 3D de la Simulación

Los datos del terreno se presentan en varios archivos de distintos tipos de formatos. Un tipo de archivos contendrá la información sobre la geometría del terreno, este tipo de archivos los distinguiremos por la extensión .bt, Este formato se comenzó a diseñar en 1997 ante la precariedad existente a la hora de encontrar formatos para el trabajo con mallas de generación de terrenos. Los formatos estándar existentes entonces .dem (USGS Digital Elevation Model) [3], tan sólo eran adecuados para terrenos de tamaño estándar. Se trata de un formato simple, compacto, y fácil de leer y escribir, flexible en lo que se refiere al tamaño de terrenos y los sistemas de coordenadas a emplear.

Los terrenos que requieren una definición más compleja tienen asociados un fichero de proyecciones de extensión .prj, de mismo nombre y situados en el mismo directorio. Estos ficheros contienen una descripción del sistema de coordenadas empleado en la proyección de los datos geoespaciales.



*Figura 2: “Ventanas de visualización de un entorno”*

El resto de los archivos deberán almacenar la información sobre la textura del terreno, en formatos .jpg, .bmp, o sobre las imágenes relativas al cielo, o información sobre carreteras, vegetación, edificios, ...

Al comenzar la aplicación se selecciona un fichero de extensión .ini, el cual recoge la información concreta de la ubicación de los ficheros .bt, .prj, .jpg, .bmp, el

nivel de detalle, etc. En el conjunto de la programación podremos distinguir tres grandes bloques en los que se podrán agrupar las diferentes rutinas:

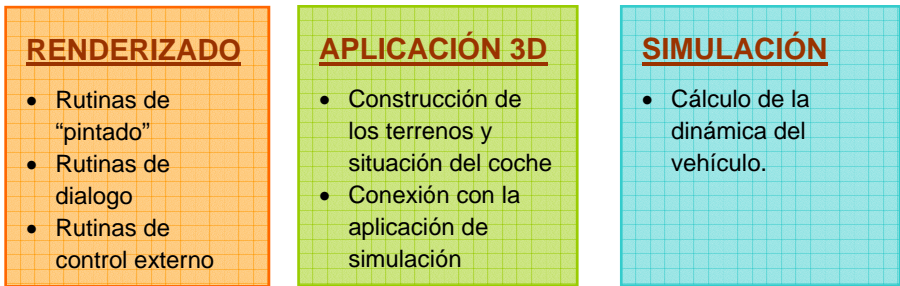


Figura 4: “Distribución del source en bloques”

Cabe destacar el carácter modular que tiene este programa de simulación, lo cual le otorga una gran capacidad para la ampliación de funcionalidades en un futuro próximo. En el bloque que hemos denominado “renderizado”, se agrupan las capacidades del programa para establecer un diálogo con el usuario, tanto al inicio de la aplicación como a lo largo de su ejecución. Estos diálogos se llevan a cabo con las librerías wxWindows [4], mediante ventanas, menús desplegables, lectura de eventos del ratón, o mediante teclado etc. Para la lectura de los datos introducidos con el volante, se han desarrollado sus propias rutinas, siendo necesarios los drivers específicos del hardware utilizado.

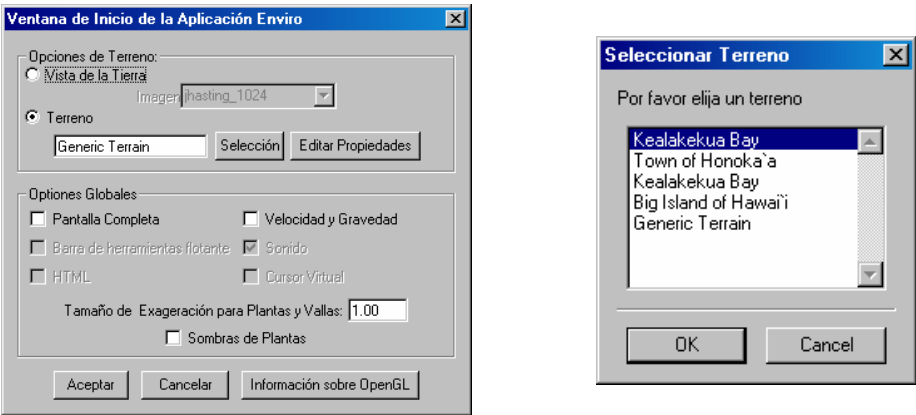


Figura 5: “Ventana de diálogo de inicio”

4. Conexión del Entorno 3D con la Simulación Dinámica del Automóvil

Creado el entorno y abierta la aplicación, es necesario situar en ese entorno el automóvil, punto que se lleva a cabo de una manera sencilla, mediante un simple

“clicado” con el ratón sobre el terreno. El hecho de “picar” un punto nos permite situar el coche respecto a un origen relativo de coordenadas, sin necesidad de saber con anterioridad su situación inicial. Esta opción da una gran libertad, tanto de elección de entornos, como de modelos de automóviles, y de puntos de partida de la simulación.

Situado el automóvil, es necesaria una conexión con el módulo que realiza el cálculo de la dinámica del vehículo. En el primer instante, una vez elegido mediante el ratón la posición de la que partirá el vehículo, el modelo calcula la posición, velocidad y aceleración inicial del coche teniendo en cuenta el terreno sobre el que está colocado y las fuerzas que actúan sobre él.

El vehículo simulado corresponde a un prototipo construido en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica, formado por un chasis de tubo de acero, y en el que el resto de los elementos (motor, suspensiones, dirección, ruedas, etc.) han sido adaptados a partir de componentes de vehículos comerciales. La simulación es capaz de representar en tiempo real las características no lineales de los elementos del prototipo. Para las ecuaciones del movimiento se ha utilizado una formulación de Lagrange aumentado de índice 3, siguiendo los algoritmos desarrollados en el Laboratorio [4-5]. El modelo del sistema mecánico resultante consta de 44 puntos, 7 vectores, 1 ángulo y 5 distancias, lo que supone un sistema con 159 variables que se resuelve con un paso de tiempo de 0,01 s. El par del motor se calcula a partir de las curvas de par del motor real, el contacto neumático suelo se obtiene mediante la “Formula Mágica” de Pacejka [6] a partir de los coeficientes suministrados por el fabricante y las fuerzas de frenado se han calculado teniendo en cuenta que el vehículo está dotado de frenos de disco en las cuatro ruedas.

El siguiente gráfico muestra el diagrama del proceso a seguir de la simulación. En él se pueden ver tres funciones importantes, que son las puertas de entrada y salida de la simulación gráfica con las rutinas de la simulación dinámica, que son las rutinas INI, CALCULO, y SUELO. La rutina INI se emplea para obtener la posición, la velocidad y la aceleración iniciales del vehículo. La rutina CALCULO se encarga de calcular el movimiento real del vehículo (posición, velocidad y aceleración de todos los puntos) y las fuerzas internas en algunos elementos como los amortiguadores, para cada paso de tiempo, teniendo en cuenta las fuerzas exteriores que actúan sobre él, y los diferentes eventos introduce el conductor.

# APLICACIÓN DEL SIMULADOR

## DIAGRAMA DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

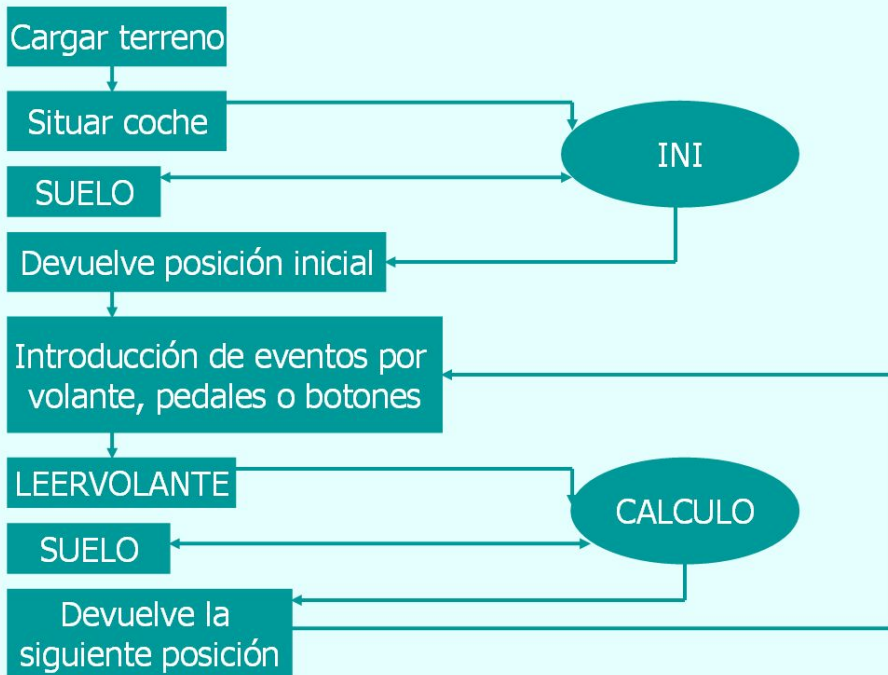
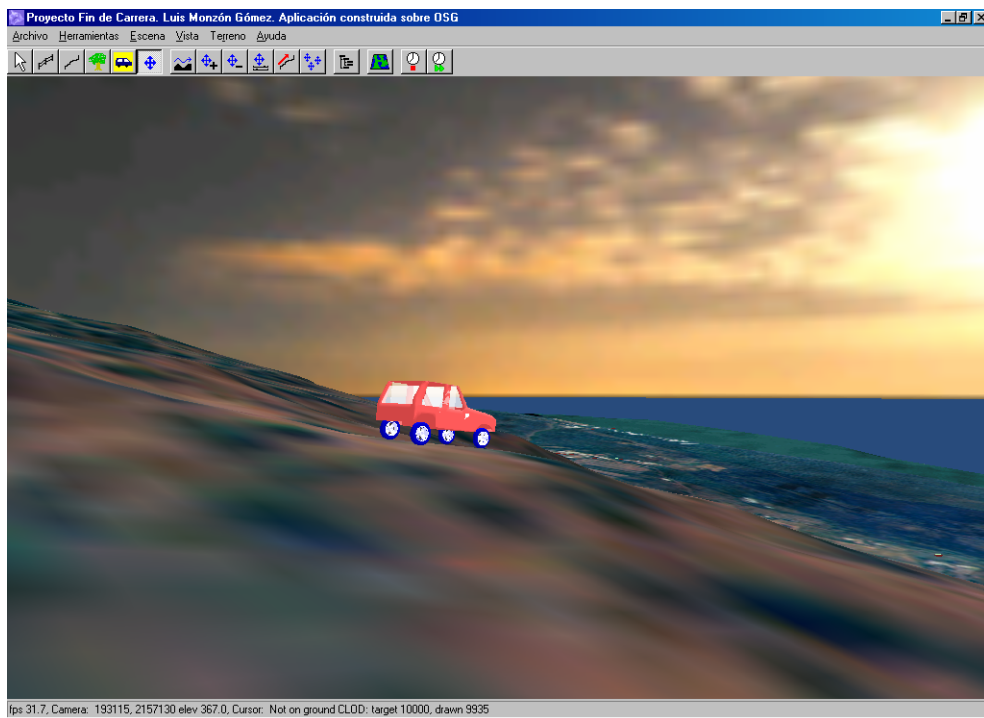


Figura 6. "Diagrama del proceso de simulación"

Un aspecto muy importante es la determinación de la altura del terreno sobre el que se apoya el vehículo. Esta información es suministrada por la subrutina SUELO. Esta función es llamada desde Fortran a C++. La función en Fortran que se ocupa del cálculo, envía una posición conocida (x,y), posición leída por la subrutina SUELO la cual devuelve, para ese x e y, la altitud y la normal al terreno en ese punto. Datos necesarios para poder proseguir el proceso de cálculo. La obtención de la altitud se realiza a partir de la información del mallado del terreno. El mallado es dividido en un número dado de columnas (Este-Oeste) y filas (Norte-Sur), de una extensión definida. El primer chequeo que se deberá realizar es si el punto dado es interior al área rectangular total de la malla de datos. Es un chequeo de seguridad. Una vez pasado el chequeo se delimita el cuadrado de la malla en el que se encuentra dicho punto. Dicho cuadrado es dividido en dos triángulos por lo que se vuelve a chequear a cuál de las dos áreas triangulares pertenece. Determinada ésta, se obtiene el producto vectorial de los tres vértices que determinará la normal. A partir de la información de los datos de las alturas de los tres vértices se hará una media ponderada para obtener la altitud.

Abierto el entorno y situado el automóvil en la posición inicial, éste es “conducido” mediante un hardware externo: un volante y unos pedales que realizan el juego de acelerador y freno. El cambio de marchas, equivalente al de un vehículo automático, es manejado desde uno de los botones que dispone el volante. Además, al resto de los botones del volante se les ha asociado diferentes cámaras o puntos de vista. Para cada nuevo evento, introducido por el giro del volante, o la introducción de una aceleración o desaceleración, por medio de los pedales, el sistema calcula la nueva posición de acuerdo a estos eventos, la geografía del terreno y, las condiciones del sistema cuerpo.



*Figura 7. “Conducción del automóvil en el terreno”*



## 5. Conclusiones o Consideraciones Finales

Se ha conseguido un avance respecto a trabajos anteriores, al dotar de más capacidades al simulador, consiguiendo actuar sobre terrenos de geografía diferentes, sin necesidad de tener un suelo predefinido para la computación. El proceso de conducción del vehículo se realiza de una manera interactiva mediante un hardware externo fácilmente adquirible en el mercado. La estructura de la programación hace que sea ampliable en el futuro con nuevas funcionalidades.

Como líneas futuras se pretende incorporar hardware específico, como son los cascos de realidad virtual y guantes de datos, que permitan visualizar en un entorno inmersivo el simulador, así como su conducción por el movimiento de las manos. Se pretende cargar entornos en los que se aprecien zonas más urbanizadas, por lo que se introducirá el estudio de colisiones, estado de las superficies sobre las que circula el automóvil, influencia de los estados climatológicos, introducción de avatares, etc.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de Ben Discoe, impulsor del portal de VTerrain.org. Así mismo agradecemos al grupo del Laboratorio de Ingeniería Mecánica del departamento de ingeniería industrial II que ha colaborado en diferentes etapas de este trabajo. Y a la CYCIT que ha subvencionado el proyecto.

## Referencias

- [1] <http://lim.ii.udc.es/research.es.html>
- [2] <http://www.vterrain.org>
- [3] <http://www.usgs.gov/>
- [4] <http://www.wxwindows.org/>
- [5] J. Cuadrado et al., "Modeling and Solution Methods for Efficient Real-Time Simulation of Multibody Dynamics", *Multibody System Dynamics*, **Vol.** (1) (1997) p. 259.
- [6] J. Cuadrado et al., "Intelligent Simulation of Multibody Dynamics: Space-State and Descriptor Methods in Sequential and Parallel Computing Environments", *Multibody System Dynamics*, **Vol.** (4) (2000) p. 55.
- [7] BAKKER, E. Y PACEJKA, H.B., (1991) "The magyc formula tyre model", *Tyre modelling for dynamics analysis, Proceedings 1st International Colloquium on Tyre Models for Vehicle Dynamics Analysis*, Delft, Netherlands, October 21-22, Supplement to Vehicle System Dynamics, Vol. 21, pp. 1- 18.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO DE ELEMENTOS VOLUMÉTRICOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL

SENTANA GADEA, Irene; SENTANA CREMADES, Eloy; PÉREZ CARDA, Jorge

<sup>(1)</sup>Universidad de Alicante, España

Escuela Politécnica Superior. Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía

Correo electrónico: [irene.sentana@ua.es](mailto:irene.sentana@ua.es)

### RESUMEN

El objeto de la presente ponencia es mostrar la investigación y el desarrollo realizado sobre el diseño de un eco-depósito para satisfacer las necesidades de una recogida selectiva de residuos en la industria del automóvil.

La justificación de la geometría final adoptada y los modelos, son consecuencias de las premisas expresadas de un estudio previo sobre residuos generados por industrias del automóvil y al que nos remitimos.

Se fueron realizando diferentes diseños y propuestas, que analizados con los representantes de FEMPA y el equipo de trabajo, dio lugar un diseño definitivo que se desarrolló como prototipo.

Realizado un primer prototipo del modelo más complejo, se fueron recogiendo las diversas mejoras y simplificaciones, de manera, que el modelo definitivo recogiera, además de sus condiciones de operatividad y estética, las mejores condiciones técnicas y económicas para su fabricación de manera que fueran competitivos en el mercado.

Se definen junto con el diseño geométrico las características técnica que permiten su construcción.

**Palabras clave:** Diseño en ingeniería. Diseño del producto. Contenedor. Eco contenedor. Residuos. Industria del automóvil.

### ABSTRACT

The main objective of this work is to show the investigation and development about an eco-container design to collect the specific garbage in automobile industries.

Definitive geometry and different models are cradle in previous study about waste materials in these kinds of industries.

There were different designs, and after to examine with different representative of Fempa, Innove Verda, University of Alicante, we choose de best initial solution.

Using concurrent engineering and Cad Systems we can follow the evolution from the initial design and the last plans for the execution.

**Key words:** Engineering Design, product design, Container, toxic waste, ecocontainer, automobile industry.

## **1. Introducción**

Para la mejora y sostenibilidad del medioambiente, la Federación de Empresarios del Metal de la Provincia de Alicante- FEMPA- propone el diseño de unos eco-contenedores para la recogida de residuos de los talleres de reparación de automóviles.

El objeto final es el diseño geométrico y la definición de las características técnicas que permitan la construcción de los eco-depósitos, de manera que se adapten a las necesidades específicas de estas instalaciones, teniendo en cuenta aspectos de los residuos a eliminar, seguridad, ubicación y facilidad de recogida así como la optimización del espacio.

## **2. Metodología de trabajo**

Para la resolución del proyecto tecnológico se han seguido las fases fundamentales, teniendo en cuenta además la importancia de la Ingeniería Concurrente, por ser un proyecto de participación de diferentes empresas y técnicos (Universidad de Alicante, FEMPA, Innove Verda).

Para el desarrollo del proyecto se han seguido las siguientes fases:

- Planteamiento e identificación del problema
- Búsqueda de soluciones de diseño
  - Ideas preliminares
  - Diseño básico inicial
  - Análisis del diseño
  - Diseño definitivo
- Documentación

### 3. Identificación del problema. Datos de partida

Diseño de un eco-depósito para la mejora de la recogida de los residuos que generan los talleres de reparación de automóviles de una forma integral, de manera que se consiga una buena gestión de eliminación de residuos desde el punto donde se generan.

Los datos previos para el diseño se obtuvieron de un estudio previo, realizado por Innove Verda “Estudio de los residuos de los talleres de automoción de la provincia de Alicante. Soluciones para la gestión. Requisitos para el diseño de un eco-depósito”. En este estudio, se analizó la situación actual de los talleres en relación con la tipología, cantidades almacenadas, frecuencia en la recogida, gestión actual de los residuos generados y necesidades futuras en función de la legislación medioambiental vigente.

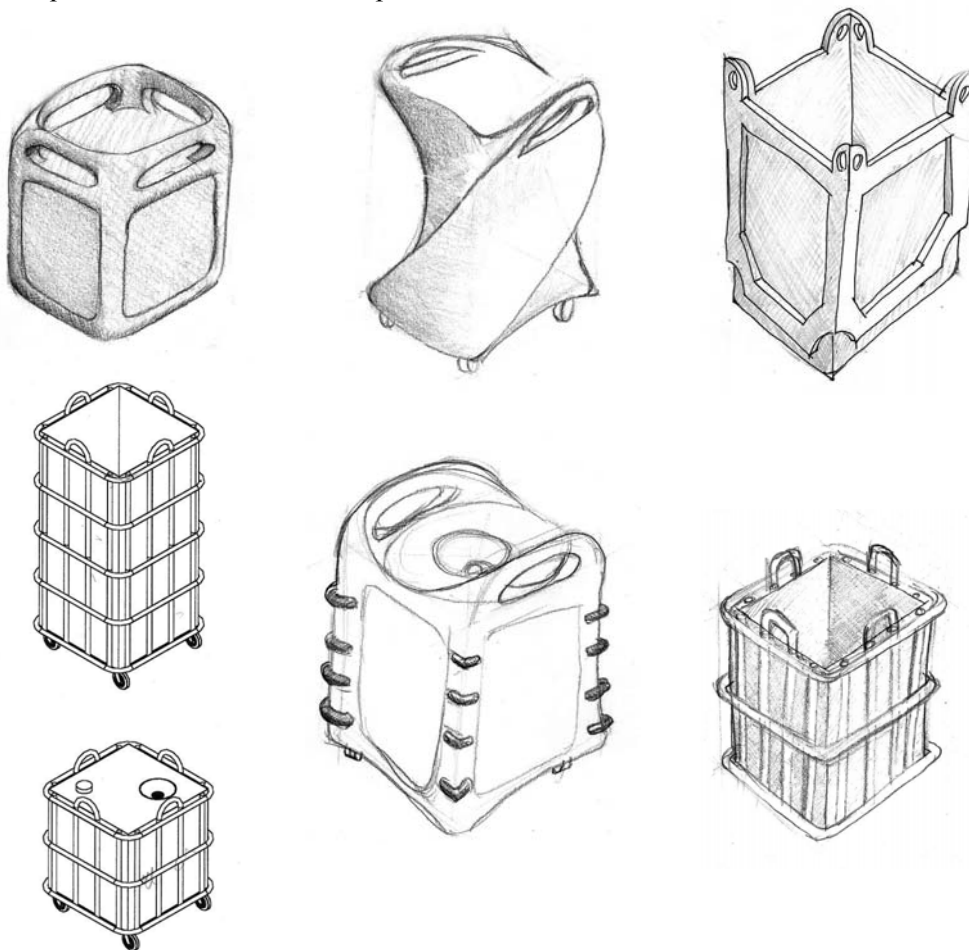
El estudio fue realizado sobre 200 talleres, detectando 30 categorías distintas de residuos identificados, el 66 % de estos productos quedan clasificados como Residuos peligrosos. Las cifras piloto de recogida de residuos, se estimaron en unas 53 T/mes en los 200 talleres estudiados.

Los requisitos iniciales de los eco-depósitos deberían atender a:

- El diseño debe cubrir las necesidades de un número elevado de pequeños talleres, donde deberá haber una solución de instalación no fija.
- Debe cumplir la legislación de residuos tóxicos y peligrosos.
- El diseño debe ser selectivo y poco voluminoso, ya que el espacio disponible en los talleres es muy reducido.
- Modular: Adaptable a las necesidades de cada taller. La generación de residuos es variable. Dispositivo de minimización de volumen (prensas).
  - Por categorías de residuos
  - Espacio disponible para almacenamiento
- Con movilidad, facilidad de carga y descarga.
- Resistente a golpes.
- Dispositivos de seguridad (prevención de emisión y fugas accidentales, recogida de fugas), así como de salud y seguridad en el trabajo.
- Fácil identificación del contenido.
- Coste razonable, lo que permita su construcción a gran escala.

#### 4. Búsqueda de soluciones de diseño

En esta etapa se realizó un diseño básico inicial, mediante la elaboración de unos croquis iniciales, numerosos borradores y propuestas, hasta conseguir un modelo inicial que sirviera como base a un primer diseño.



*Figura 1: Croquis de diseños iniciales.*

#### 5. Elección del diseño, debate y aporte de ideas

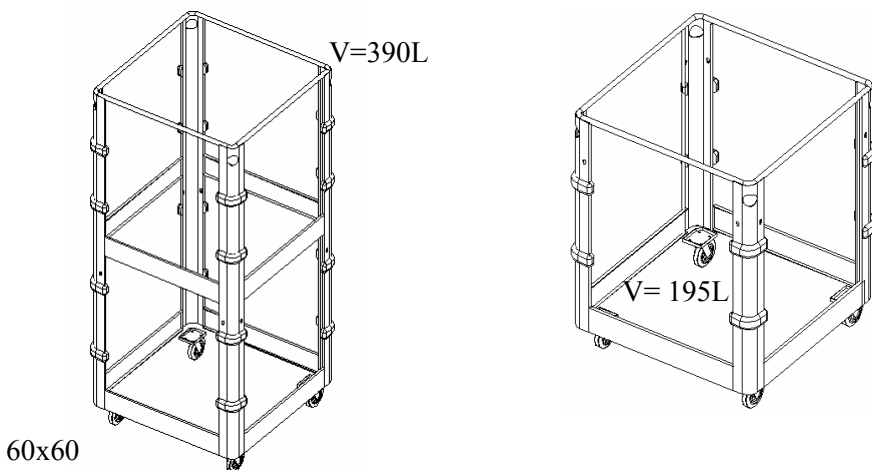
Un análisis inicial de las propuestas entre los miembros del equipo de trabajo y miembros de Fempa e Innove Verda, dio como resultado la elección de un primer diseño que cumplía las condiciones previstas.

El primer modelo fue sometido a un estudio de valoración y mejora realizado por Innove Verda, en 20 talleres, con las sugerencias de estos y un estudio de los mismos, se resolvió el diseño definitivo.

Una vez elaborado y estudiado este diseño inicial, correspondiente a Eco-Aceite 195 y Eco-Aceite 390 que más adelante se muestran, en función de los residuos a eliminar y en función de este primer diseño básico, se diseñaron un total de 7 eco contenedores diferentes que se detallan a continuación.

## 6. Diseño final, construcción y comprobación del diseño

Todos los diseños tienen una estructura básica a la que se adapta el módulo específico a excepción del módulo de baterías, es esto lo que da al diseño la característica de apilables.



*Figura 2: Estructura básica.*

El diseño del eco-contenedor está previsto se pueda configurar en diversas posiciones de situación formando un bloque entre varios de ellos, en función de las posibilidades del usuario (espacio disponible, manejo previsto, etc.) por ello existe un módulo o patrón de dimensiones 60x60 cm. que ocupa el mismo espacio en planta.

Respecto a la altura, existen dos versiones que se denominan 195L y 390L previstas para las necesidades de los usuarios en función de la producción de residuos.

La posibilidad de agruparlo en una u otra forma, queda al libre albedrío del usuario. El contenedor está previsto para su movilidad y uso dentro del taller y no para su transporte por el exterior (espacios públicos, carreteras, etc.)

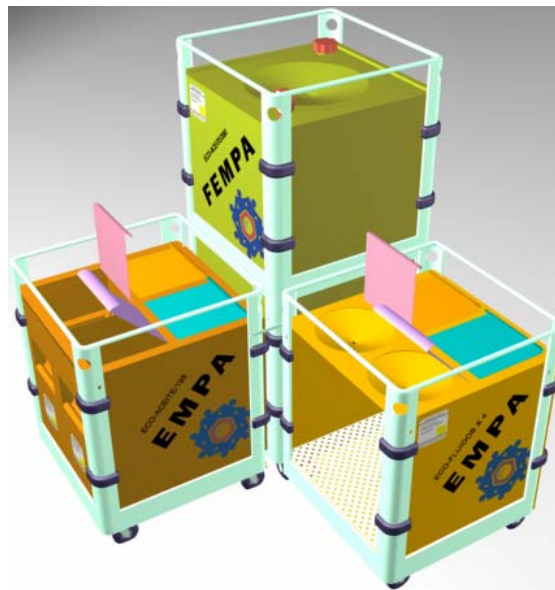
La forma geométrica general externa del contenedor es la misma, cambiando solo en su interior en función del uso para el que está previsto. Las dimensiones se indican en el plano que se acompaña.

Los diferentes eco-contenedores se pueden unir mediante un sencillo herraje que se engarza en las muescas hechas en las barras verticales.

Características técnicas de todos los eco-depósitos:

- Perfiles superior, lateral y medio de acero mínimo A42.
- Soporte y ruedas giratorias.
- Protección lateral
- Pintura al fuego con los colores indicado en “Cálculos dogmáticos del Método Santana”
- Sobre las caras principales de los contenedores se colocarán los letreros de "FEMPA" y el Anagrama correspondiente, así como los espacios correspondientes para colocar las etiquetas que identifican los residuos tóxicos.

En la figura 3, se pueden ver diferentes disposiciones de los depósitos que estarán en función del lugar disponible en los talleres.



*Figura 3: Disposición de diferentes módulos de ecocontenedores.*

## 7. Eco-contenedores diseñados

1. ECO-DEPÓSITO: Mod. ECO-ACEITE 195 L.
2. ECO-DEPÓSITO: Mod. ECO-ACEITE 390 L.

Se trata de Módulo básico para 390L o 195L la altura para 390 L es de 1,40 m. Esta es la forma externa que tendrán todos los modelos de Construido por medio de un prisma metálico de chapa de 1,5 mm de acero A-42, reforzado con laterales y esquinas de chapa conformada en frío.

Dispone de cuatro ruedas giratorias. Acabado superior con asideras para su fácil movimiento.

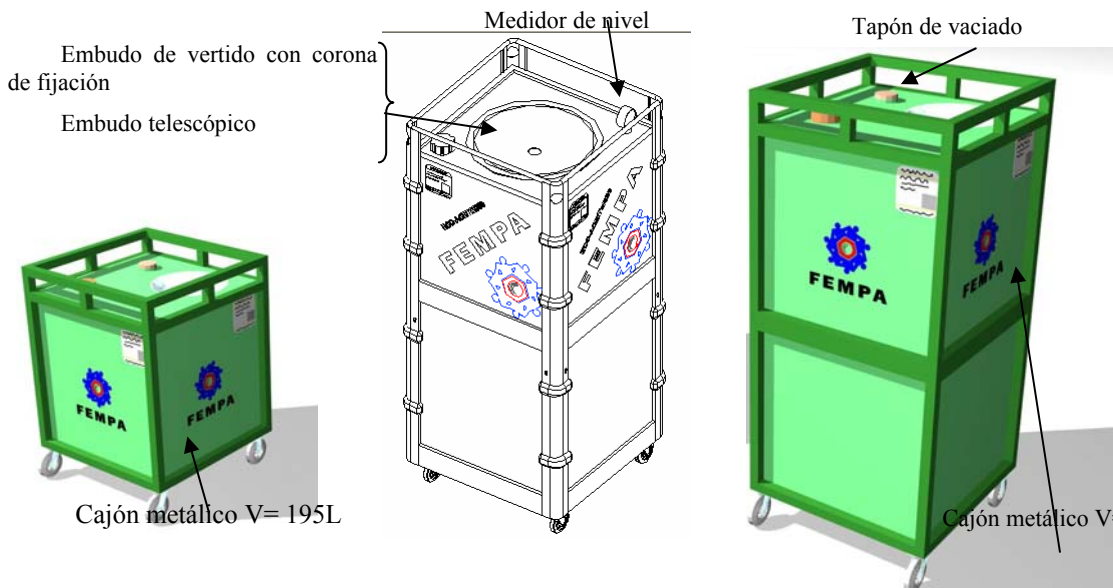


Figura 4: Muestra del conjunto inicial seleccionado, correspondiente al módulo de aceites para 195 y 390 L.

3. ECO-DEPÓSITO: Mod. ECO-BOLSA 195 L.

4. ECO-DEPÓSITO: Mod. ECO- BOLSA 390 L.

Para la recogida de cotones absorbentes y trapos. Dispone de tapa basculante metálica que sujeta la bolsa y mantiene cerrado el recipiente después de cada uso.

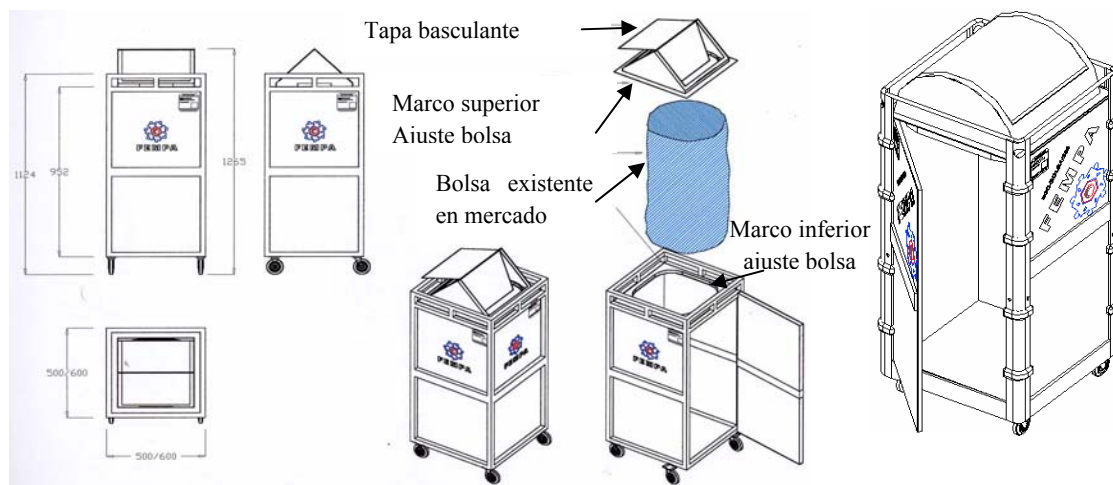


Figura 5: a) Modelo inicial de Ecocontenedor ecobolsa de 390L. b) Diseño 3D mejorado.

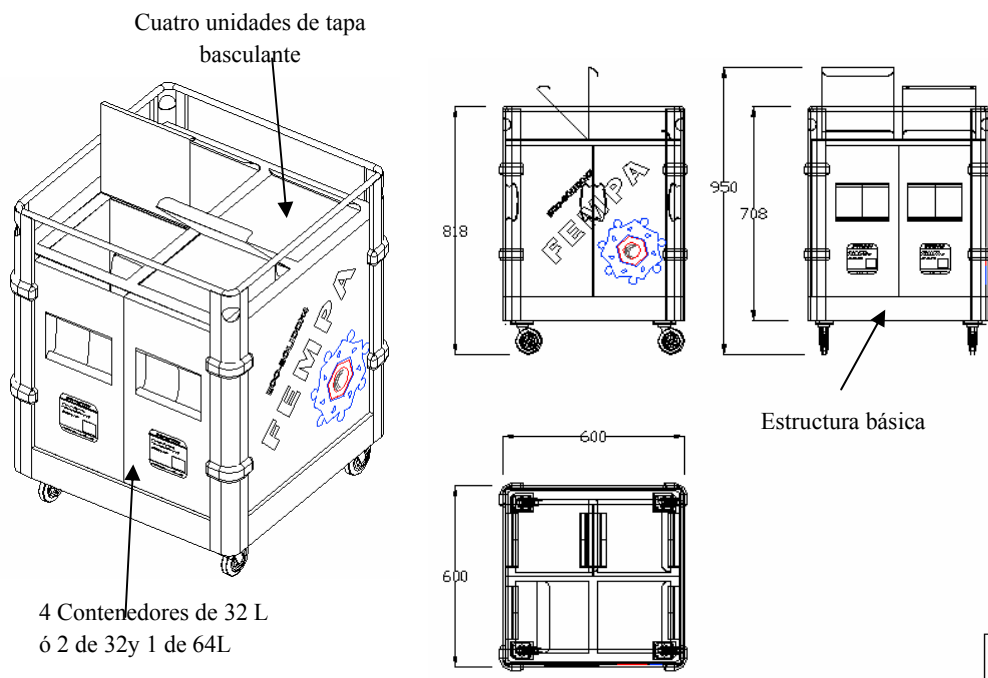


## 5. ECO-DEPÓSITO: ECO-SÓLIDO.

Módulo para almacenar en cubetos metálicos pastillas de frenos, filtros de aceite, piezas de recambio sustituidas, etc... Permite la combinación de dos tipos de capacidades 32 y 64 litros de capacidad, esto es 4 de 32 o 2 de 32 y uno de 64.

Dispone de tapas metálicas tipo bisagra de cierre horizontal con colores identificativos del producto a depositar.

Los cubetos/cajones o recipientes son extraíbles por el gestor para su posterior reposición.



*Figura 6: Modelo en 3D módulo eco-solido195L y planos 2D.*

## 6. ECO-DEPÓSITO: Mod. ECO-FLUIDO 4 X 30 L.

Módulo para almacenar recipientes de plástico tipo garrafa, garrafas estándar en el mercado (a determinar en función de volumen, máximo 30L). Estas garrafas son retornables por el gestor. Dichos recipientes se destina para recogida de líquido de frenos, líquido refrigerante, líquido ABS, etc...

Dispone de embudos con cono de cierre adaptable al embocadura del recipiente y tapas de cierre con colores identificativo del producto a verter. Los recipientes están dispuesto sobre rejilla metálica extraíble, situada sobre cubeto con capacidad de 30L. para recoger eventuales fugas. Dicho cubeto dispone en su parte mas baja de un tapón de vaciado.

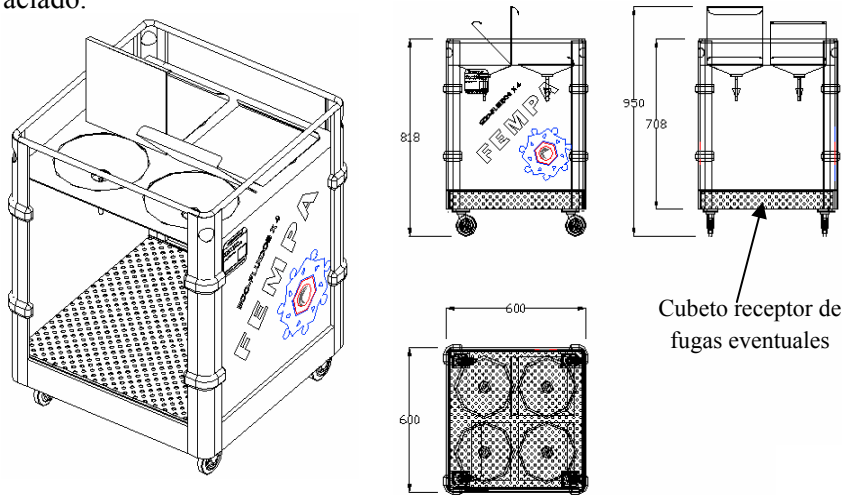


Figura 7: Ecocontenedor. Ecofluido.

7. ECO-DEPÓSITO: Mod. ECO-BATERÍAS.

Módulo soporte metálico para almacenar recipientes de plástico existente en el mercado de dimensiones 24 x 60x 80 cm., con capacidad para 12 baterías tipo medio por capa, total 36 unidades, que se almacenarían en tres alturas.

Dispone de útil a adaptar por el gestor de manera que con el camión pluma puede retirar en una sola maniobra los recipientes de plástico con las baterías y reponer por otros vacíos.

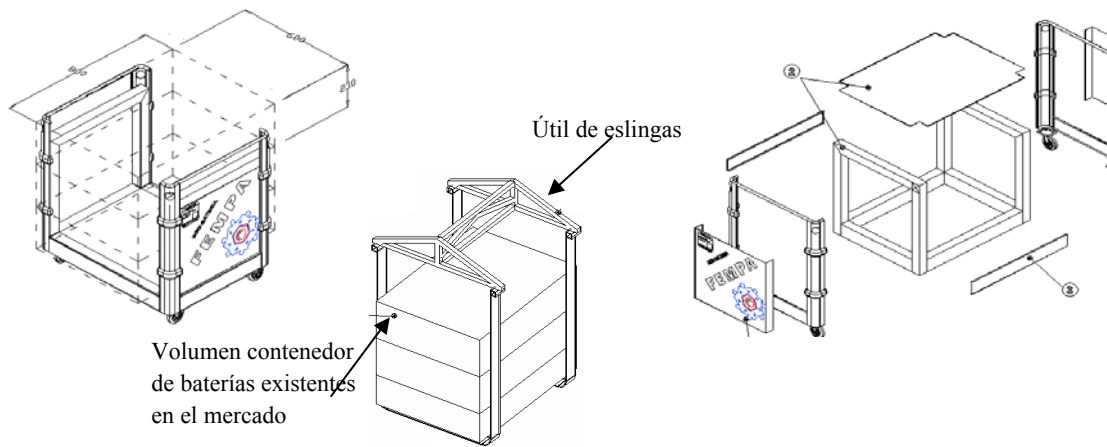


Figura 8: Modelo ecobaterías.

## **8. Conclusiones**

El desarrollo del diseño ha sido un trabajo de ingeniería concurrente donde han intervenido distintas materias de la profesionalidad del ingeniero.

El diseño de los eco-depósitos es un ejemplo práctico de aplicación de ingeniería concurrente, donde la Expresión Gráfica ha sido el vehículo para el diseño y obtención de resultados que se pretendían.

## **9. Agradecimientos**

Agradecer a FEMPA que a través del IMPIVA ha permitido que el Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía pudiera realizar el presente proyecto de investigación en el que se favorece una mejor gestión de los Residuos tóxicos y peligrosos en pro de la mejor conservación del medioambiente.

## **10. Referencias**

FEMPA. *Memoria técnica del desarrollo de Diseño de Eco-Contenedor para almacenamiento de residuos de talleres de reparación de Automóviles*. Alicante, 2003.

INNOVE VERDA. *Estudio de los residuos de los talleres de automoción de la provincia de Alicante. Soluciones para la gestión. Requisitos para el diseño de un eco-depósito*. Alicante, 2003.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE USOS DEL SUELO MEDIANTE LA SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES DIGITALES A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN DE TEXTURAS.

RUIZ LENDINEZ, Juan José (1); RUBIO CAMPOS, Tomás Jesús (2)

<sup>(1)</sup>AURTECNICA Ingeniería Cartográfica, Jaén, España  
Correo electrónico: ruilen@hotmail.com

<sup>(2)</sup>Universidad de Málaga, España  
E.T.S.I. Telecomunicación

### RESUMEN

La textura de una Imagen Digital es una propiedad que necesita del estudio y asociación de unos valores que la definan unívocamente. Una vez que se obtengan dichos valores, expresados en forma de histogramas bidimensionales, es posible la aplicación de un estadístico que establezca un criterio de similitud entre dos regiones diferentes de la imagen, posibilitando de esta manera la segmentación de la misma en función de su textura. Entre las aplicaciones cabe destacar las propuestas en el ámbito de catastro, y la elaboración de cartografía de usos del suelo.

**Palabras clave:** textura, imágenes, píxeles, cartografía, segmentación, catastro.

### ABSTRACT

The texture characterization is essential because unlike others Image attributes, such as contrast, that has its respective value associated by itself, texture needs the study and association of certain parameters which define it unanimously. Once they have been stated as two-dimensional histogram, it is possible to apply a statistical that determines a similitude standart between two different zones of the image. This way we can get its segmentation according to its texture. It is important to show up its applications within the limits of Cartographic Engineering.

**Key words:** texture, image, cartographic engineering, segmentation.

## 1. Introducción

El principal objetivo de este trabajo ha sido el de implementar un algoritmo de segmentación basado en texturas que tenga una buena velocidad de procesamiento y que permita obtener resultados favorables usando un procesador normal. Este algoritmo se desarrolla en cuatro pasos. En primer lugar, la imagen es dividida de forma jerárquica y recursiva en un conjunto de regiones de diferente tamaño que presentan una textura uniforme. Posteriormente, un segundo y tercer paso del proceso agrupa las regiones obtenidas, de una forma no supervisada, en un número correcto de clases usando un algoritmo jerárquico de crecimiento de clases y de fusión de éstas. El procedimiento de crecimiento ha sido diseñado para incrementar preferiblemente el tamaño de las regiones mayores, debido a que dichas zonas tienen más probabilidad de ser áreas de textura real de la imagen. En tercer lugar, se fusionan regiones definidas en el mismo nivel de la jerarquía que presenten un valor similar de textura, y por último, el cuarto paso realiza un procedimiento para mejorar los contornos de las regiones. Puesto que la estimación de los bordes ya ha sido compleja ya que del algoritmo anterior resultan regiones irregulares, el procedimiento se va a basar únicamente en la similitud del nivel de gris de los píxeles que forman los contornos.

## 2. Modelo de textura

Para caracterizar una textura es necesario previamente definir un vector de propiedades (texton) asociado a cada uno de los píxeles. Dicho vector sólo tiene dos elementos, el patrón binario local (LBP) y una medida de contraste (C).

Para obtener el valor LBP de un determinado píxel [1], se utilizan los 8 píxeles que forman la primera vecindad del píxel central, de modo que se compara el nivel de gris de cada uno de los píxeles que forman dicha vecindad con el nivel de gris del píxel central. En caso de que el valor de nivel de gris sea mayor o igual que el valor central se le asigna un 1, si fuera menor se le asigna un 0. Los valores obtenidos de esta umbralización son multiplicados por unos pesos dados a los píxeles y que son potencias de 2. Finalmente, los valores resultantes de la multiplicación de los ocho píxeles son sumados para obtener el valor LBP de vector texton. Para guardar información sobre el contraste de la textura, el valor LBP se combina con una simple medida de contraste llamada C, la cual es la diferencia entre el promedio del nivel de gris de aquellos píxeles que tienen el valor 1 y aquellos que tienen valor 0.

## 3. Segmentación basada en textura

La segmentación propuesta consiste en los siguientes 5 pasos:

1.- Caracterización de texturas. Debido a que la textura asociada a un simple píxel no es significativa si no se compara con sus píxeles vecinos, la imagen es descompuesta mediante una rejilla. Cada celda de la rejilla es un área rectangular que incluye un número fijo de píxeles. Su distribución LBP/C se aproxima por un histograma bidimensional discreto de tamaño  $256 \times b$ , donde 256 es el número de valores que puede tomar la variable LBP y  $b$  es el número de intervalos usados para

discretizar el valor de C. Es necesario discretizar dicho valor puesto que pertenece al campo de los reales, mientras que el valor LBP únicamente puede tomar valores discretos.

Para poder comparar distribuciones LBP/C, se define un estadístico log-probabilístico no paramétrico llamado estadístico G. El valor de G es la probabilidad de que dos distribuciones provengan de la misma área: si el valor es más alto, más baja es la probabilidad de que dos distribuciones sean de la misma región. La expresión del mencionado estadístico es la siguiente:

$$G=2\left[\left[\sum_{A,B}\sum_{i=1}^N f_i \log f_i\right]-\left[\sum_{A,B}\left(\sum_{i=1}^N f_i\right) \log \left(\sum_{i=1}^N f_i\right)\right]-\left[\sum_{i=1}^N\left(\sum_{A,B} f_i\right) \log \left(\sum_{A,B} f_i\right)\right]+\left[\left(\sum_{A,B}\sum_{i=1}^N f_i\right) \log \left(\sum_{A,B}\sum_{i=1}^N f_i\right)\right]\right]$$

donde A y B son los dos histogramas a comparar, N es el número de elementos del histograma y  $f_i$  es la frecuencia del elemento i del histograma.

2.- Generación de la estructura jerárquica. Las distribuciones LBP/C de cada celda que forma la rejilla son el elemento clave de la estructura piramidal. Cada nivel l de la pirámide es un mapa reducido con  $\frac{1}{4}$  de las celdas del nivel inferior. Cada nodo de la pirámide (x, y, l) tiene asociado cinco parámetros:

Homogeneidad, H(x, y, l). H(x, y, l) se configura al valor 1 si las cuatro celdas del nivel inferior que representa dicho nodo tienen la misma textura y sus valores de homogeneidad son 1. Esto implica que el área de imagen que el representa el nodo en cuestión es homogéneo en textura. En caso contrario este parámetro tomará el valor 0. La decisión de si las cuatro celdas inferiores tienen la misma textura se basa en un test de uniformidad. Se calcula los valores de los seis estadísticos G resultantes de las distribuciones LBP/C de las cuatro celdas. Si llamamos Gmax al valor mayor y Gmin al valor menor obtenido, las cuatro celdas tendrán la misma textura si el cociente Gmax / Gmin es menor o igual que un umbral U. Se elige un pequeño valor de U debido a que es preferible dividir la imagen en demasía que no en escasez, ya que si regiones que tienen igual textura son incluidas en la misma clase en este paso, el error ya es irrecuperable.

Textura, T(x,y,l). Si la célula es homogénea, T(x, y, l) es igual a la textura de las cuatro celdas inmediatamente inferiores.

Puntero al nodo padre, (X,Y)(x, y, l). Si H(x, y, l) es igual a 1, los valores de los punteros al nodo padre de las cuatro celdas inferiores son puestos a (x, y). Si no es así, los cuatro enlaces a los nodos padres son configurados como valor nulo.

Coordenadas, C(x, y, l). Son las coordenadas de la región de imagen asociada al nodo (x, y, l).

Histograma. Cada nodo almacena el histograma bidimensional que caracteriza la textura de la región de imagen que representa dicho nodo. Para optimizar la memoria utilizada, si un nodo representa una región de imagen homogénea en textura, todos los nodos descendientes de dicho nodo hasta el final de la pirámide no almacenan sus

correspondientes histogramas puesto que la textura viene caracterizada por el histograma almacenado en el nodo padre.

3.- Crecimiento de celdas homogéneas en textura. En este paso, el algoritmo intenta enlazar celdas que no tienen padre al padre de algunas de sus celdas vecinas. Básicamente, una celda  $(x, y, l)$  es enlazada al padre de alguna de sus celdas vecinas  $(x_p, y_p, l+1)$  si ambas celdas tienen la misma textura. En este paso no se fusionan celdas huérfanas entre sí.

4.- Fusión de celdas homogéneas. Dos celdas vecinas  $(x_1, y_1, l)$  y  $(x_2, y_2, l)$  son fusionadas si se cumplen las siguientes condiciones:

$(X, Y)(x_1, y_1, l) = \text{NULL}$ . La celda es huérfana.

$(X, Y)(x_2, y_2, l) = \text{NULL}$ . La celda es huérfana.

Ambas son homogéneas en textura.  $H(x_1, y_1, l) = 1 \ \& \ H(x_2, y_2, l) = 1$ .

Tienen la misma textura.

5.- Clasificación a nivel de píxeles. Como los píxeles del nivel base de la pirámide han sido tratados como bloques, la resolución de la imagen segmentada (R) es igual al ratio entre la resolución de la imagen inicial (S) y el área de píxeles que se ha utilizado para crear una celda (A).

Siguiendo la técnica propuesta, se podría segmentar una imagen de  $256 \times 256$  píxeles usando celdas de  $16 \times 16$  píxeles para obtener  $16 \times 16$  elementos. Debido a que la resolución es muy pobre se provocaría un error de segmentación importante. Para resolver este problema, se propone un post-procesado posterior a la segmentación. Este paso consiste en el incremento de forma recursiva de la resolución de los contornos de las regiones de textura encontradas. En otros algoritmos [4] el aumento de resolución de los contornos debe ser realizado en todos los niveles de la jerarquía de una manera descendente. En nuestro algoritmo sólo trabajaremos con el nivel inferior puesto que las regiones de textura ya presentan unos contornos bien definidos. Según nuestro algoritmo, los píxeles que forman los contornos de las regiones son clasificados según el nivel de gris. Al contrario que otros algoritmos de mejora de la resolución [2], los métodos basados en la característica de nivel de gris son muy rápidos, especialmente cuando se aplican sólo a las áreas de imagen que constituyen los contornos de regiones obtenidos en la segmentación. La principal desventaja de este algoritmo es que cuando dos regiones presentan niveles de gris similares la clasificación de los píxeles que forman el límite entre ambas regiones puede ser errónea.

En la figura 1, y ordenadas de izquierda a derecha y de arriba a abajo, se muestran las diferentes etapas del algoritmo propuesto. Por este orden, se muestra: la imagen original, los resultados de la segmentación jerárquica original, las regiones resultantes después del crecimiento homogéneo de celdas, y por último, las regiones finales tras el proceso de fusión.

Se puede observar de este modo, como, la imagen aérea ha sido segmentada en regiones significativas de diferente textura.

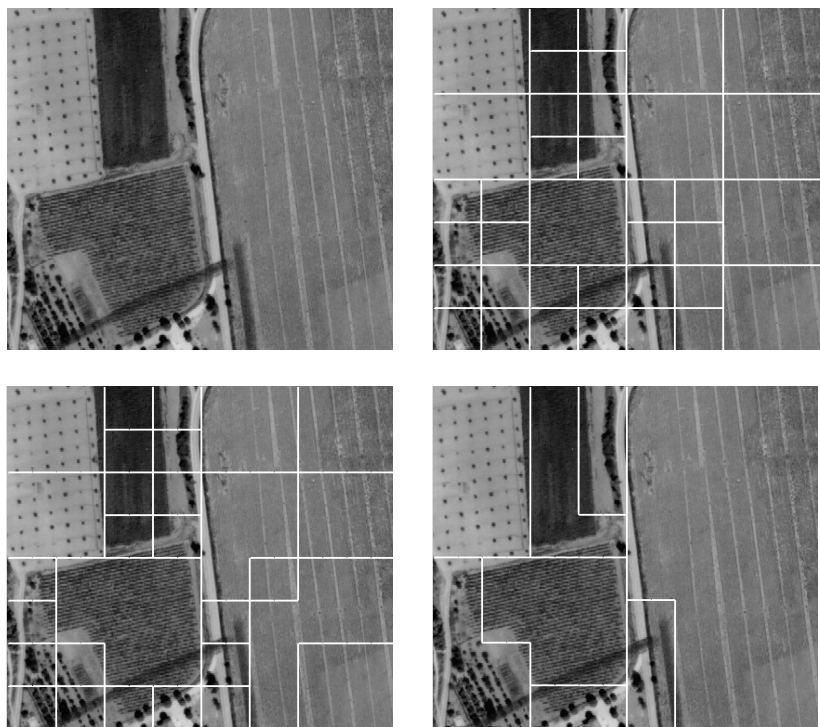


Figura 1: Etapas del algoritmo.

La principal ventaja del algoritmo de segmentación propuesto es su bajo tiempo computacional, que dependerá del umbral  $U$  y del tamaño del área mínima de imagen en la que se va a permitir segmentar ésta. En la tabla 1 se muestran los tiempos obtenidos (expresados en segundos), para una imagen de  $256 * 256$  píxeles. El tamaño de ventana escogido ha sido de  $16 * 16$  píxeles para estas imágenes.

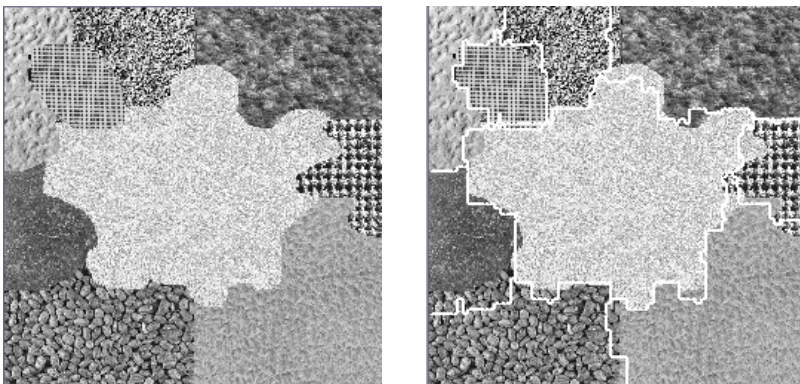
Tabla 1: Tiempos del proceso.

ETAPA	TIEMPO
División en zonas homogéneas en textura	1.159
Crecimiento de celdas homogéneas	0.101
Fusión de celdas homogéneas	0.150
Clasificación de los píxeles de los contornos	0.269
Tiempo total	1.679



## 4. Resultados experimentales

Aunque el algoritmo no es capaz de discriminar las mencionadas zonas con tanta exactitud como el algoritmo propuesto por Schroeter y Bigün, el procedimiento propuesto presenta la ventaja de su mayor rapidez y del hecho de trabajar de forma no supervisada. En la figura 2, se aprecia el comportamiento del algoritmo con texturas generadas artificialmente.



*Figura 2: Resultado del algoritmo.*

Se observa también como el resultado mejora considerablemente tras aplicar el proceso de clasificación de los píxeles que forman los contornos.

## 5. Aplicaciones

En lo referente a las aplicaciones en el ámbito de la Ingeniería Cartográfica se puede destacar la de la generación de cartografía de Usos del Suelo

Dicha cartografía puede ser realizada de manera rápida y fiable. Existiendo, además, un criterio estadístico para la determinación de la bondad en la asignación de una zona a una clase predeterminada y por tanto de la calidad final de la cartografía. (Pues se lleva a cabo una caracterización numérica de la textura asociándole un valor que la define de manera unívoca). Por ello, la asignación de una zona a una clase predefinida se realizará en función del estadístico que establece el grado de similitud entre dos regiones, a partir de sus histogramas bidimensionales.

En cuanto al modo de operar para la clasificación de una imagen según la metodología propuesta, sería similar al proceso de clasificación de una imagen de satélite en el ámbito de la Teledetección [5]. Es decir:

- Idea general de las características de los cultivos predominantes en la zona de estudio. Distinguiendo entre cultivos herbáceos, arbóreos, etc. y analizando su posible comportamiento textural.
- Trabajo de campo. Consistente fundamentalmente en la selección e identificación de las parcelas testigo a emplear, es decir, aquellas parcelas

cuyo cultivo habrá de identificarse en el campo y a su vez localizadas sin ambigüedad en la imagen.

- Proceso de clasificación y segmentación de la Imagen.
- Determinación de la bondad de las asignaciones y, por tanto, de la calidad del producto cartográfico final.

Otro factor de importancia es la escala a la que se realiza la edición final de la cartografía. [5] En la actualidad las imágenes de satélite nos permiten trabajar con unas escalas relativamente pequeñas, convirtiéndose este parámetro en un elemento que limita el uso de estas imágenes en determinadas aplicaciones cartográficas. [6] Sin embargo con el empleo de imágenes aéreas la escala deja de ser un factor determinante en este sentido, puesto que se puede trabajar con un rango de valores mucho mas variado, y por tanto con un amplio abanico de posibilidades respecto a las aplicaciones.

## 6. Conclusiones

La conclusión debe contener la idea principal del trabajo, sea repitiendo sucintamente lo que ya fue explicado antes, sea relacionando las deducciones o las inferencias de las conclusiones parciales anteriores. Es oportuno motivar a los lectores, resaltando la utilidad de la experiencia, de la investigación o el desarrollo en aplicaciones prácticas.

## Referencias

[1]. OJALA, T. et al. *A comparative study of textura measures with classification based on feature distributions*. Pattern Recognition, 29, 51-59, 1996

[2]. OJALA, T. et al. *Unsupervised textura segmentation using feature distributions*. Proc. OFICIAP'97, 1, 311-318, Florence, Italy, 1997

[3]. OJALA, T. et al. *Unsupervised textura segmentation using feature distributions*. Pattern Recognition, 32, 477-486, 1999

[4]. SCHROETER, P. et al. *Hierarchical imagen segmentation by multi-dimensional clustering and orientation adaptative boundary refinement*. Pattern Recognition, 28(5), 695-709, 1995

[5]. Pinilla, C. (1995). *Elementos de teledetección*. Ed. ra-ma. Madrid.

[6]. Barrette, Jeffrey; August, Peter; Golet, Francis. "Accuracy assessment of wetland boundary delineation using aerial photography and digital orthophotography". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 66, n. 4, 2000, p. 409-416



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA CONSULTA DE EXPEDIENTES DE OBRAS HIDRÁULICAS E INFORMACIÓN GRÁFICA ASOCIADA SOBRE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

MARTÍN GONZÁLEZ, Santiago (1); SUÁREZ QUIRÓS, Javier; GALLEGO SANTOS,  
Ramón; RUBIO GARCÍA, Ramón

<sup>(1)</sup>Universidad de Oviedo, España

Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales de Gijón, Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación,  
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería  
Correo electrónico: martinsantiago@uniovi.es

### RESUMEN

Se presentan los trabajos realizados en el Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales de la Universidad de Oviedo para la Confederación Hidrográfica del Norte de España, CHNE. En ellos se ha desarrollado una aplicación sobre un Sistema de Información Geográfica, SIG, que permite acceder a la información administrativa de los expedientes de obras generados por esta entidad, referidos a actuaciones sobre cauces (encauzamientos y defensa de márgenes). La herramienta permite acceder además a otra información de tipo gráfico vinculada a los expedientes, en concreto fotografías, vídeos y planos de CAD. La aplicación se ha desarrollado sobre ArcView 8.2, generándose capas temáticas para su visualización sobre ArcExplorer.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica, Obras Hidráulicas.

### ABSTRACT

This communication summarizes the results of the works carried out by the Area of Graphic Expression in the Engineering of the School of Industrial Technical Engineers of the University of Oviedo, for the Hydrological Confederation of the North of Spain. These works have consisted on the development of a new application on a Geographic Information System, GIS. It allows to consult the administrative information of the works, particularly those that refer to channels (channel reconstruction and defense of margins). The tool also allows to access to another information of graphic type linked to the dossiers, as pictures, videos and

CAD drawings. The application has been developed on ArcView 8.2. There are also generated thematic layers for its visualization on ArcExplorer.

**Key words:** Geographic Information System, Hydraulic Works.

## 1. Introducción

La **Dirección Técnica de Confederación Hidrográfica del Norte de España**, CHNE, gestiona la información administrativa de sus actuaciones en una base de datos *SQL Server*, base de datos que es compartida con los departamentos de **Comisaría de Aguas y Planificación Hidrológica**. El resto de documentación en soporte informático generada en estas actuaciones, como son planos, fotografías o videos divulgativos, es archivada en una unidad en red. Las rutas de acceso a esos ficheros se registran en una segunda base de datos, también sobre *SQL Server*.

Se plantea la conveniencia de revisar este procedimiento de gestión de la información, empleando para ello herramientas que agilicen la búsqueda de datos y posibiliten consultas relacionales entre distintos expedientes. En este sentido, los **Sistemas de Información Geográfica, SIG**, son la herramienta más adecuada y sobre la que se plantea el proyecto. La CHNE trabaja en la actualidad en la implantación de una herramienta SIG corporativa basada en los productos de **ESRI**.

La presente actuación pretende implementar, dentro de este sistema, la funcionalidad de referenciación geográfica de los expedientes gestionados por la *Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Norte* en las oficinas en *La Fresneda*, inicialmente sólo aquellos referidos a **cauces**, esto es, los expedientes de *encauzamientos* y de *restauración de márgenes*. Una vez georeferenciados, estos expedientes serán accesibles desde los programas geográficos en entorno SIG, diseñándose para ello distintas opciones de edición y consulta.

## 2. Situación actual

### **Gestión de la información alfanumérica generada por la Dirección Técnica de la CHNE**

La **Dirección Técnica de Confederación Hidrográfica del Norte** gestiona la información administrativa de sus actuaciones en una base de datos compartida con los departamentos de **Comisaría de Aguas y Planificación Hidrológica**. Los expedientes propios de la Dirección Técnica se agrupan en tres categorías: actuaciones de *abastecimiento* (depósitos y conducciones); *saneamiento* (depuradoras y colectores interceptores); y *cauces* (encauzamientos y recuperación de márgenes).

Para su gestión se dispone de una aplicación, que denominaremos **GEN**, que funciona sobre un Sistema Gestor de Bases de Datos *Microsoft SQL Server* al cual se

accede mediante una aplicación cliente desarrollada en *Visual Basic*. El código de esta aplicación está disponible por lo que puede ser adaptada a nuevos requerimientos.

El resto de información generada en soporte informático en las actuaciones, como planos, fotografías o videos divulgativos, es archivada en una unidad compartida en red. Existe una aplicación dedicada a servir como registro de entrada / salida de archivos en esa unidad y que almacena también las rutas de ubicación, vinculándolas a los expedientes administrativos. Esa aplicación es denominada **DOC** y utiliza una base de datos desarrollada también sobre SQL Server.

### **Información cartográfica disponible en la Geodatabase corporativa.**

En el entorno ArcGIS se entiende por Geodatabase a una base de información geográfica dentro de la cual coexisten datos en forma de base de datos relacional con otras representaciones de datos espaciales como vectoriales, raster, etc.<sup>1</sup> Actualmente, la CHNE está definiendo la arquitectura de su SIG corporativo, basada en aplicaciones de ESRI. El servidor de datos mantendrá el GEN existente como gestor de bases de datos relacionales e incorporará ArcSDE como extensión espacial para gestionar la información cartográfica existente. La aplicación encargada de servir la cartografía vía internet / intranet será ArcIMS.

En cualquier caso, para los objetivos de este proyecto, se puede reducir el concepto de Geodatabase al conjunto de información geográfica disponible en forma de coberturas shape. De las coberturas disponibles destacan, por su interés en la referenciación geográfica de los expedientes administrativos, las siguientes:

- **MUNICIPIOS\_INE\_2001**. Incluye registros que corresponden con el código INE de la provincia, el código INE del municipio y el nombre del municipio.
- **POBNORTE**. Incluye registros que se refieren al código INE y al nombre según el INE de las poblaciones.
- **CAUCES\_NO**. Contiene distintos campos sobre los que sería posible vincular directamente los expedientes de cauces.

### **Posibilidades/dificultades de integración**

En principio existen dos alternativas para representar en un entorno GIS los expedientes referidos a cauces. La primera y más sencilla es representar el expediente como un símbolo en unas coordenadas X – Y. Para ello es necesario que la base de datos GEN disponga de una tabla con campos correspondientes a esas coordenadas UTM para cada expediente.

---

<sup>1</sup> <http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase.html>

La segunda alternativa consiste en vincular cada expediente con un tramo de río, aprovechando para ello la cobertura CAUCES\_NO de la Geodatabase. Es necesario que la base de datos administrativa GEN contenga una tabla con campos que hagan referencia al cauce y a los puntos kilométricos afectados por el expediente. Este vínculo generaría una nueva cobertura formada por los tramos de río afectados.

Lamentablemente, la segunda opción no ha podido ser implementada. Ello es debido a que la codificación de los cauces en la base de datos administrativa GEN presenta diferencias con respecto al shape CAUCES\_NO de la Geodatabase. Sería necesaria una revisión de ambas fuentes de datos, algo que excede los objetivos planteados en este proyecto.

### 3. Requisitos de la aplicación

#### Requisitos funcionales

De acuerdo con los responsables de CHNE se han definido como requisitos funcionales de las aplicaciones a desarrollar los contenidos en la Tabla 1.

Tabla 1: Requisitos funcionales

Código	Descripción
RF 1	Alta, baja y modificación de los datos asociados a los expedientes a través de una aplicación Windows posiblemente incorporable a la aplicación GEN como un módulo adicional.
RF 1.1	Asociación de expedientes a coordenadas UTM y municipios.
RF 1.2	Asociación expedientes a su fase de ejecución: Planificado; Redacción; Tramitación; Ejecución; Finalizada.
RF 1.3	Asociación de archivos de fotos, planos y videos a los expedientes a través de la base de datos de información documental.
RF 1.4	Asociación de expedientes al tipo de obra a que se refieren: Abastecimiento (Depósito - Conducciones); Saneamiento (Depuradoras – Colectores Interceptores); Cauces (Encauzamientos - Recuperación de márgenes).
RF 2	Alta y modificación de coordenadas directamente sobre la aplicación GIS.
RF 3	Representación en un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS) de la ubicación de los expedientes de cauces.
RF 3.1	Consulta gráfica de los expedientes a través del GIS con los siguientes campos: Código; Descripción; Tipo; Estado; Coordenadas y Municipio; Ficheros asociados.
RF 3.2	Representación de los expedientes en función de su tipo o estado.
RF 3.2	Incorporación de otras capas de datos fijas como plantas en formato CAD.
RF 3.3	Posibilidad de incorporación de las capas GIS generadas al GIS corporativo.

#### Requisitos no funcionales

Como requisitos no funcionales tenemos la utilización como sistema GIS del programa ArcView 8.2. de ESRI y la utilización del servidor de bases de datos Microsoft SQL Server.

# Arquitectura propuesta

La aplicación a desarrollar se divide en tres módulos que actúan sobre el servidor de bases de datos. El primero es una aplicación desarrollada en Visual Basic que funciona como una parte más de la actual aplicación GEN. La funcionalidad de este módulo consiste principalmente en la actualización de los datos geográficos asociados a los expedientes de Dirección Técnica.

El segundo de los módulos es una aplicación desarrollada sobre ArcView 8.2 y su principal funcionalidad es de consulta. Desde ella se puede visualizar de forma gráfica la situación y datos de los expedientes así como acceder a los ficheros asociados a cada uno de ellos en la base de datos DOC.

El tercer módulo es otra aplicación desarrollada sobre ArcView 8.2 cuya funcionalidad es la asignación de coordenadas geográficas seleccionadas directamente en pantalla a los expedientes de Dirección Técnica. Este módulo complementa por tanto al primero.

La Figura 1 representa estas ideas. A continuación se describen las distintas funcionalidades.

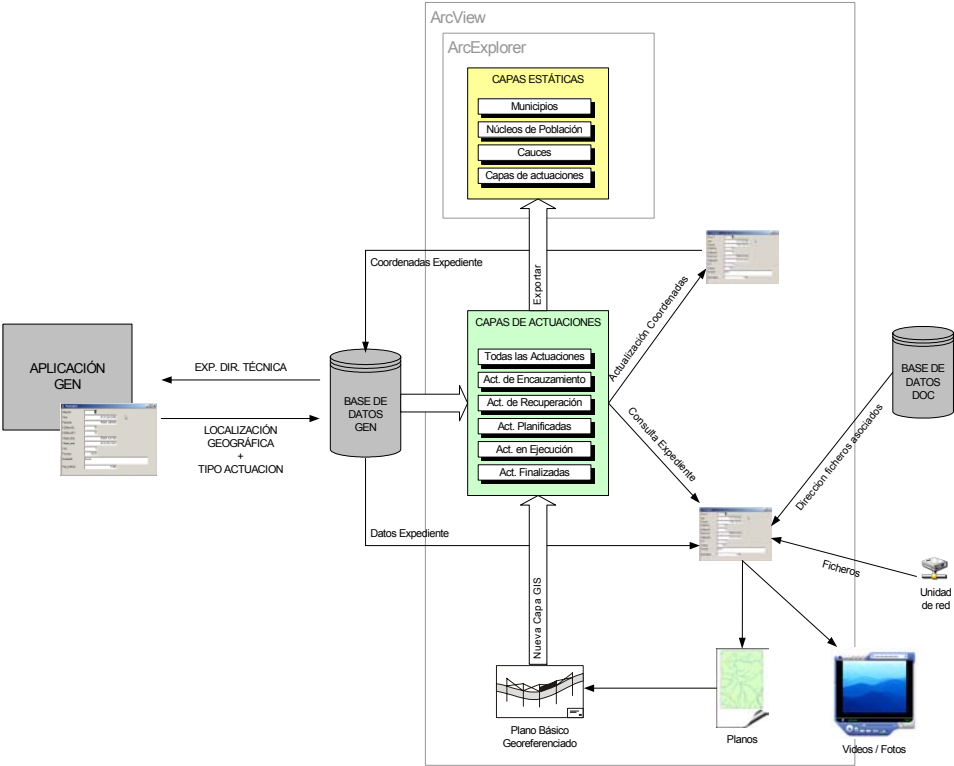


Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto.

## Funcionalidad añadida sobre la aplicación GEN

Como un complemento a la aplicación de gestión de expedientes GEN, se implementa en *Visual Basic* un módulo con las siguientes funciones:

1. Recuperación de datos básicos de los expedientes de actuaciones.
2. Introducción del tipo de actuación: Abastecimiento-Depósito, Cauce-Encauzamiento, etc.
3. Introducción de las coordenadas UTM de la actuación.

La Figura 2 muestra una captura de pantalla con esta aplicación.

*Figura 2. Formulario añadido al GEN para la localización y definición del tipo de expediente.*

## Funcionalidad a través de ArcView

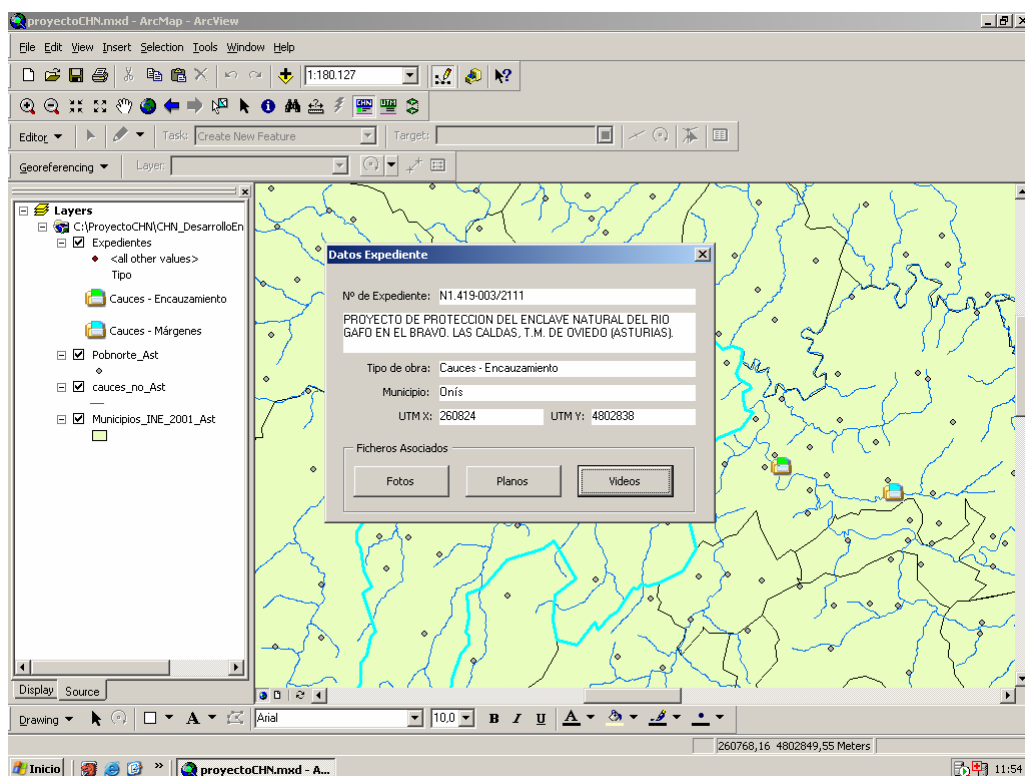
En ArcView se dispone de una serie de capas fijas procedentes de la Geodatabase, al menos las mencionadas de municipios, cauces y núcleos de población.

Sobre estas capas se representan otras construidas dinámicamente a partir de los datos geográficos introducidos en la base de datos GEN. Estas capas presentarán la ubicación de los distintos expedientes de las actuaciones sobre cauces. Mediante la simbología adecuada se distinguen los expedientes según el tipo y el estado de ejecución.

Seleccionando un expediente en pantalla se accede a un formulario donde se ofrece información general sobre el mismo: código, nombre de la actuación, localización (coordenadas), municipio, etc. Desde este formulario también es posible visualizar los archivos multimedia asociados al expediente, como muestra la Figura 3. Estos archivos podrán ser fotos, videos o capturas de planos. Desde la propia aplicación pueden ser previsualizados o bien abiertos, si el terminal cuenta con el programa correspondiente.



En el caso de los planos, es posible incorporarlos como una nueva capa al proyecto de ArcView, siempre que originalmente hayan sido georreferenciados.

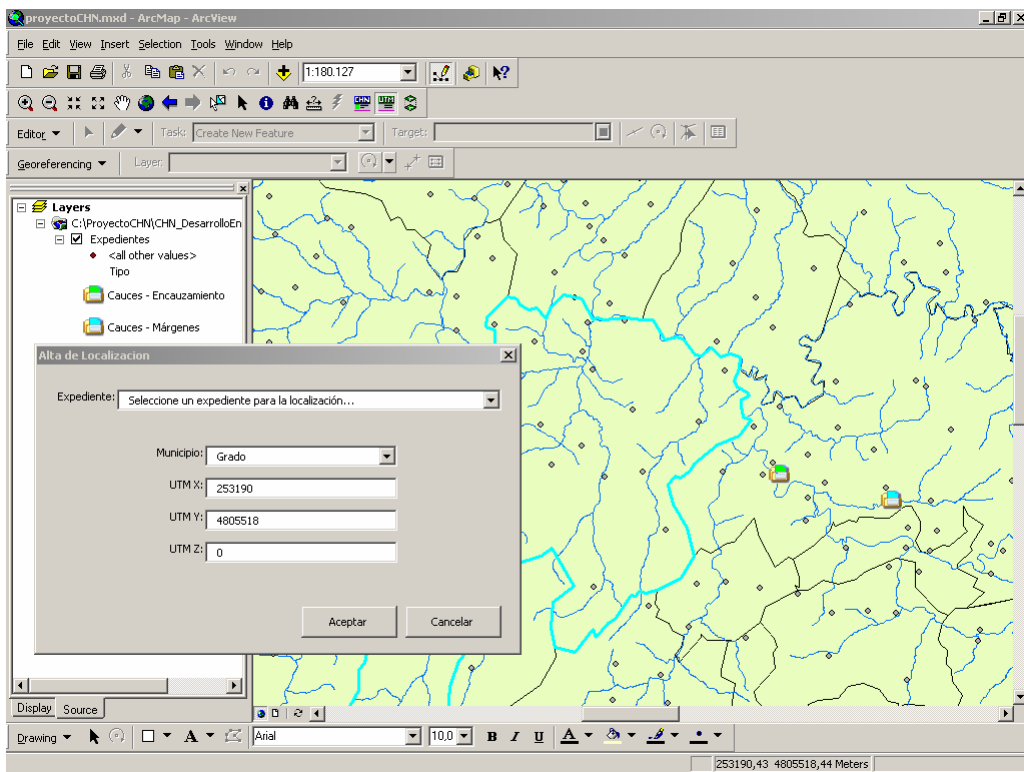


*Figura 3. Formulario añadido sobre ArcView para la lectura de datos generales del expediente y consulta de ficheros asociados.*

Finalmente, también se ha incorporado la posibilidad de ubicar un expediente en un punto geográfico seleccionado previamente en pantalla, como muestra la Figura 4. Este sistema es alternativo al empleo del módulo de la aplicación GEN antes mencionado.

## **Funcionalidad a través de ArcExplorer**

Con el propósito de aprovechar al completo la información geográfica generada por el sistema, se generan los archivos shape que representan, de forma estática, las capas dinámicas construidas a partir de la base de datos GEN. Estos archivos pueden ser incorporados a la GeoDatabase corporativa. De esta forma serán servidos a través de la aplicación ArcIMS, vía internet o intranet, a las terminales de usuarios que sólo cuenten con el programa ArcExplorer.



*Figura 3. Formulario añadido sobre ArcView para la asignación de coordenadas UTM a un expediente desde pantalla.*

## 4. Conclusiones

Los Sistema de Información Geográfica, SIG, son la herramienta idónea para la gestión, en un entorno gráfico, de información alfanumérica con significación espacial. La representación de los expedientes administrativos generados por la Dirección Técnica de la CHNE en un entorno SIG permite un seguimiento y control de las actuaciones más eficaz. Entre otras ventajas, la localización de la información es más sencilla, permite detectar interferencias o sinergias entre actuaciones, facilita la planificación, desvela la distribución del gasto y del esfuerzo inversor, etc. Además, la implantación de la Directiva Marco de Aguas está exigiendo a los organismos de cuenca actualizar sus sistemas informáticos en este sentido.

El trabajo realizado, si bien sencillo en su concepción, ha permitido profundizar en el conocimiento de la funcionalidad de las distintas aplicaciones comercializadas por ESRI. Se ha programado sobre ArcView 8.2. en Visual Basic, generando una base de conocimientos que se espera de gran utilidad para futuros proyectos.

## Referencias

BOOTH, Bob and MITCHELL, Andy. *Getting Started with ArcGIS*. Manual técnico, ESRI, 1999.

VIENNEAU, Aleta. *Using ArcCatalog*. Manual técnico, ESRI, 1999.

TUCKER, Corey. *Using ArcToolbox*. Manual técnico, ESRI, 1999.

MINAMI, Michael. *Using ArcMap*. Manual técnico, ESRI, 2000.

SHANER, Jeff and WRIGHTSELL, Jennifer. *Editing in ArcMap*. Manual técnico, ESRI, 2000.

*What is ArcGis?* Manual técnico, ESRI, 2001.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### EMPLEO DE LA CARTOGRAFÍA Y BASE DE DATOS GRÁFICA CATASTRAL EN LOS TRABAJOS RELATIVOS A LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES DEL ESTADO

RUIZ LENDÍNEZ, Juan José (1); BLAZQUEZ PARRA, Elidia Beatriz (2)

<sup>(1)</sup>AURTECNICA. Ingeniería Cartográfica, España  
Correo electrónico: ruilen@hotmail.com

<sup>(2)</sup>Universidad de EXTREMADURA, España  
Centro Universitario de Plasencia, Departamento de EXPRESION GRÁFICA  
Correo electrónico: ebeatriz@unex.es

### RESUMEN

En los últimos años se vienen desarrollando los trabajos de Actualización del Inventario de Bienes Inmuebles del Estado. La documentación gráfica catastral está resultando fundamental para el buen desarrollo de los mismos, por lo que su desarrollo y mantenimiento resultan de vital importancia. En el trabajo que aquí se presenta se muestran los distintos aspectos abordados, fases del trabajo, así como el tratamiento que de la documentación gráfica catastral se realiza.

**Palabras clave:** cartografía, actualización, bienes inmuebles, catastro.

### ABSTRACT

During last years, it is being developed the labours of public real estate inventory updating. The graphic documentation is essential in order to carry out these labours correctly. The development and maintenance of these documents is very important. In this paper different topics such as steps of work and the cadastre graphic documentation analysis are treated.

**Key words:** cartographic documentation, updating, real estate, cadastre.

## **1. Introducción**

Son muchos los bienes inmuebles, tanto de naturaleza rústica como urbana que, aún siendo propiedad del estado, este desconoce por completo su exacta localización geográfica, así como su actual situación jurídica. Estos bienes inmuebles proceden en su inmensa mayoría de procesos de expropiación por impago desarrollados hace ya más de medio siglo y las circunstancias que llevan al desconocimiento de su exacta localización son diversas.

Es por todo ello, por lo que en sucesivas campañas se están llevando a cabo los trabajos de inventariado de este tipo de bienes, trabajos que tienen su apoyo en la información proporcionada por la documentación gráfica y las bases de datos catastrales. En ellas queda recogida toda la información, referida tanto a titulares catastrales (nombre, DNI, dirección) como a las características físicas de las parcelas (superficie, linderos, cultivos y aprovechamientos), que deberá ser contrastada con los datos que, en el momento de realizar el proceso de expropiación, fueron recogidos. De este modo, se podrá llegar a localizar el inmueble.

## **2. Desarrollo de los trabajos**

Evidentemente, no todos los bienes que son objeto de este tipo de investigación son finalmente encontrados, puesto que son muchas las dificultades que, durante el proceso que se describe a continuación, se presentan. Por ello, y según el resultado de la investigación, se establece un código que clasifica a los bienes investigados en las siguientes clases:

- Bienes identificados: Son aquellos cuya identificación se ha realizado sin que exista lugar a la duda. Han de acompañarse de la referencia catastral (polígono y parcela) correspondiente, actuando dicha referencia como elemento que los identifica unívocamente. Una vez comprobada su situación jurídica, el bien podrá ser puesto a la venta en pública subasta.

- Bienes localizados: Son aquellos que se han localizado de manera aproximada, existiendo alguna circunstancia que impide afirmar con total certeza de que se trata del bien buscado.

- Bienes no localizados: Son aquellos de los que no se han encontrado datos suficientes como para localizarlos ni tan siquiera en un ámbito geográfico razonable. La investigación quedará definitivamente archivada y los bienes que así se clasifiquen, se darán de baja del inventario.

Para llegar a dotar a un bien investigado de un código de asignación determinado, es necesario realizar un proceso de investigación y depuración de datos, que tiene como principal objeto ir acotando la zona en la que se presume se encuentra ubicada la finca buscada. Todo este conjunto de tareas de investigación y depuración se desarrollan en dos ámbitos bien distintos, que en todo caso pueden ser compatibles en el tiempo:

Trabajos realizados en gabinete. Dichos trabajos se desarrollan principalmente en las diferentes Gerencias Territoriales de catastro, y constituyen el grueso del proceso de investigación. Durante este periodo, ha de recabarse la mayor cantidad posible de información, tanto gráfica como alfanumérica, referente a los bienes inmuebles investigados. Constituye una primera aproximación a la finca buscada, y es donde el sistema de información catastral juega un papel primordial. En la mayoría de los casos, y dependiendo de la habilidad del agente de campo en el manejo de la documentación gráfica y del Sistema de Información Geográfico Catastral, puede llegar a localizarse e incluso identificarse la finca, de manera exacta.

Trabajos de campo. En otros casos, los trabajos desarrollados en gabinete no han proporcionado más que una ligera aproximación a la localización de la finca, por lo que se hace necesaria una inspección de la zona. En cualquier caso, la visita a Ayuntamientos y otros organismos públicos, así como la consulta directa de la documentación existente en los mismos, puede resultar de gran ayuda a la tarea desarrollada.

Sea cual sea el caso que se presente, y como se ha indicado con anterioridad, el sistema de información catastral resulta fundamental para el desarrollo del trabajo, y es el conocimiento del mismo por parte del agente, el que va a condicionar el éxito de dicho trabajo.

### **3. Bases de datos gráficas de catastro**

Una vez definidos los procesos y esbozadas unas primeras ideas acerca del papel jugado por las Bases de datos gráficas en los trabajos citados, se debe ahondar en el análisis de estas.

Si importante resultó la informatización masiva de las bases de datos alfanuméricas de catastro, mayor repercusión ha tenido la elaboración de las bases de datos gráficas, ya que las ventajas de interrelacionar las bases de datos catastrales literales y gráficas son múltiples. La digitalización del conjunto de cartografía catastral y su posterior gestión en un SIG ha supuesto un paso de gran trascendencia para el desarrollo de diversos tipos de aplicaciones entre las que se debe situar la que en este trabajo se muestra. [2] Desde hace años la Dirección General de Catastro viene desarrollando su propia aplicación catastral, que se emplea de manera generalizada en todas las gerencias territoriales, y que se conoce con el nombre de SIGECA.

Entre los objetivos que la Dirección General de Catastro se marcó cumplir con el desarrollo y empleo del SIG catastral, cabe destacar: la identificación de los titulares catastrales, la evaluación de los bienes inmuebles mediante procesos independiente, y ante todo la implementación y optimización del Inventario de Bienes inmuebles de cualquier naturaleza. [1] Para todo ello, cuanta en la actualidad con el sistema de información territorial más completo de todo el conjunto de las Administraciones públicas.

Este sistema se encuentra apoyado en dos bases de datos diferentes:

1. Bases de datos cartográficas: en las que se almacena y procesa la información susceptible de ser georreferenciada. O Dicho de otra forma, la información de carácter espacial de los bienes inmuebles.
2. Bases de datos alfanuméricas: Son las bases de datos en las que se almacena y gestiona todo el conjunto de datos alfanuméricos relativos a los bienes inmuebles. En general, se incluye entre este conjunto de datos, todos los relativos a características y atributos.

#### **4. Información Gráfica obtenida y su empleo**

Los datos de partida para la ejecución del trabajo, pueden actuar como flujo de entrada en ambas bases de datos, por lo que las dos resultan importantes para el proceso de actualización del Inventario de bienes inmuebles. Estos datos de partida están referidos al instante en que se llevo a cabo el proceso expropiatorio, y aunque por lo general están bastante desfasados, pueden resultar de gran utilidad. Los datos son los siguientes:

Datos referentes al emplazamiento:

- Generales: Provincia, municipio, localidad.
- Particulares de bienes urbanos: Dirección y código postal.
- Particulares de bienes rústicos: Paraje, naturaleza.

Datos físicos según registro:

- Linderos cardinales: Norte, Sur, Este y Oeste.
- Linderos Posicionales: Frente, Fondo, Derecha e Izquierda.
- Superficie: Tanto de Suelo como construida.
- Coeficiente de participación de propiedad.

Datos jurídicos:

- Titular de la Adquisición: persona objeto de la expropiación.
- Motivo de la adquisición.
- Notario o administración ejecutora.

Inscripción registral de la finca:

- Tomo, libro, folio, finca.

- Inscripción, fecha y cargas.
- Carácter del Inmueble.
- Posibles observaciones en relación a cualquier apartado anterior.

La información obtenida de las bases de datos se muestra en forma de certificación descriptiva y gráfica, tal y como se muestra en la figura 1.

BORRADOR

**CERTIFICACIÓN CATASTRAL DESCRIPTIVA Y GRÁFICA**  
**BIENES INMUEBLES DE NATURALEZA RÚSTICA**  
 Municipio de CAMPO DE CRIPTANA Provincia de CIUDAD REAL

BORRADOR

## BORRADOR

**REFERENCIA CATASTRAL DEL INMUEBLE**  
**13028A095000340000ME**

MUNICIPIO:  ZONA CONCERNIDA:

CORREO:  POLÍGONO:  PARAJE:

00 095 00034 E507140303 DEHESA D LOS PUERCOS

**DATOS FÍSICOS Y ECONÓMICOS**

ANO VALOR	VALOR CATASTRAL (€)	TOTAL TRIENIO (€)
2003	103,11	0,6439

**SUBPARCELAS**

Subparcela	Cod. Calif.	Cultivo	IP	Superf.(Ha.)	Valor Cat.
0	0-	Olivos secano	2	0,6439	103,11

**DATOS DEL TITULAR**

APellidos y Nombres y Razón Social:  NIF:

Domicilio Social:

MUNICIPIO:  PROVINCIA:  C.P.:  Cód. Catastr. Prop.:

CAMPO DE CRIPTANA CIUDAD REAL 13610 100,00

**INFORMACIÓN GRÁFICA**

La presente certificación se expedirá a los solos efectos del uso solicitado, y refleja los datos incorporados al catastro de esta Gerencia, en la fecha de su expedición.

En Ciudad Real, a martes, 24 de junio de 2003

459,400 Coordenada UTM, en metros.

— Límite de Polígono  
 — Polígono  
 — Límite de Parcela  
 — Valor de Contorno  
 — Límite de Parcela

VER ANEXO DE COLINDANTES

Figura 1. Ejemplo de certificación descriptiva y gráfica.

En lo referente a la información de carácter alfanumérico, se proporciona la siguiente:

Elementos de identificación: Referencia catastral del Inmueble, ortofoto y paraje.

Datos físicos y económicos. Superficie, valor catastral, subparcelas.

Datos del titular catastral, nombre o razón social, NIF, domicilio social, municipio, provincia y código postal.

Anejo con el nombre de todos los titulares de las parcelas colindantes, referencia catastral y superficie de las mismas. Este dato resulta de gran importancia puesto que



puede servir para ser contrastado con la información que, con respecto a los linderos, es proporcionada por los datos iniciales o datos de partida.

Por otra parte, la información gráfica contenida en la certificación catastral, está formada por un plano ajustado en escala a las dimensiones del formato de dicha certificación (por lo general formato A4) y georreferenciado (sistema de coordenadas en la proyección UTM), acompañado además, de una pequeña leyenda que hace referencia a los diferentes elementos que se encuentran, líneas de polígono, líneas de parcela, líneas de subparcela, hidrografía, infraestructuras y diferentes vías de comunicación.

Esta certificación, junto con un plano de situación a escala 1:25.000 conocido comúnmente como “pañoleta”, constituye la base de documentación gráfica exigida para localizar de manera adecuada la parcela objeto de investigación.

## **5. Conclusiones**

Como se ha expuesto según todo lo anterior, el papel jugado por las bases de datos catastrales y en general por el Sistema de Información Catastral, es fundamental en el buen desarrollo de los trabajos correspondientes a la Actualización del Inventario de Bienes Inmuebles del Estado. La continua mejora e implementación de las bases de datos, el rigor en el tratamiento y depuración de los datos en ellas contenidos y el celo en el mantenimiento de las mismas por parte de los profesionales de la administración, aseguran el éxito en campañas venideras de los trabajos aquí descritos.

## **Referencias**

[1] ALCÁZAR, Manuel. *El Catastro en España*. Centro de Ingeniería Económica, Universidad Politécnica de Valencia, 1999.

[2] CABALLER, Vicente, *Valoración Agraria, Teoría y Práctica*. 4ª ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa., 1998.

---

## AN INTEGRATED METHODOLOGY TO IMPROVE THE DESIGN OF WINGS

E. Pezzuti, A. Ubertini, P.P. Valentini, L. Vita

University of Tor Vergata  
Department of Mechanical Engineering  
Via del Politecnico, 1  
00133 – Roma, Italy  
e.mail: vita@ing.uniroma2.it

### RESUMEN

El diseño de un alerón de un automóvil para competición deportiva necessita de una metodología capaz tener en cuenta, al mismo tiempo, muchos aspectos, porque muchas causas contribuyen a la prestación global. En este trabajo se ha propuesto un método que integra diferentes criterios de cálculo, CAD-FEM-CFD, para estudiar la aerodinámica de un alerón bajo deformación. Aunque CFD es muy importante por el diseño, muchas veces los cuerpos, impactados por los fluidos, están considerados rígidos; pero las deformaciones estructurales pueden cambiar la forma nominal del alerón modificando la fluido-dinámica del sistema. Para las automoviles para competición este efecto es bienvenido cuando, aumentando la velocidad del vehículo, el ángulo de ataque, las resistencia aerodinámica y la disminución de la sustentación se reducen. En fórmula uno este efecto está prohibido y la deformación del alerón, bajo la carga aerodinámica, tiene que estar contenida bajo un límite establecido. El método propuesto emplea el cálculo CFD, actualizando la geometría por los resultados del análisis FEM. El algoritmo desarrollado, automáticamente, aplica el campo de presión, derivado por la solución de la fluido-dinámica, al programa FEM para obtener la deformación de la estructura automáticamente. Esta deformación es utilizada para actualizar la geometría de perfil del alerón y la mesh CFD. El cálculo iterativo termina cuando las deformaciones de dos step consecutivos son más pequeñas que un valor establecido. Normalmente tres o cuatro iteraciones son bastantes. El procedimiento ha sido empleado también para evaluar los efectos de los errores del montaje. La metodología, aplicada a un caso real, ha producido resultados muy interesantes.

**Palabras clave:** Optimización de la aerodinámica de un alerón, CAD, FEM

### ABSTRACT

The design of high performance wing, especially those for car races, requires a methodology able to take into account many aspects at the same time. In many practical cases these aspects

have to be modelled together in order to appreciate the way many causes interact and affect the global performance. In this paper the authors explain a methodology concerning an integrated CAD-FEM-CFD approach to study wing aerodynamics under deformations. Although CFD plays an important role in the design of shape of wing, in many cases the bodies impacted by the fluids are assumed to be rigid; structural deformations can often change the nominal shape of the wing and modify the fluid-dynamics performances of the system. In race car competitions this behaviour is welcome if with the increasing of vehicle speed the angle of attack decreases and both the drag and downforce decrease too. In many regulations this effect is forbidden and wing deformation under aerodynamics load has to be kept under an established limit. The proposed methodology couples CFD analyses with a discrete upgrading of geometry according with the FEM results. The implemented algorithm automatically transfers the pressure field coming from fluid-dynamics solution to FEM solver to obtain the deformation of the entire structure. This deformation is used to update the wing profile geometry and the CFD mesh all over the control volume. Data exchanging and iteration process ends when the deformations of two consecutive steps are smaller than a given error value. The practice shows that it happens quite quickly within three or four iterations. The parameterization of mesh updating has been also tested for studying how assembly errors affect aerodynamics performance. The methodology has been successfully tested on a high performance car front wing and interesting results have been reached.

**Keywords:** Integrated design, FEM, CFD, wing design

## 1. Introduction

The efficiency of the aerodynamic parts is a very important issue to obtain good performances from a racing car (DOMINY, 1984; WOLF-HEINRICH, 1993; SHAW, 1988). The efforts of the aerodynamic designers are mainly concentrated to study two forces:

- Downforce (negative lift), which is useful to force the car to the ground, and then to maintain high speed along the curves;
- Drag, which is basically unwanted, because it slows the car.

The capability of an aerodynamic engineer is strictly related to the achievement of a good compromise between lift and drag, or, in other words, to obtain the desired lift with the lowest drag as possible.

The efficiency of a wing in general depends on the following items:

- Aspect ratio (length-width ratio). The amount of downforce produced by a wing is determined by its size. The larger the wing is the greater the downforce is. The higher the aspect ratio is the more efficient the wing is because of less air resistance created by the vortex at the wing tips;
- Angle of attack. The greater the angle of attack is, the greater the downforce is until stall, the greater the unwanted drag is;
- Drag. Increasing downforce, a wing also increases unwanted drag. Drag increases with the angle of attack.

The design of the front wing of a racing car is a critical task since it is the very first part of the car which meets the flow. Moreover its shape affects also the performances of the whole car body and in particular way those of the rear wing. For these reasons the design of a front wing costs about twice more than the design of the rear one.

Each front airfoil is made of one or more mainplanes of carbon fibres almost covering the entire width of the car, and generally has one full spanning flap; endplates constitute the boundaries of each mainplane. The performance of the front-wing changes radically with the closeness to the ground for the well-known “ground effect”; the distance between the wing and the ground is usually limited by specific competition regulations. Developments of the wing design usually concentrate on the wing profile and the flaps; moreover, some teams recently angled the leading edge to form a forward facing V-shape, in order to exploit the full potential of the wing: flow visualizations in fact showed that the suction power of the wing is so strong that air approaches to the leading edge with a different angle from the one presented by the undisturbed flow. Endplates design tends to change a lot: their primary function consists in separating the high pressure air (top of the wing) from the low pressure air (bottom of the wing); some teams also use “splitters” attached to the undersurface of the wing to assist the endplates. CFD then would be an ideal tool for design, and it is already used and growing in importance because it allows to reduce time and cost within such a complex scenario. In fact, the performance of a number of possible configurations of the wing can be evaluated with the aid of a computer architecture; then only efficient configurations undergo wind-tunnel tests after which the optimal solution can be chosen. In many cases CFD is not sufficient to simulate the behaviour of the wing impacted by an air flow. In fact, the elasticity of the wing may cause deformations (ANDREASSI et al., 2004) which affect the geometrical shape and position of the wing and modify the aerodynamic properties. In this case an integrated approach (GUBERT et al., 2001, PAHL et al., 1999) is the only way to face the problem in a correct manner. On the other hand a numerical code which solves both fluid dynamics and structural models at the same time requires a lot of hardware resources and it is difficult to be optimized for both problems at the same time too. For this reason the development of an integrated design methodology which couples both aspects, but solving each problem using a independent solver, seems to be a winning strategy.

## **2. Integrated design methodology**

We can summarize the proposed methodology in seven steps.

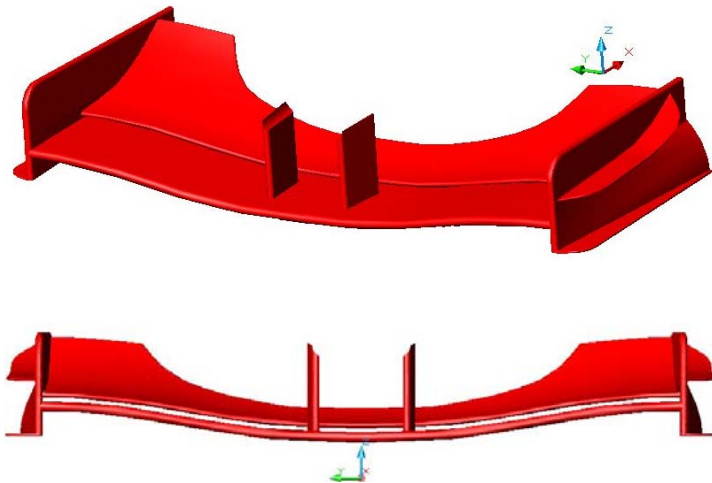
1. CAD modelling: the shape of the wing is drawn using a CAD program or its geometry is acquired by accurate measurements and then reproduced in a CAD program. Then, the elements for structural and fluid dynamic analyses are generated. It is important to notice that the mesh is generated only at this step, no other meshes have to be computed. So the computational effort is reduced.
2. A preliminary Normal Modes of Vibration analysis (MASTRACCO, 2003) is performed in order to avoid the possibility of dynamic amplification of structural deformations due to flutter or similar phenomena.
3. The wing is then analysed by means of the 3D CFD code to define the pressure field around the structure;
4. The pressure field is converted into nodal loads to be applied to the finite element model;

5. A linear elastic analysis is performed in order to find the deformation of the entire wing under the nodal loads defined at step 4;
6. The deformations evaluated at step 5 are processed by an algorithm program (DE SIMONE, 2003) in order to update the entire fluid dynamics volume mesh. The mesh is only updated. The topological information and the element appearance are the same.
7. CFD analysis is again performed to define the updated pressure field around the deformed structure.

Steps from 3 to 7 are repeated until the convergence, i.e. the same deformation of the previous step within a predefined tolerance, is obtained.

## Cad Modelling

The geometry of the wing has been splitted into several surfaces which have been defined using their bounding curves (non uniform B-splines) and a cubic interpolation. The entities have been exported in a general purpose ACIS format (CORNEY et al., 2001) in order to preserve their topological information about the hierarchy and orientation. The used CAD model of wing is depicted in Figure 1; it shows a “spoon” shape, i.e. it is slightly lower next to the symmetry axis. According to Formula 1 regulations, and with the additional hypothesis that the car flat bottom lies at 15.20 mm from the track, the distance between the lowest portion of the wing and the track was assumed to be equal to 11.7 cm.



*Figure 1. CAD model of the entire front wing (3D view and front view)*

## FEM Model

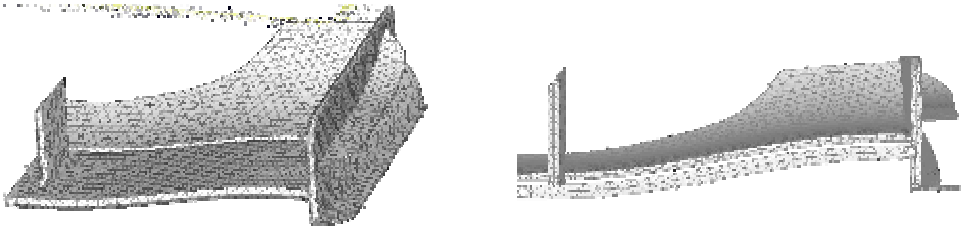
In order to study the deformation under pressure loads, the front wing has been modelled by means of finite element technique. The system has been simulated using triangular planar element with 5 d.o.f. each node. Only an half of the entire wing has been meshed, because the symmetry of the geometry, the loads and the constrains simplify the analysis. The model has been constrained in the cutting plane to preserve the above mentioned conditions. Moreover, the node of the vertical anchor segment to the nose has been fixed to the ground. The material used is a generic CFRP with no

oriented fibres, so that it could be modelled as an isotropic linear elastic material, characterised by the following properties:

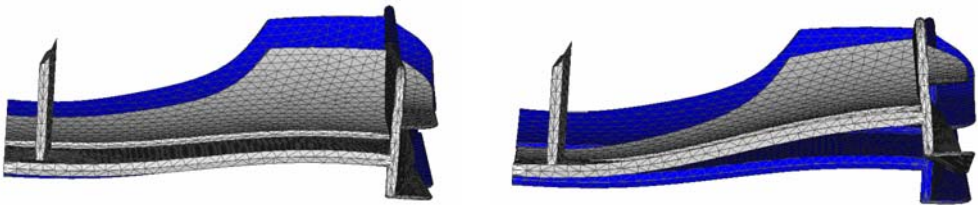
- Young's modulus (E): 2.28E+11 Pa
- Shear modulus (G): 1.03E+10 Pa
- Poisson ratio ( $\nu$ ): 0.27
- Mass density ( $\rho$ ): 1580 kg/m<sup>3</sup>

An overall picture of the undeformed mesh is presented in Figure 2.

The preliminary vibration analysis shows that the first normal frequencies do not have resonance phenomena due to flutters or vortex sheddings for car speed up to 400 km/h. A complete aero-elasticity analysis can be found in MASTRACCO, 2003. The first two normal modes deformation is depicted in Figure 3.



*Figure 2: Undeformed mesh of the half wing*



*Figure 3: First vibrational modes of the wing (First at 39.8 Hz, on the left and second at 78.4 Hz on the right).*

## CFD Model

Since the speed of the vehicle is quite high, it surely induces turbulent phenomena around the wing: apart from standard conservation relations, additional equations are required to simulate these not negligible effects. The chosen turbulent model was the RNG  $k - \varepsilon$  model (RAMNEFORS, 1996) because it represents a compromise between accuracy and time-cost. It is linked to the fluid dynamics equations by means of the classical turbulent viscosity hypothesis which is:

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

where for this model  $C_\mu = 0.0845$ . Inlet boundary conditions on turbulent quantities are defined on the basis of a percentage of the average kinetic energy  $T_{in} = 0.5u_i u_i$  and of a characteristic length L by means of the following hypothesis:

$$k_{in} = f \times T_{in} \quad \varepsilon_{in} = \frac{C_{\mu}^{3/4} \times k_{in}^{3/2}}{0.07L}$$

where  $f$  assumes values in the range  $0.01 \div 0.1$ , depending on the inlet turbulence level. The fluid dynamic mesh is made of tetrahedral elements: this model in fact allows to obtain a quite refined grid near the wing surface which surely constitutes the portion of the domain most interested by high variable gradients. The element faces on the surface of the wing are coincident with the triangular elements used in the FEM approach to obtain a congruency among boundary nodes. Since turbulence plays a dominant role in the transport of mean momentum and other scalars, it has been necessary to be sure that turbulent quantities are properly resolved. For this reason a preliminary analysis has been performed and results have been compared to those coming from experiments.

### Connecting algorithm

The algorithm which allows to transfer data between two solvers and also to perform the mesh updating is a subroutine written in FORTRAN language. Data translation between the FEM and CFD solver is quite simple because both programs work with ASCII input files. So it is possible to read and process information in an easy way, just keeping format rules and keywords to define objects. Automatic mesh updating is a more complex task. The proposed idea is the following:

1. We start from the basic CFD mesh, which is defined by means of node and elements list and topological information about connectivity among elements.
2. Making the hypothesis that deformation of the wing are quite small, we can assume that the topological connections are the same in whatever conditions. So this information does not need to be updated.
3. Reading the deformations coming from structural solver we can perform this transformation: the nodes on the wing geometry move according to the computed deformation; the nodes on the control volume boundary do not move; nodes in the space between wing and outer boundary move according with proximity rules. It consists to move a node with a displacement law which is the linear combination of the displacements of the nodes on the wing surface weighted with proximity multipliers. It means that the more a node is near to the airfoil surface the more it moves, and it moves with a function depending on the displacement of the nodes in the neighbourhood (DE SIMONE, 2003).
4. Special checks have been introduced to avoid negative volume elements generation or excessive deformation of cells.

### Rigid wing fluid dynamic analysis

Pure fluid dynamics results are here displayed for the rigid geometry: the analysis was performed for speeds up to 300 km/h. Lift and drag are reported in Figure 5, while some sketches concerning pressure fields are reported in Figure 4.

## Deformed wing FEM and CFD analysis

The pressure load coming from preliminary CFD analyses has been transferred as nodal load to the explained FEM model. These data were used to perform a stress-strain analysis of the wing. The deformation of each nodes has been acquired by the connecting algorithm which has been performed an updating of the fluid-dynamic mesh according to the rules previously discussed. So it was possible to run another CFD analysis with a slightly different geometry. The pressure field is then compared to those obtained in the previous analysis. In case of accordance between the two results the iteration stops and the last results are assumed to be the right results. If there is an unacceptable difference the new pressure field is transferred to FEM solver and another structural analysis is performed. The practice shows that the iteration process takes three or four steps to be completed.

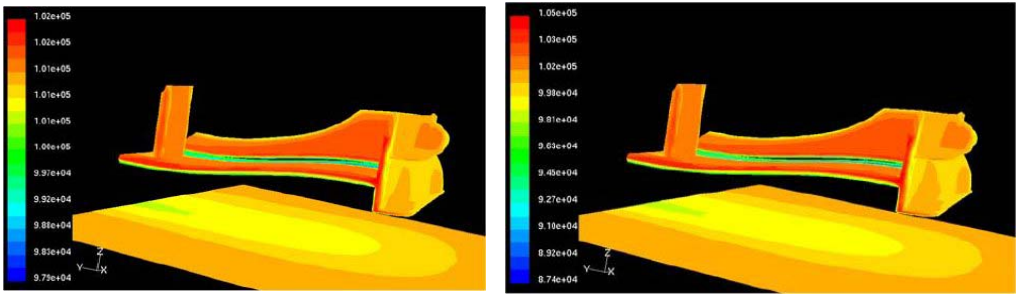


Figure 4: Static pressure fields around the wing: at 100 km/h on the left, at 200 km/h on the left); values are in Pascal

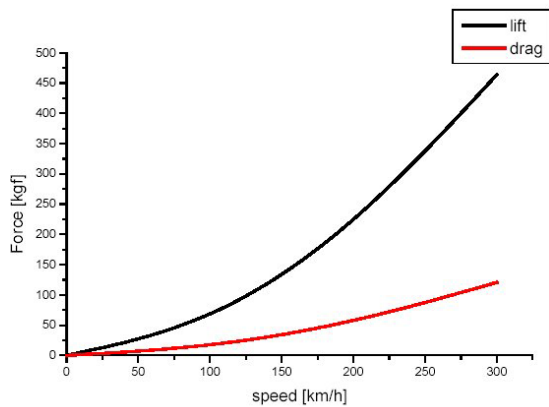
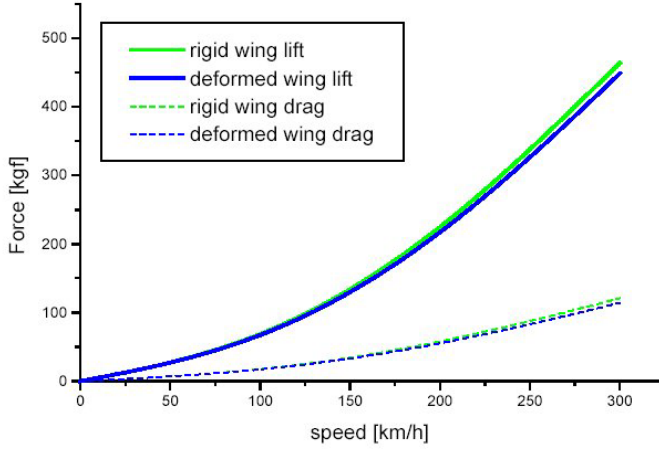


Figure 5: Lift and drag of the wing at different speed

In Figure 6, lift and drag of the deformed wing as function of speed are presented. The deviation from the rigid wing curves gets wider by raising the speed. As it can be observed, the predicted fluid dynamic forces offered by the wing change in a not negligible way by using an integrated approach: the deviation is obviously wider at higher speeds; it can be observed that at 300 km/h drag reduces by 5.5%, while lift reduces by 3.5%: the deformed wing then presents a higher efficiency than the rigid,



even if it produces less desired effect, i.e. the lift. This circumstance would even justify the definition of an inverse numerical procedure which could give the undeformed wing geometry starting from the desired lift and the deformed configuration.



*Figure 6: Comparison between lift and drag of the rigid and deformable wing at different speed*

The FEM results show that the critical areas are the lower airfoil and the nose connection zone where elements show higher stress values. In this case the deformation of the wing (shown in Figure 7) decreases the attack angle and explains the changing of drag and downforce values.

### 3. Assembly errors analysis

The connecting algorithm allows also to perform analyses concerning the influence of assembly errors on wing performances (both drag and downforce). For this purpose starting from the same basic mesh the algorithm can update the position of the nodes simulating the presence of an angular misalignment. This one causes a variation of angle of attack of the airfoils. Also for these analyses the wing is assumed to be deformable and the effect of deformation is taken into account with the same methodology. Figure 7 shows the graphs about the results of the analyses, and Tables 1 and 2 summarize numerical results of the same analyses.

### 4. Conclusions

A numerical fluid dynamic and structural coupled approach to study wings (or in general, objects in a fluid flow) capable of being deformed has been presented in this paper. The final result consists of an identification of the actual wing geometry and a more realistic flow field around the object. The presented integrated methodology results mainly indicate that:

- The use of the integrated methodology is particularly suggested for high velocity vehicles (i.e. 300 km/h), while little difference in the fluid dynamic fields is observed at ordinary speeds (i.e. 100 km/h).

- At high speeds lift and drag parameters are sensibly influenced by the wing deformation, since differences in the range of 4% - 5% have been observed by applying the integrated methodology with respect to fluid dynamic pressure loads.
- The low number of iterations required to achieve the steady fluid dynamic and deformation fields makes the use of the integrated procedure cost-effective especially in terms of time. Moreover this procedure allows the reduction of the number of possible configurations to be tested in the wind-tunnels, which remain the decisive test to be get through.

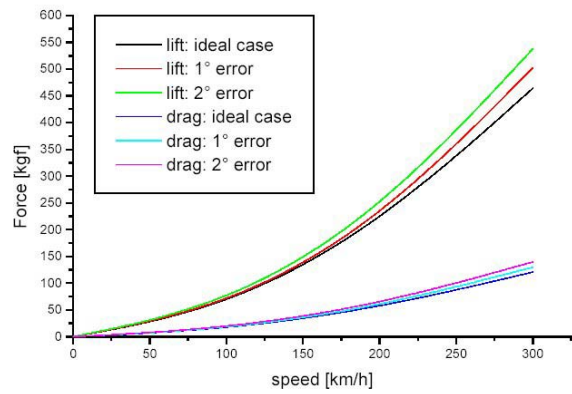


Figure 7: Lift and drag for deformable wing with mechanical errors of inclination

Table 1: Lift of deformable wing as function of speed and assembly error (values are in kgf).

	100 km/h	200 km/h	300 km/h
<b>No error</b>	50.77	200.89	448.58
<b>+1° error</b>	54.47	205.90	480.88
<b>+2° error</b>	58.38	220.80	512.20
<b>-1° error</b>	45.87	117.20	412.92
<b>-2° error</b>	42.22	160.98	375.82

Table 2: Downforce of deformable wing as function of speed and assembly error (values are in kgf).

	100 km/h	200 km/h	300 km/h
<b>No error</b>	13.00	51.10	114.20
<b>+1° error</b>	13.95	53.52	122.59
<b>+2° error</b>	15.00	57.55	130.65
<b>-1° error</b>	12.12	47.15	108.12
<b>-2° error</b>	11.44	44.19	101.13

Results obtained are encouraging and suggest to further investigate the possibilities offered by this procedure. For example the definition of an inverse procedure which could provide the undeformed geometry starting from the deformed one and the given constraints in terms of lift required.

## References

ANDREASSI, L., MULONE, V., VALENTINI, P.P., VITA, L., (2004) *A CFD-FEM Approach to Study Wing Aerodynamics under Deformation*, Proceedings of SAE 2004-01-0444

CORNEY, J., LIM, T., (2001) *3D Modeling with ACIS*, Saxe-Coburg Publications.

DE SIMONE, G. (2003) *Analisi Integrata dell'interazione Fluido-Struttura di un Alettone per Autovetture ad Elevate Prestazioni* (in Italian). First level degree in Mechanical Engineering, University of Rome "Tor Vergata", a.y. 2002-2003

DOMINY, R.G., (1984) *Aerodynamics of Grand Prix Cars*, Proc. Instn. Mech. Engrs.1984 198D 1-7

GUMBERT, C.R., HOU, G.J.W., NEWMAN, P.A., (2001) *Simultaneous Aerodynamic Analysis and Design Optimization (SAADO) for a 3-D Flexible Wing*, 39th Aerospace Science Meeting & Exhibit, Paper n. AIAA 2001-1107.

MASTRACCO, A. (2003) *Analisi del comportamento vibrazionale e fenomeni aereoelastici di un alettone per autovetture da competizione* (in Italian). First level degree in Mechanical Engineering, University of Rome "Tor Vergata", a.y. 2002-2003

PAHL, G., BEITZ, W., (1999) *Engineering Design, a Systematic Approach*, Springer ed.

RAMNEFORS, M. et al. (1996), *Accuracy of Drag Predictions on Cars Using CFD - Effect of Grid Refinement and Turbulence Models*, SAE Paper 960681

SHAW, C.T., (1988) *Predicting Vehicle Aerodynamics Using Computational Fluid Dynamics – A User's perspective*. Automotive Aerodynamics - Society of Automotive Engineers

WOLF-HEINRICH, H., (1993) *Aerodynamics of Road Vehicles*, Fluid Mechanics Annual Review 25: 485-537

## DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA POR MEDIDAS ANTROPOMETRICAS

E. PEZZUTI; A. UBERTINI; G. SOLA; P.P. VALENTINI; L. VITA

University of Tor Vergata  
Department of Mechanical Engineering  
Via del Politecnico, 1  
00133 – Roma, Italy  
ubertini@ing.uniroma2.it

### RESUMEN

La medición de los tamaños antropométricos encuentra empleo en disciplinas médicas, cuales por ejemplo la ortopedia, pero también en otros sectores como la ergonomía, las disciplinas deportivas, el sector del vestuario etc.. Aunque existan manuales por el relieve de los tamaños anatómicos, sin embargo, hasta a ahora, tal operación siempre es desarrollada manualmente por medio de procedimientos no estandarizados; consigue que las medidas tienen errores y no son repetibles. En el mercado son disponibles herramientas de medida, como por ejemplo escáneres láser tridimensionales, pero tienen la desventaja de un precio elevado y la necesidad de empleo por operadores expertos. En este trabajo ha sido diseñado y realizado el prototipo de una máquina barata por el relieve de los principales tamaños antropométricos; paralelamente ha sido desarrollado un software de control de esta máquina, que también tiene la capacidad de memorizar los tamaños medidos y de conducir el operador en todas las fases de la medida. El sistema además tiene la posibilidad de medir el cuerpo en su entereza y también un solo miembro y es conectada por otros programas, desarrollados por los autores, para construir modelos 3D del cuerpo humano por medio de los datos adquiridos.

**Palabras clave:** relieve de los principales tamaños antropométricos, modelos 3D del cuerpo humano.

### ABSTRACT

The measuring of human body has many applications in medical field, like orthopaedics, in the ergonomic studies, in the planning of sport equipment, etc. The measurement operations are usually performed manually by means of non-standardized procedures which can be affected by errors and they can't be easily repeated. Many sophisticated measurement devices are available, but they are very expensive; they are based on three dimensional scanner system and require specialized personnel to be used. In this paper a low cost prototype to measure the principal anthropometric parameters has been designed. Moreover, a dedicated control software has been implemented too. This code can help the user during measurement and

automatically stores the acquired data. The whole system can be used to measure the entire body dimensions and it can be linked to other simulation software developed at the authors' University in order to reproduce an accurate three dimensional model of the human structure.

**Key words:** antropometrics, design of a measurement device.

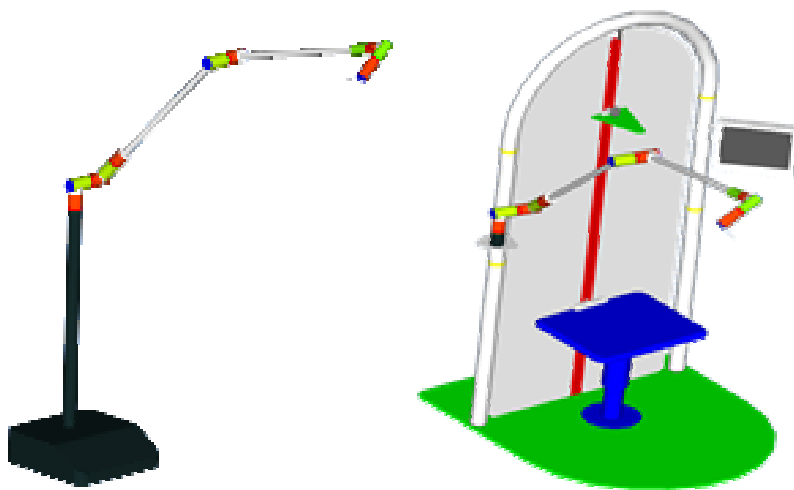
## 1. Introduzione

Il rilevamento delle grandezze caratteristiche del corpo umano come le misure segmentali e i diametri corporei, presenta delle difficoltà oggettive. Il corpo umano, infatti, non essendo un corpo rigido e nemmeno un corpo costituito da materiale uniforme, rende difficile l'individuazione univoca dei punti caratteristici per le misurazioni. Tali punti, detti punti di repere, sono individuati, a seconda del tipo di misura, nella norma UNI EN ISO 7250. Tale norma indica anche il tipo di strumenti che devono essere utilizzati per il reperimento di ciascuna grandezza corporea. Gli strumenti, attualmente in uso, sono il centimetro per le lunghezze segmentali e il calibro per le circonferenze. In letteratura si trovano tecniche di misura particolari come il sistema Doxa che permette di studiare con precisione ogni la densità di ogni tipo di tessuto nel corpo, quindi anche il tessuto osseo. Di contro, però, c'è il fatto che il soggetto sottoposto a misura viene sottoposto a raggi X. Un altro esempio, è l'Armyfit<sup>®</sup> basato sull'utilizzo di uno scanner tridimensionale che acquisisce il soggetto da due lati opposti. Successivamente, la macchina genera il modello solido virtuale in scala 1:1 del soggetto misurato. Tali strumentazioni di misura vengono utilizzate in campi molto particolari con tutte le limitazioni che possono comportare sia dal punto di vista del paziente sia da quello del personale tecnico che le deve usare. Si richiede, infatti, a tale personale una specializzazione elevata ed inoltre questi sistemi di misura hanno un prezzo elevato. I suddetti motivi ne limitano la diffusione a settori particolari. Si è pensato quindi di progettare e realizzare uno strumento che permettesse il reperimento delle misure in maniera abbastanza semplice, senza la necessità di operatori specializzati, che non fosse dannoso per il paziente da misurare e, non ultimo, che avesse un costo di realizzazione basso in modo da renderlo di ampia diffusione in ambienti come le officine ortopediche e gli studi ambulatoriali. Si è realizzato un braccio antropomorfo, passivo, ovvero attuato dall'operatore di misura. Il braccio di misura è dotato, all'interno dei suoi giunti, di encoder rotazionali che registrano la posizione relativa dei vari link. Gli encoder sono collegati ad una scheda di acquisizione che permette, via software, l'elaborazioni dei dati da questi provenienti. In questo modo, una volta aver posizionato l'end-effector del braccio meccanico sui punti di repere del paziente, corrispondenti alla misura da rilevare, si avrà calcolata la distanza tra questi due punti e quindi la misurazione. Infatti, il sistema deve poter essere ripiegato su stesso in modo da occupare lo spazio minimo quando non utilizzato. Si è voluta quindi realizzare una struttura compatta e maneggevole tale da poter essere impiegata facilmente in ambienti sanitari. Le operazioni matematiche sono svolte dal software che tramite la ricostruzione della catena cinematica del sistema di misura, e quindi delle posizioni assunte dai link nello spazio, determina le coordinate dei punti di repere e poi ne calcola la distanza. Così si ottiene la misura in oggetto e può essere memorizzata in un opportuno database. Il software, inoltre permette, la registrazione delle misure per ogni paziente, creando per

ognuno un record in un database, in modo che i dati di ogni singolo paziente siano di facile gestione e consultazione. L'interfaccia con l'utente è stata realizzata in modo da risultare di facile e immediato utilizzo. Inoltre, il software è stato sviluppato per essere utilizzato sulle comuni piattaforme PC. Le applicazioni di una strumentazione integrata di questo tipo, sono molteplici. Con l'attualità della scienza che studia l'interazione tra l'uomo e la macchina si rende necessaria l'esigenza di standardizzare e personalizzare gli ambienti e gli strumenti a diretto contatto con il corpo umano; l'abitacolo di un veicolo, l'ambiente di lavoro manuale, la postazione di lavoro, l'ergonomia degli strumenti di lavoro e per lo sport.

## 2. Descrizione del modello

Il sistema di misura realizzato, fig.1, è costituito da un braccio meccanico antropomorfo corredato da un software per la gestione sia delle misure effettuate sia del database di soggetti misurati, SOLA (2003). Il braccio di misura è costituito da segmenti rigidi chiamati link, di forma tubolare, collegati tra loro da giunti di rotazione. Il misuratore si presenta in forma compatta e con un peso limitato adatto per la movimentazione manuale. L'operatore, infatti, può muovere il braccio di misura fino a portare a contatto l'end-effector con i punti di repere del soggetto da misurare. All'interno di ciascun giunto del braccio meccanico sono montati degli encoder rotazionali che permettono la ricostruzione della posizione assunta dai vari segmenti del braccio durante la misurazione. Il segnale proveniente dagli encoder è trasmesso ad una scheda di acquisizione montata su un PC. Tramite il software di gestione viene ricostruita la catena cinematica del sistema di misura meccanico, e di conseguenza, vengono identificate le coordinate spaziali dell'end-effector e quindi quelle del punto di repere. Ogni singola misurazione è gestibile via software. Questo ultimo, infatti, è stato pensato in modo da poter guidare l'operatore nelle singole operazioni, catalogate seguendo la normativa vigente.



*Figura 1. Il modello CAD del braccio antropomorfo e della stazione di misura*

A differenza degli attuali strumenti adottati per le misurazioni antropometriche, un sistema così fatto permette la ripetibilità delle misurazioni con un errore limitato, garantendo una precisione maggiore. Nei successivi paragrafi si andranno a descrivere in dettaglio le caratteristiche del braccio antropomorfo e del relativo software.

## 2.1. Il braccio antropomorfo

Il braccio, fig. 1, è costituito da 7 segmenti, link, collegati da 6 giunti, nel cui interno sono montati degli encoder rotazionali che ne rilevano l'assetto relativo. Ogni coppia giunto-link, rappresenta un grado di libertà. Il sistema di misura, essendo costituito di 6 coppie giunto-link, ha 6 gradi di libertà. Il link 0, non considerato parte del braccio, è ancorato a una base di appoggio. Proprio nel link 0 è stabilito un sistema di coordinate inerziale; all'ultimo link è collegato un tastatore, l'effettore. I giunti e i link sono numerati in successione partendo dalla base; così il giunto 1 costituisce il punto di connessione fra il link 1 e la base di supporto e a seguire. I giunti sono tutti delle cerniere. Utilizzando la matrice di Denavit – Hartenberg, PENNESTRI' (2002) e VALENTINI (2003), è possibile trasformare le coordinate da un sistema di riferimento all'altro.

$$[T]_i^j = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & -\cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

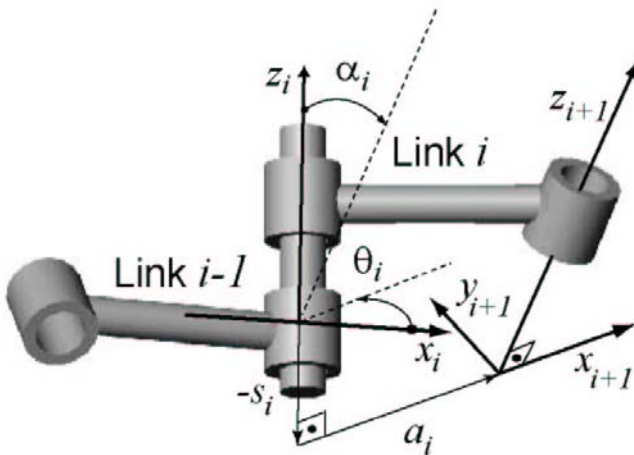
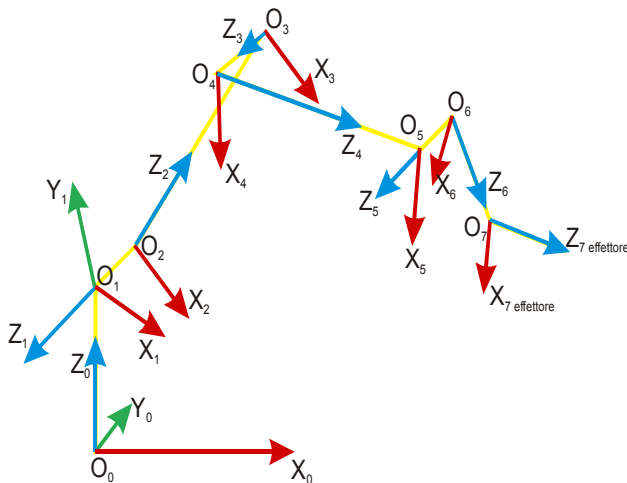


Figura 2. Nomenclatura della matrice di Denavit – Hartenberg

Questa è una matrice di trasformazione omogenea  ${}^{i-1}T_i \in \nabla^{4 \times 4}$  che rappresenta il sistema di coordinate del link  $i$  rispetto al riferimento del link precedente  $i-1$ . La rappresentazione grafica delle grandezze che compaiono nella matrice è riportato nella

fig. 2. Il parametro  $\alpha_i$  esprime l'angolo tra gli assi  $z_{i-1}$  e  $z_i$ , mentre il parametro  $a_i$  la minima distanza tra i due assi. Il movimento angolare tra i membri  $i$  e  $i-1$  è indicato tramite l'angolo  $\theta_i$ .

Pertanto, attraverso opportune trasformazioni, le coordinate dell'effettore, possono essere espresse rispetto al sistema di riferimento inerziale del questo sistema dinamico.

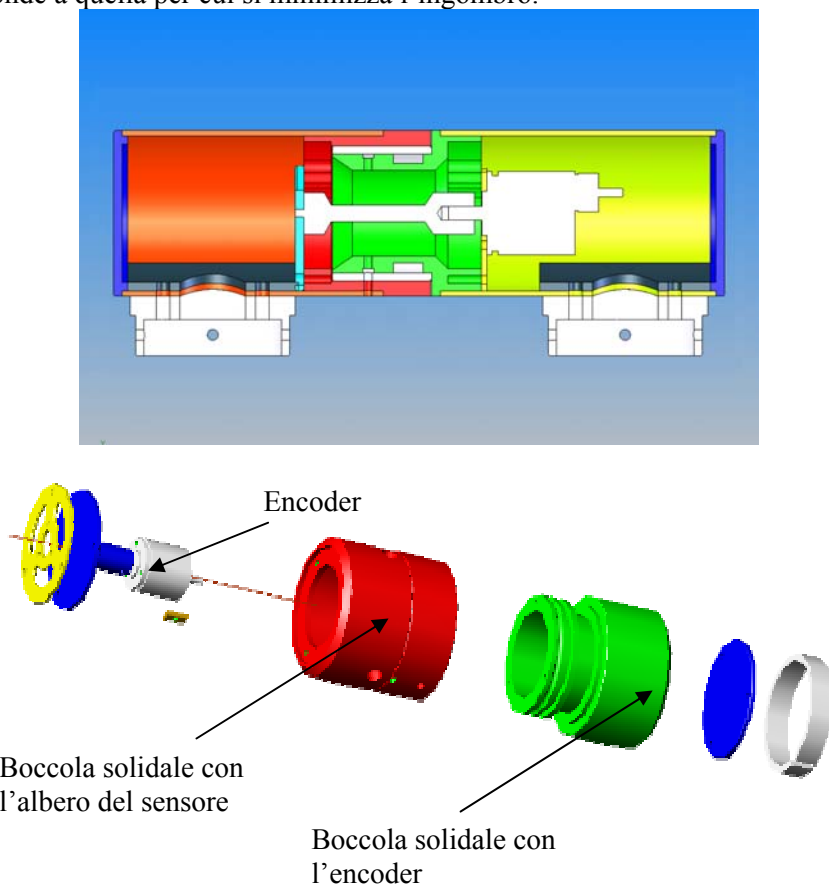


*Figura 3. Sistemi di riferimento del braccio*

In particolare, in fig. 3, è riportata la nomenclatura relativa al nostro caso. Per ogni posizione assunta dal sistema di misura è quindi possibile determinare le coordinate dell'end-effector. Di conseguenza le coordinate del punto di repere vengono calcolate dal software, e visualizzate nel form corrispondente. I vari encoder montati all'interno dei giunti inviano il segnale alla scheda di acquisizione, Sensoray 626, che traduce l'informazione nelle rotazioni relative tra i singoli tratti. I giunti, e quindi i link, sono stati progettati in modo di poter accogliere al loro interno il passaggio dei fili che collegano ciascun encoder con la scheda di acquisizione. Si è inoltre tenuta particolare attenzione nel prevedere delle particolari griglie per l'uscita dei fili degli encoder dai giunti, in modo tale che i fili non si intreccino durante la movimentazione del braccio. Il funzionamento del braccio meccanico si basa sul reperimento delle coordinate del punto di repere tramite il posizionamento su questo ultimo dell'end-effector. Per raggiungere tale scopo, l'utente, movimentando l'end-effector, determina una variazione di assetto dei link della catena cinematica del sistema. I giunti e i segmenti dello strumento di misura sono stati realizzati in Alluminio Anticorodal in modo da rendere la strumentazione particolarmente leggera e quindi adatta alla movimentazione manuale. All'interno dei giunti sono state montate delle frizioni in Delrin per evitare l'utilizzo di cuscinetti che avrebbero apportato un maggiore ingombro radiale e di conseguenza maggior peso. La configurazione scelta del braccio garantisce una condizione di minor peso all'operatore. Infatti, tre dei 6 giunti sono sulla base e quelli movimentati dall'operatore hanno dimensioni inferiori e quindi minor peso; il giunto a sbalzo è sorretto da frizioni. Inoltre, ogni giunto ha dei fine



corsa che impediscono una rotazione superiore a  $360^\circ$  che potrebbe intrecciare i cavi elettrici di controllo dei sensori. Queste caratteristiche consentono all'operatore un'agevole movimentazione e fanno sì che il braccio rimanga, se non utilizzato, nell'ultima posizione assunta. Inoltre, forniscono una posizione certa di configurazione del meccanismo che consente un facile reset dei sensori incrementali, individuando così la funzione di Home del braccio di misura. Tale posizione corrisponde a quella per cui si minimizza l'ingombro.



*Figura 4. Particolari del giunto*

All'interno dei giunti gli encoder sono montati in posizione assiale, fig. 4. Si è, inoltre, provveduto a realizzare un alloggiamento adeguato per i loro cavi arrivando ad un ingombro massimo radiale di 60mm. L'ingombro assiale di ogni singolo giunto dipende dalla necessità di decentrare l'encoder per consentire il passaggio dei cavi con una sezione inferiore, lasciando adeguati spazi per evitare la possibilità di intreccio. In fig. 4 sono evidenziati i due gruppi in movimento relativo. L'albero dell'encoder è collegato rigidamente, mediante un grano, ad un secondo albero opportunamente lavorato, ed alla boccola femmina con una piastra svasata a 'ragno'. Le due boccole assorbono anche la sollecitazione di flessione del giunto e ne consentono il moto rotatorio relativo. Fra i due giunti, come cuscinetto è stata inserita una boccola di Delrin; tale scelta è motivata dalle basse velocità e limitate rotazioni del giunto,

nonché dalla necessità di contenere i pesi, condizioni che hanno sconsigliato l'impiego di cuscinetti volventi, peraltro anche eccessivamente ingombranti. Oltre al dimensionamento ed al calcolo di verifica di tutti i componenti, è stato valutato, mediante un algoritmo appositamente sviluppato, anche il volume di spazio raggiungibile dal braccio, in modo da verificare la possibilità di effettuare tutte le misurazioni necessarie. Solo due link non sono integrati nei giunti. Entrambi sono stati realizzati in un tubolare di alluminio di diametro esterno 30 mm e spessore 3 mm, avvitati e bloccati con un grano alle basette che li agganciano ai giunti. Il modello di encoder scelto è del tipo *Baumer* miniaturizzato che garantisce caratteristiche di compattezza, leggerezza e un numero di impulsi e passi encoder tale da assicurare una buona precisione.

## 2.2. Realizzazione del prototipo

Il prototipo del sistema di misura, fig. 5, è stato, come detto, progettato all'interno della Cattedra di Disegno di Macchine dell'Università di Roma Tor Vergata ed è stato successivamente realizzato in collaborazione con le officine Metalbrico di Roma. La scelta del materiale è stata diversificata tra giunti e segmenti. Per i giunti è stato scelto un Anticorodal o duralluminio per le sue caratteristiche di lavorabilità e di peso. Infatti, la scelta dell'alluminio nelle lavorazioni di asportazione di truciolo non è ottimale, perché il truciolo si rompe in scaglie e impasta l'utensile, rendendo la lavorazione complessa con possibilità di rovinare il pezzo, mentre il duralluminio genera un truciolo continuo e la lavorazione risulta più rapida e sicura. I segmenti sono stati realizzati anche loro in alluminio ma di una lega Peralluman. La scelta è ricaduta su questa lega perché le lavorazioni sui segmenti si limitano a delle filettature interne. Il collegamento a terra fino alla base del sistema di misura, che geometricamente non fa parte del braccio, è in tubolare di acciaio inossidabile AISI 304 X2Cr Ni Mn 19 10. Il basamento, di peso elevato, è in ferro con piedini di appoggio in ottone.



*Figura 5. Il prototipo e alcuni particolari*

Le guarnizioni e le frizioni sono state fatte in Derby, viscoso e tenace, dopo aver effettuato delle prove con il PVC e in ottone da orologeria. Il primo è risultato troppo cristallino e consumabile, il secondo troppo pesante. In ottone OT 58 sono stati

realizzati i dilatatori per le due frizioni del braccio antropomorfo. Le frizioni di minor impegno frenante sono O-ring opportunamente dimensionati. Nella realizzazione del prototipo è stata fatta particolare attenzione al complesso di insieme. Infatti, i collegamenti filettati a vista sono stati realizzati in acciaio inossidabile.

### 2.3. Il software di gestione

Il software di gestione, fig. 6, è stato in sviluppato in Visual Basic in modo da poter creare un'interfaccia utente di tipo *user friendly* tale da facilitare le operazioni di misura e gestione del database. Mediante tali finestre è possibile visualizzare in *real time* i valori misurati ed inoltre l'operatore viene guidato *step by step* in tutte le diverse fasi del processo di misura. La schermata iniziale prevede l'inserimento dei dati anagrafici del soggetto da misurare. Le varie fasi sono organizzate secondo una sequenza logica ed intuitiva: dalla schermata iniziale, con l'inserimento dei dati anagrafici del soggetto da misurare, viene creato un file record in un database, in modo che le misure siano reperibili per un controllo successivo o per un aggiornamento, come ad esempio per un individuo in crescita. L'utilizzatore può in questo menu scegliere quali misure effettuare sul soggetto misurato. I gruppi delle misurazioni sono quelli riportati di seguito e seguono le indicazioni della norma UNI EN ISO 7250: *Tutto il corpo, Arti Superiori, Arti Inferiori, Tronco e Testa, Diametri Scheletrici, Misure Funzionali, Misure di Volume, Morfologiche Somotipali, Misure Singole, Misure Libere*. Ciascuna scelta implica l'apertura di un form specifico, tranne nel caso corrispondente alla voce *Misure Libere*, con il quale è possibile usare il braccio antropomorfo come se fosse un misuratore qualsiasi. Per ciascuna misura, sullo schermo sono visualizzate le coordinate del punto dell'effettore e la distanza tra due punti. Infatti, una volta individuato il punto di repere, l'utente può registrare le relative coordinate tramite la pressione del primo dei due tasti presenti sull'end-effector.

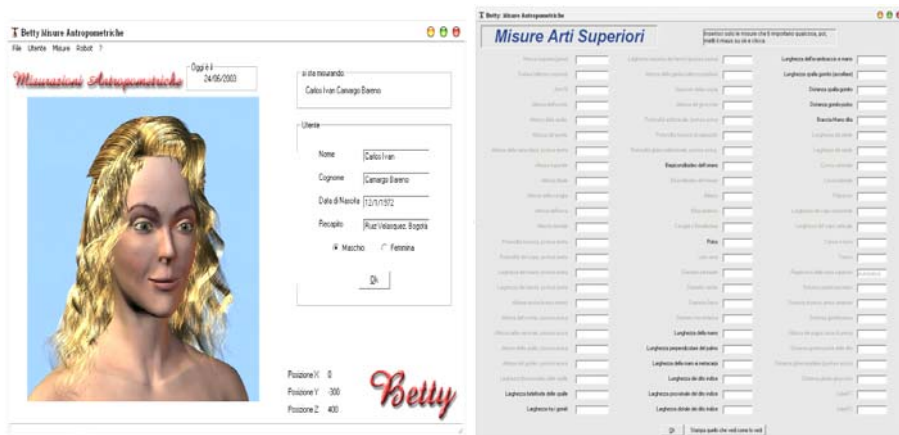


Figura 6. Schermata del software

Seguendo lo stesso procedimento, ma premendo il secondo tasto sull'end-effector, si memorizzano le coordinate del secondo punto di repere. Dopo l'immissione di questi dati di input, il software calcola la misura antropometrica di interesse, memorizzandola nell'apposito record del database. Ogni misura è individuata da un

proprio numero identificativo, ID, che viene richiamato all'interno delle routine del software. Inoltre, per minimizzare il rischio di errore da parte dell'operatore, in ciascun form è stata inserita figura rappresentava il tipo di misura che si andrà ad acquisire, fig. 7. Inoltre le misure rilevabili sono state scelte in accordo, oltre che con la normativa precedentemente citata, con i principali manuali di standardizzazione e misurazione antropometrica, TIMOTHY et al. (1997) e RUSSE et al. (1980). Le finestre inoltre segnalano graficamente, oltre ai punti da rilevare, anche la postura che il soggetto deve assumere durante la misurazione; per ogni misura da effettuare quindi è stata realizzata un'immagine che rappresenta il soggetto o il particolare arto, nella postura corretta ed i punti da toccare con il tastatore per effettuare il rilievo. E' possibile inoltre rilevare le misure scheletriche. Come già accennato, nel software è implementata la matematica per la ricostruzione della cinematica inversa, necessaria per la determinazione delle posizioni assunte dal puntatore del braccio.

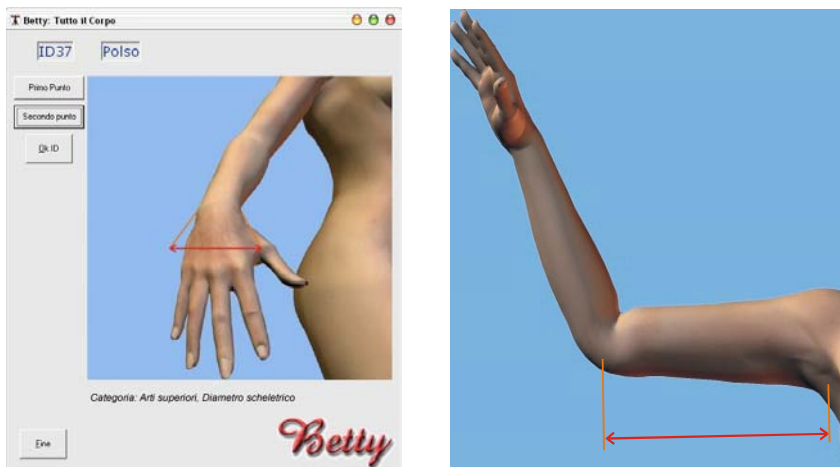


Figura 7. Finestra grafica per l'immissione di una misura antropometrica

Una volta registrate le misure antropometriche del soggetto in esame queste sono messe a disposizione della routine *Somotipi6* che individua, secondo delle lunghezze caratteristiche, la tipologia di persona più prossima a quella misurata secondo la catalogazione presente nella letteratura. Inoltre, è stato generato un protocollo di comunicazione tra questo software e il software HuMAN, PEZZUTI et al. (2002), in modo da poter costruire il modello virtuale del soggetto misurato. Infatti, una volta disponibili le misure antropometriche tramite il sistema di misura fin qui descritto, HuMAN realizza il corrispondente modello in un software di tipo *multibody*. In questo modo è possibile dedicare il modello virtuale alla riproduzione e analisi del movimento, con la relativa misurazione delle forze. Inoltre, lo stesso modello può essere utilizzato per la costruzione di apparati dedicati, come l'allestimento di abitacoli di autovetture per disabili. Con riferimento allo stato attuale, si prevede per l'attrezzatura un costo di produzione oscillante fra i 3500 e i 4500 euro, scheda di acquisizione compresa, più il costo di un personal computer in configurazione standard. E' evidente che i costi sono sensibilmente influenzati dai volumi di produzione. Per numeri elevati è prevedibile una sensibile riduzione degli stessi.

### **3. La taratura della macchina**

Il sistema realizzato è stato tarato mediante l'impiego di una piastra con markers realizzati mediante macchine a controllo numerico, con precisione del centesimo di millimetro. Nella varie misure il sistema ha mostrato, oltre la ripetibilità delle rilevazioni, errori massimi sempre inferiori al centimetro, valore questo ottimale per il campo di applicazioni cui è destinato il sistema. Inoltre sono stati rilevati dei soggetti, di sesso sia maschile che femminile, e sono stati costruiti i modelli CAD dei soggetti misurati mediante di software HuMan sviluppato da alcuni degli autori. Tali misure hanno confermato la validità del sistema realizzato

### **4. Conclusioni**

E' stata ideata e progettata una macchina per misure antropometriche a basso costo. Della stessa ne è stato realizzato un prototipo completamente funzionante. Parallelamente è stato sviluppato il software per il controllo completo del sistema, che consente inoltre di gestire il database dei pazienti, memorizzare ed elaborare i dati acquisiti e guidare l'operatore nelle varie fasi della misura. Particolare attenzione è stata posta nel realizzare un sistema di rapido e facile impiego che ne consenta l'utilizzo anche a persone senza particolari competenze tecniche. La facilità d'impiego, i volumi di ingombro, la precisione delle misure effettuabili e non ultimo il costo produttivo ne consentono l'impiego non solo in officine ortopediche specializzate, ma anche in ambulatori ed in settori affini quali il biomeccanico, studi ergonomici, medicina sportiva ed anche settori non medicali, quali ad esempio quello sartoriale. Il software è predisposto per l'interfacciamento con altri programmi sviluppati dagli autori che consentono, sulla base delle misure effettuate, la creazione di modelli 3D CAD del corpo umano utilizzabili in analisi di tipo multibody e nello sviluppo di modelli vibrazionali. L'integrazione di tali algoritmi, oltre che l'affinamento e il miglioramento dei componenti, sarà oggetto di sviluppi futuri.

### **Bibliografia**

PENNESTRÌ, E. *Dinamica tecnica e computazionale*, Casa ed. Ambrosiana, 2002.

PEZZUTI, E., et al, *Modelizzazione CAD 3D del cuerpo humano y aplicacion para l'analisi del movimento*, XIV Congresso INGEGRAF, 2002.

RUSSE O. A., et al., *Semiotica e diagnostica ortopedica*, Edizione Aulo Gaggi Editore, Bologna 1980.

SOLA, Giorgio *Progettazione e Realizzazione di un Sistema Integrato per Misure Antropometriche*, Tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica, 2003.

TIMOTHY G., et al. *Manuale di riferimento per la standardizzazione antropometrica*, Edizione EDRA Medical Publishing & New Media, Milano 1997.

VALENTINI, P.P., et al. *Control and virtual reality simulation of tendon driven mechanism*, IDMEC/IST, Lisbon, Portugal, 2003.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INCORPORACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE RELIEVE A LAS CLASIFICACIONES DE VEGETACIÓN REALIZADAS CON IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+

ALVAREZ DE PRADO, Laura (1); VALLE FEIJÓO, Miryam Elena (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de León, España

Area de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Correo electrónico: dimlap@unileon.es

<sup>(2)</sup>Universidad de León, España

Area de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Correo electrónico: dimmvf@unileon.es

### RESUMEN

La caracterización de las unidades de vegetación mediante imágenes de satélite constituye una alternativa a la tradicional confección de mapas de ocupación. En este trabajo se expone una metodología de clasificación, que esté basada en el procesado digital de imágenes de satélite multiespectrales. Utilizando imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ se han realizado varias clasificaciones supervisadas para la obtención del mapa de unidades de vegetación. Por otro lado también se ha estudiado la introducción y evaluación de diferente información extraída del Modelo Digital de Elevaciones del terreno, para cuantificar la mejora que supone en las clasificaciones de vegetación espontánea la integración en las mismas de dichas características de relieve.

Los resultados, comprobados mediante diversas visitas de campo, se han evaluado por separado y conjuntamente (integrando la información multiespectral que nos ofrece la imagen con la información topográfica que nos ofrecen las características derivadas analíticamente del Modelo Digital). La metodología aporta un gran potencial en cuanto a la integración de otras fuentes de información, topográficas o espaciales, para la mejora de los resultados obtenidos con las simples clasificaciones espectrales.

**Palabras clave:** Landsat 7, Clasificaciones, Modelo Digital de Elevaciones.

# ABSTRACT

The characterization of vegetation units by means of satellite images is an alternative to the traditional preparation of occupation maps. In this work, a classification methodology, based on the digital processing of satellite multispectral images, is exposed. Using Landsat 7 ETM+ satellite images have been made several supervised classifications in order to obtain a map of vegetation units. On the other hand, it has also been studied different information, extracted from the Digital Elevation Model, quantifying the vegetation classification improvement when these characteristics are included.

The results, verified by mean several field works, has been evaluated independently and jointly (integrating the multispectral information from the image with the topographic characteristics derived analytically from the Digital Model). The methodology offers a great potential as far as the integration of topographic or spatial information sources with the aim of improve the results obtained with simple spectral classifications.

**Key words:** Landsat 7, Classifications, Digital Elevation Models.

## 1. Introducción

En la provincia de León los ecosistemas forestales de zonas de montaña son muy abundantes. La determinación de unidades de vegetación con el simple empleo de trabajos de campo y fotografías aéreas es una tarea por un lado costosa y por otro complicada debido al difícil acceso de algunas zonas. El empleo de imágenes de satélite se presenta como alternativa a bajo coste, ofreciendo una visión clara y amplia del territorio, así como información espectral y posibilidad de seguimiento en el tiempo.

El objetivo principal de este estudio es la definición de una metodología de clasificación de imágenes de zonas forestales en diferentes unidades de vegetación, basadas en el procesado digital de imágenes Landsat 7 ETM+. Asimismo se estudia la inclusión en las clasificaciones de distinta información extraída del Modelo Digital de Elevaciones, para cuantificar la mejora que supone la utilización de estas características en la obtención final de mapas de ocupación.

Los datos obtenidos se evaluaron con la ayuda de diversos trabajos de campo, incorporando de esta forma las metodologías tradicionales.

## 2. Material Empleado

Para la obtención de información espectral se ha empleado una imagen Landsat 7 ETM+, correspondiente a la escena 203/031 adquirida el 17 de Junio de 2000 a las 10:59:23.0 GTM. Dicho sensor proporciona una imagen de 8 bandas en el espectro electromagnético con una resolución espacial de 30 m x 30 m, excepto en la banda térmica (120 m x 120 m) y en la pancromática (15 m x 15 m).

Se ha utilizado un Modelo Digital de Elevaciones de 25 m de paso de malla para la extracción de la información topográfica.

Como información auxiliar se ha contado con mapas topográficos a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército de Castrocontrigo (hoja nº 230), así como a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional de Tabuyo del Monte (hoja nº 230-II) y de Castrocontrigo (hoja nº 230-IV). Se ha dispuesto también de fotografías aéreas en color a escala 1:10.000, realizadas en Septiembre de 2000 por la Junta de Castilla y León.

### **3. Desarrollo del Trabajo**

#### **Zona de Estudio**

El área cubierta por el estudio se encuentra situada al sur de los montes de León y está comprendida entre los 42°12' y los 42°21' N y entre los 6°13' y los 6°20' W. La altitud de la zona oscila entre los 950 y los 1.200 metros.

Esta Sierra se caracteriza por poseer las únicas masas naturales de *Pinus pinaster* de la provincia de León, siendo esta la especie principal por su superioridad numérica. Como especies secundarias se encuentran árboles no autóctonos, como el *Pinus sylvestris* y el *Pinus nigra* y algunas masas de robledal (*Quercus pyrenaica*).

#### **Tratamientos previos**

En primer lugar y antes de efectuar algún tratamiento sobre la imagen, se realizaron varias combinaciones de bandas para sintetizar o incrementar la información espectral de la imagen. Se trabajó fundamentalmente con la combinación 4-3-2, asignando los colores rojo, verde y azul respectivamente, así como con la 3-5-4 y la 3-2-1.

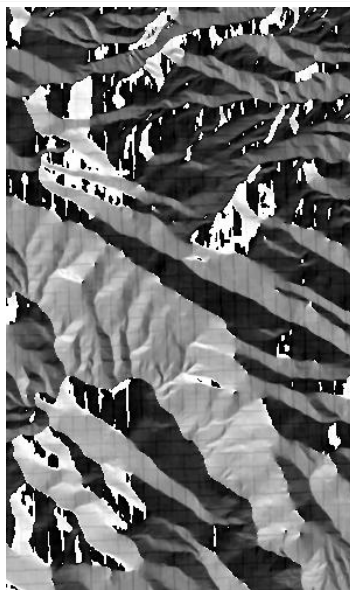
Previamente a las clasificaciones se llevó a cabo una corrección geométrica para georreferenciar la información a la proyección cartográfica U.T.M.. Para ello se identificaron, tanto en la imagen como en los mapas topográficos y fotografías aéreas, 28 puntos de control, convenientemente repartidos por la zona de estudio. Usando un polinomio de ajuste de segundo orden, se evaluó la bondad de su ajuste midiendo la importancia de sus residuales, obteniéndose un error medio cuadrático (RMS) de 0.59423. Para efectuar la corrección se empleó el método del vecino más próximo ya que supone menor transformación de los niveles digitales originales.

El Modelo Digital de Elevaciones se remuestreó a 30 m/píxel, para igualar su resolución espacial a la de la imagen. A partir del MDE se generaron dos imágenes de variables derivadas de las características de relieve, que posteriormente se incluyen como bandas auxiliares de la imagen con el objeto de mejorar los resultados de la clasificación digital. En primer lugar se generó un “mapa de pendientes”, basado en el cálculo de la pendiente de un plano de ajuste de 3x3 en cada celda del MDE y codificando los resultados para su representación gráfica en una escala de grises. Después se generó un “mapa de orientaciones”, estimado mediante un algoritmo, que calculó la orientación del plano de ajuste a los ocho vecinos más próximos a cada celda.





- Mapa de pendientes -



- Mapa de orientaciones -

*Figura 1: Mapa de pendientes y de orientaciones.*

## **Clasificación supervisada**

Entre los métodos de clasificación se decidió el supervisado que supone un conocimiento previo de la zona de estudio y permite seleccionar áreas para el entrenamiento del clasificador.

La definición de las unidades forestales se llevó a cabo teniendo en cuenta las características de la Sierra y se concretaron las siguientes: BD (Bosque denso de pinos que ocupan más del 70% de la superficie), MD (Matorral denso con especies arbóreas ocupando pequeñas superficies), RMD (Robledal de mediana densidad, mezclada con vegetación arbustiva), MDR (Matorral denso con roble), MBD (Matorral de baja densidad, junto con vegetación herbácea), V (Vegetación herbácea), R (Zonas rocosas), U (Zonas urbanas), A (Zonas cubiertas de agua) y C (obras de infraestructura).

Para efectuar las clasificaciones se tomaron muestras de aprendizaje siguiendo un muestreo sistemático estratificado no alineado, con la ayuda de las fotografías aéreas en color y varios trabajos de campo. Se designaron 98 parcelas de entrenamiento con un tamaño medio de 22 píxeles, lo que supone un 1.45 % de la superficie clasificada. Las categorías mostraron una alta separabilidad, basada en la distancia de Jeffries-Matusita, todas ellas por encima de 1.53 (reescalado el índice hasta un máximo de 2.0).

La fase de asignación de píxeles se realizó definitivamente siguiendo el método del clasificador de máxima probabilidad, ya que en primer lugar se ensayaron otros clasificadores (mínima distancia, paralelepípedo y distancia mahalanobis), pero todos ellos ofrecían unos resultados entre un 11 y un 23 % más bajos.

Tabla 1: Clasificaciones efectuadas

Bandas	Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Clas. 5
ETM 1 a 5	Si	Si	Si	Si	Si
ETM 6	Si		Si	Si	Si
ETM 7	Si	Si	Si	Si	Si
Pendientes	-	-	Si	-	Si
Orientaciones	-	-	-	Si	Si

Se realizaron diversas clasificaciones aplicando a cada una de ellas diferente número de bandas, entre las que se encuentran las siete bandas de la imagen Landsat ETM+ y las características obtenidas de Modelo Digital de Elevaciones (pendientes y orientaciones), según se indica en la tabla adjunta:

Verificación

Posteriormente de las clasificaciones y con objeto de estimar la exactitud de las mismas, se seleccionaron 87 parcelas de verificación (1.32 % de la superficie total), siguiendo el método de muestreo sistemático estratificado no alineado. A dichas parcelas se le asignó un verdadero uso del suelo mediante trabajos de campo y de fotointerpretación de las imágenes aéreas.

A continuación se compararon los resultados de las diferentes clasificaciones llevadas a cabo con los de verificación, mediante la matriz de confusión. Esta indicará el número de puntos de verificación coincidentes, así como los errores de asignación, tanto por omisión como por exceso.

Resultados y discusión

Las fiabilidades globales obtenidas, es decir, el porcentaje total de aciertos en la asignación de píxeles a cada clase, se recogen en el gráfico adjunto; donde se encuentran los valores resultantes para cada una de las cinco clasificaciones realizadas.

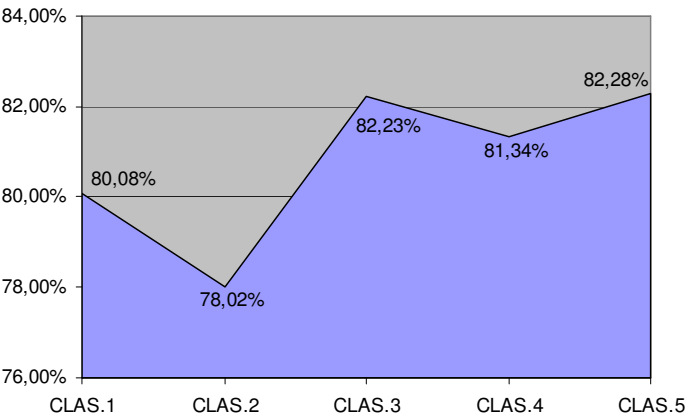


Figura 2:Fiabilidades globales de las clasificaciones.

En el gráfico se puede observar que la utilización de las siete bandas del sensor ETM obtiene una aceptable fiabilidad global (80.08 %), pero ésta se ve modificada

por la introducción de bandas auxiliares. La eliminación de la banda térmica reduce en conjunto en torno a un 2 % la fiabilidad, aunque también se estudió con posterioridad como influye en las distintas categorías.

La introducción de imágenes obtenidas a partir del Modelo Digital de Elevaciones mejora la fiabilidad global de la clasificación. Estudiando por separado la imagen de pendientes o la de orientaciones, junto con las siete bandas Landsat, se puede ver que ambas mejoran los resultados. Pero también se estudiaron conjuntamente (Clas. 5) aumentando en este caso la fiabilidad global un 2,2 % respecto a la clasificación sin introducción de variables.

Se estudiaron también las fiabilidades del productor y usuario (figura 3) de todas las categorías y su incremento que se manifiesta en el aumento de la superficie del polígono, al integrar las distintas variables.

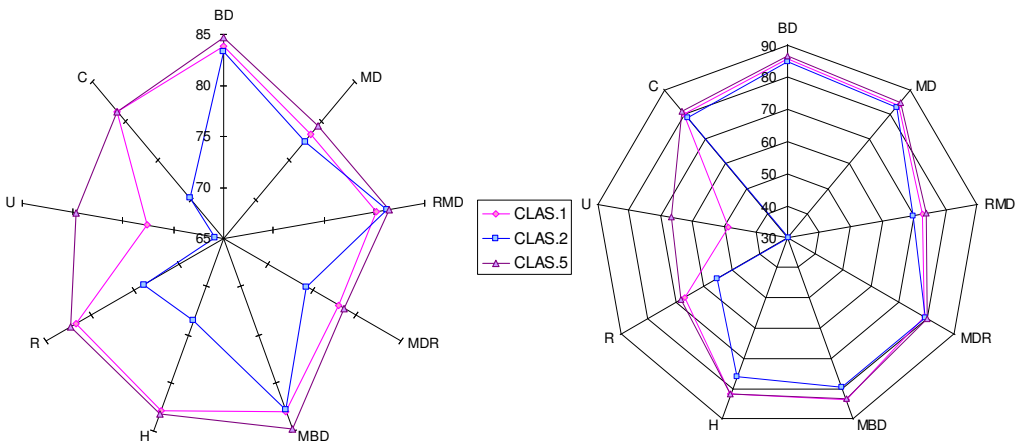


Figura 3: Fiabilidad del productor (izquierda) y del usuario (derecha).

Se puede observar en los gráficos que en general y en casi todas las categorías las mejores fiabilidades, tanto de productor como de usuario, las ofrece la clasificación conjunta de bandas ETM, pendientes y orientaciones.

La figura 4 representa la imagen clasificada obtenida empleando las siete bandas del sensor y las dos variables topográficas; es decir, la que obtuvo los datos más altos de fiabilidad

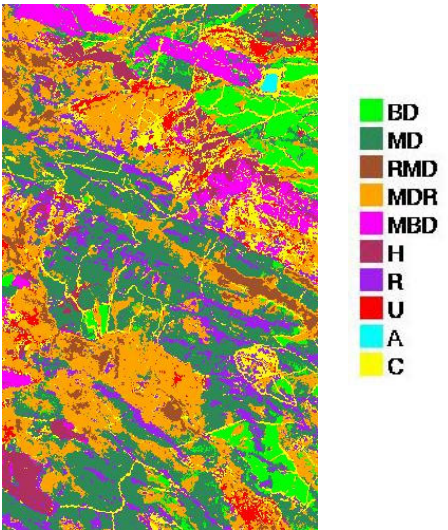


Figura 4: Clasificación definitiva.

## 4. Conclusiones

Las matrices de confusión muestran en general unos porcentajes de error aceptables, lo que implica unos índices de fiabilidad global que se pueden considerar buenos (siempre superiores al 78 %).

Los resultados obtenidos muestran como la inclusión en las clasificaciones de bandas derivadas del Modelo Digital de Elevaciones, como pendientes y orientaciones, permiten caracterizar la vegetación de una forma más exacta que el tradicional y sencillo análisis de la información espectral. Asimismo los resultados mejoran en todas las categorías de los diferentes tipos de vegetación, por lo que se considera aconsejable su utilización en casos similares para poder aumentar las fiabilidades obtenidas.

Las categorías referentes a zonas sin vegetación (rocas, obras de infraestructura, zonas urbanas) ofrecen los peores resultados, pero en este caso el objetivo era clasificar la vegetación forestal, que corresponde a las categorías con valores los más altos de las fiabilidades.

Los resultados plantean interesantes posibilidades para la continuidad del estudio de la zona. En primer lugar extender el estudio a toda la Sierra, ya que toda ella posee el mismo tipo de vegetación y dispone de zonas de difícil acceso para la aplicación de técnicas más tradicionales. Por otro lado el estudio e integración en las clasificaciones de otras características derivadas del modelo de elevaciones, así como de información espacial.

## Referencias

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*, Ediciones Rialp, Madrid.

Congalton, R., Green, K. (1993). "A practical look at the sources of confusion in error matrix generation" *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 59(5), 641-644.

Florinsky, I. V., (1998). "Combined analyse of the digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigation", *Progress in Physical Geography*, London, 22, 1, 33-60.

Jensen, John R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall

Pinilla, C. (1995). *Elementos de Teledetección*, Ed. Ra-ma, Madrid.

Proy, C.; Tanre, D.; Deschamps, P.Y. (1989). "Evaluation of Topographic effects in remotely sensed data", *Remote Sensing of Environment* 30,21-32.

Ruiz, L.A.; Pardo, J.E.; Porres de la Haza, M.J.; Fernández Sarría, A. *Relaciones entre las características de modelos digitales de elevación y texturas aplicadas al análisis de la vegetación*, en S. Castaño y A. Quintanilla (ed.). Teledetección. Avances y Aplicaciones, pp 76-79, Asociación Española de Teledetección, Albacete (España), 1999.

Story, M.; Congalton, R. (1986). "Accuracy assessment: a user's perspective", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 52, 397-399.

Word, Joseph (1996). *The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models*, Ph.D.Thesis, University of Leicester, UK.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### MONITORIZACIÓN GRÁFICA DE PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE TERMOGRAFÍAS

BELLO GARCÍA, Antonio (1); MENÉNDEZ FERNÁNDEZ, César (2);  
DE COS JUEZ, Francisco Javier (3); RODRÍGUEZ MONTEQUÍN, María Teresa (4)

<sup>(1)</sup>Universidad de Oviedo, España  
Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación  
Correo electrónico: abello@uniovi.es

<sup>(2)</sup>Departamento de Matemáticas  
Correo electrónico: cesarm@scig.uniovi.es

<sup>(3)</sup>Departamento de Explotación de Minas  
Correo electrónico: decos@api.uniovi.es

<sup>(4)</sup>Departamento de Explotación de Minas  
Correo electrónico: mayte@api.uniovi.es

### RESUMEN

El proceso de galvanizado está fundamentalmente condicionado por la etapa de inmersión del material en el baño y el control de su recubrimiento a la salida. En una línea de galvanización continua el control de espesor se realiza mediante el empleo de cuchillas de aire. Estas, colocadas a ambos lados de la banda, soplan aire a una presión adecuada para conseguir escurrir el Zn líquido sobrante hasta dejar sobre la banda el recubrimiento deseado.

Este sistema presenta dificultades de homogeneidad que son detectados únicamente mediante la medida del espesor de recubrimiento en tres zonas concretas de la banda, empleando una galga radioactiva. Dicho proceso de inspección resulta insuficiente y debido dificulta la adecuada regulación del proceso.

El presente artículo describe los trabajos realizados en el proyecto de diseño de un sistema basado en técnicas inteligentes que, utilizando la información extraída de una cámara termográfica, permita un control exacto de la evolución del proceso de recubrimiento y enfriamiento de la banda galvanizada. Así mismo el sistema expuesto permitirá actuar sobre la posición de una campana de enfriamiento por soplado, en base a información adicional extraída del proceso. Este trabajo se realiza dentro del marco de un proyecto europeo subvencionado por CECA.

**Palabras clave:** galvanizado, termografía, técnicas inteligentes, control de procesos, simulación numérica, aplicaciones y desarrollos

## ABSTRACT

The main objective of this project is to develop a model to control the quality of the strip coating in a galvanizing line using the thermal information provided by an infrared camera. The system will be used as a way of surveillance of the installation conditions and to determine changes as a condition monitoring virtual sensor. This system will be tested at the Galvanization Line Number 2 at Aceralia-Avilés

**Key words:** galvanizing, thermography, intelligent techniques, process control, numerical simulation, applications and developments.

## 1. Introducción

Hoy en día, la política comercial de las grandes empresas siderúrgicas está dirigida hacia la venta de productos de mayor valor añadido, como son los aceros recubiertos, fundamentalmente electrocincado y galvanizado, que están experimentando una creciente demanda en sectores tales como la automoción, electrodomésticos y construcción.

El recubrimiento galvanizado es un método de protección contra la corrosión, que consiste en la disposición de moléculas de metal protector sobre el material a proteger. Este metal protector acostumbra a ser el zinc por sus excelentes, y muy características propiedades ante la corrosión, acompañado en menor medida de aleantes para mejorar las propiedades de adherencia.

Se denomina CHAPA GALVANIZADA a la obtenida haciendo pasar banda de acero, acondicionada superficialmente, por un baño de cinc de forma continua, adhiriéndose y reaccionando éste con el acero base dando lugar a una capa de cinc de espesor variable, una vez solidificado.

La Galvanización es uno de los procesos más efectivos para proteger el acero de la corrosión atmosférica.

Arcelor Corporación Siderúrgica, en sus líneas de galvanización en continuo de Avilés, Echévarri y Sagunto, produce chapa y bobina galvanizada a partir de las distintas calidades de la banda de acero base laminada en frío, de acuerdo al uso final requerido del producto.

Dentro del proceso de recubrimiento resulta de vital importancia la adecuada solidificación del cinc líquido sobre la banda. Un enfriamiento inadecuado conduce a distribuciones no uniformes de cinc lo que conlleva defectos superficiales que, en definitiva, reducen la calidad del producto.

Los sistemas de supervisión que el grupo Arcelor posee en sus instalaciones de Avilés se reducen a una medida puntual de los espesores de recubrimiento en tres zonas concretas de la banda, empleando para ello una galga radiactiva conocida como Sentrol.

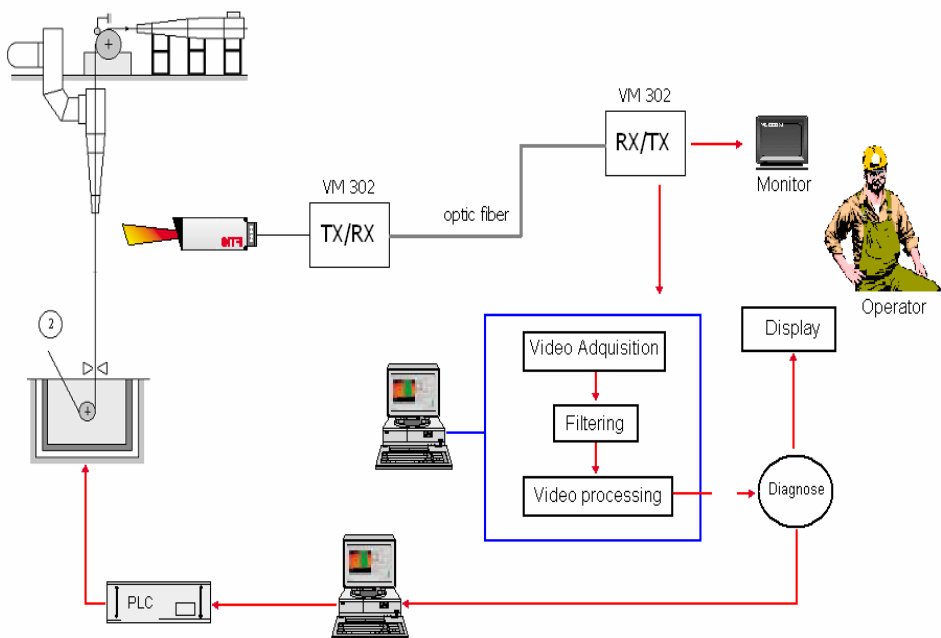
Este sistema de supervisión resulta insuficiente tanto por lo limitado de su muestreo, como por el hecho de que la mencionada galga se encuentra situada a una considerable distancia del pote de galvanizado. Todo ello redunda en un insuficiente sistema de control con una capacidad de actuación inadecuada a las necesidades del proceso.

El presente artículo muestra los esfuerzos realizados por las Áreas de Expresión Gráfica en la Ingeniería, Matemática Aplicada y Proyectos de Ingeniería de la Universidad de Oviedo para dotar a la planta de un sistema de supervisión de alto rendimiento, se pretende que dicho sistema sea versátil y que permita una realimentación constante al proceso de las condiciones de la banda en el preciso instante en el que está sale del pote de galvanizado.

El nuevo sistema de supervisión propuesto permite una inspección visual inmediata del proceso de enfriamiento, así como un análisis basado en datos de las condiciones de proceso que optimizarían el proceso.

## 2. Descripción de los equipos empleados

El entorno de supervisión propuesto está basado en una cámara termográfica situada frontalmente a la zona de enfriamiento de la banda de acero galvanizada. La señal de video proveniente de la cámara es transmitida a través de un cable de fibra óptica hasta la cabina de control del proceso, donde se deriva a un monitor para uso de los operadores, así mismo dicha señal es capturada por un ordenador de proceso donde se realiza un tratamiento de la misma (Ver figura 1).



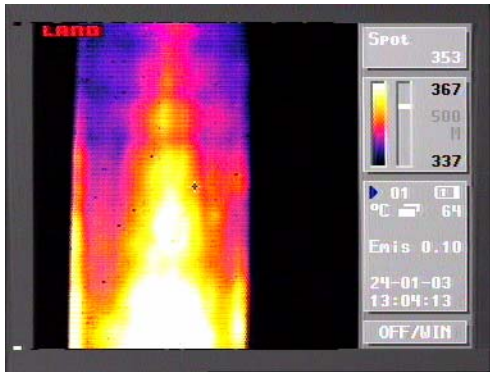
*Figura 1. Configuración general del sistema de supervisión.*



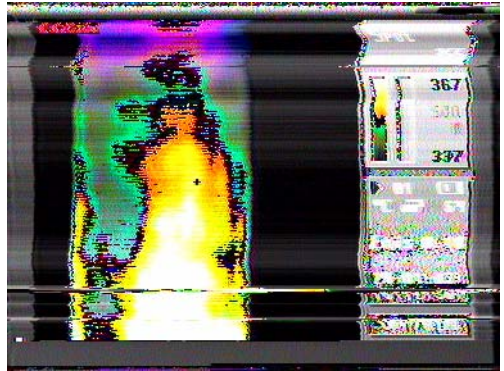
La elección del sistema de transmisión basado en fibra óptica es el resultado de descartar una primera idea de comunicación inalámbrica basada en microondas. Este sistema inalámbrico fue descartado a pesar de la evidente ventaja que suponía no tener que cablear la zona de producción, debido a las ocasionales interferencias generadas por el pote de inducción.

En la figura 2 puede apreciarse una comparación entre la imagen obtenida a través del sistema óptico con respecto al sistema basado en microondas donde es fácil apreciar las ventajas en cuanto a calidad del primero.

Como una posible mejora para futuros proyectos de colaboración se ha dejado abierta la posibilidad de actuación sobre una campana de enfriamiento, situada horizontalmente por encima de la zona de trabajo de la cámara termográfica



*Transmisión por fibra óptica*



*Transmisión por microondas*

*Figura 2. Comparativa de las imágenes adquiridas con los distintos métodos de transmisión.*

### 3. Procesamiento de la imagen térmica

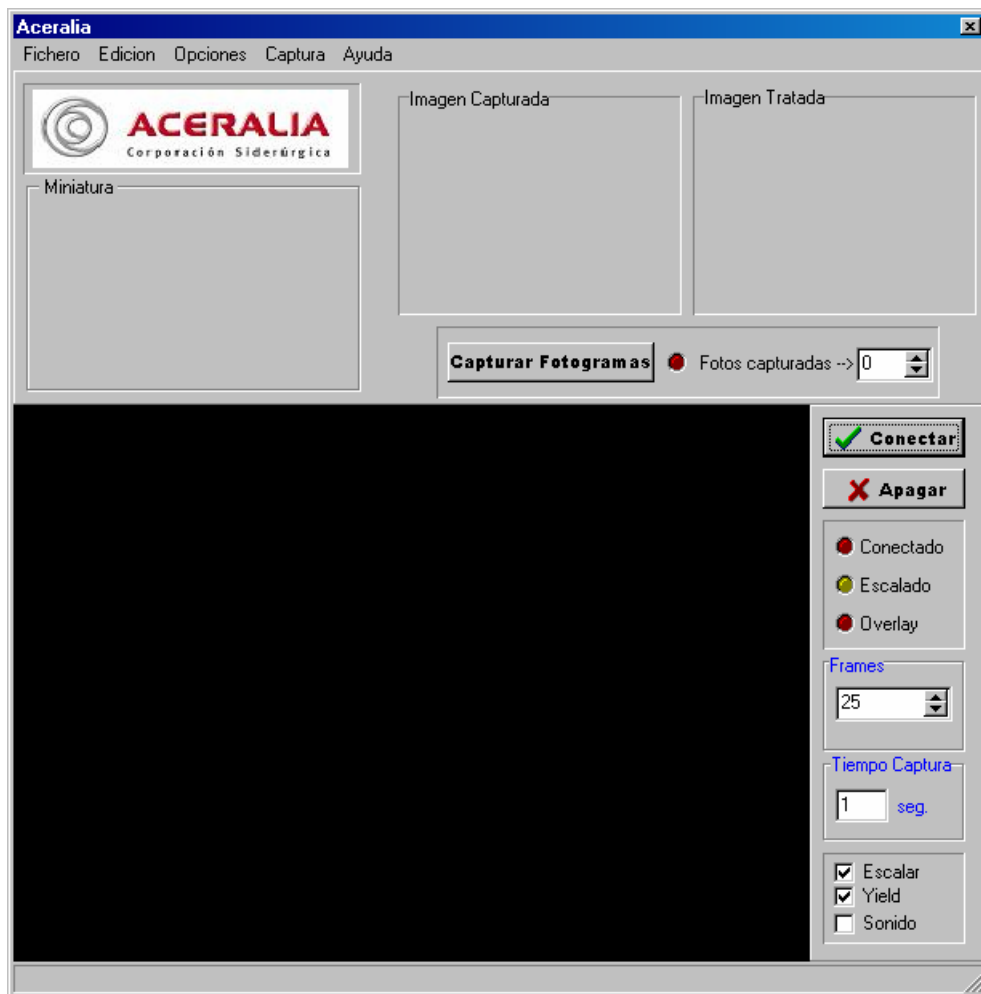
Tras la evaluación de diversas alternativas se optó por la generación de un sistema de tratamiento de imagen modular, dicho sistema es capaz de llevar a cabo diversas tareas de un modo integrado. Los módulos que constituyen la herramienta implementada son tres:

- Módulo de captura.
- Módulo de tratamiento de imagen.
- Módulo de procesamiento avanzado.

El acceso a los distintos módulos se consigue a través de una herramienta interna de administración.

La tarjeta de adquisición de video es del tipo Pinnacle 32 y recibe la señal en formato S-video. Todos los módulos han sido programados en Visual C aprovechando librerías propias de la tarjeta de adquisición y están preparados para funcionar de

manera automática sin necesidad de supervisión. Así mismo todos los módulos pueden ser configurados de manera independiente



*Figura 3. Aspecto del modulo de captura.*

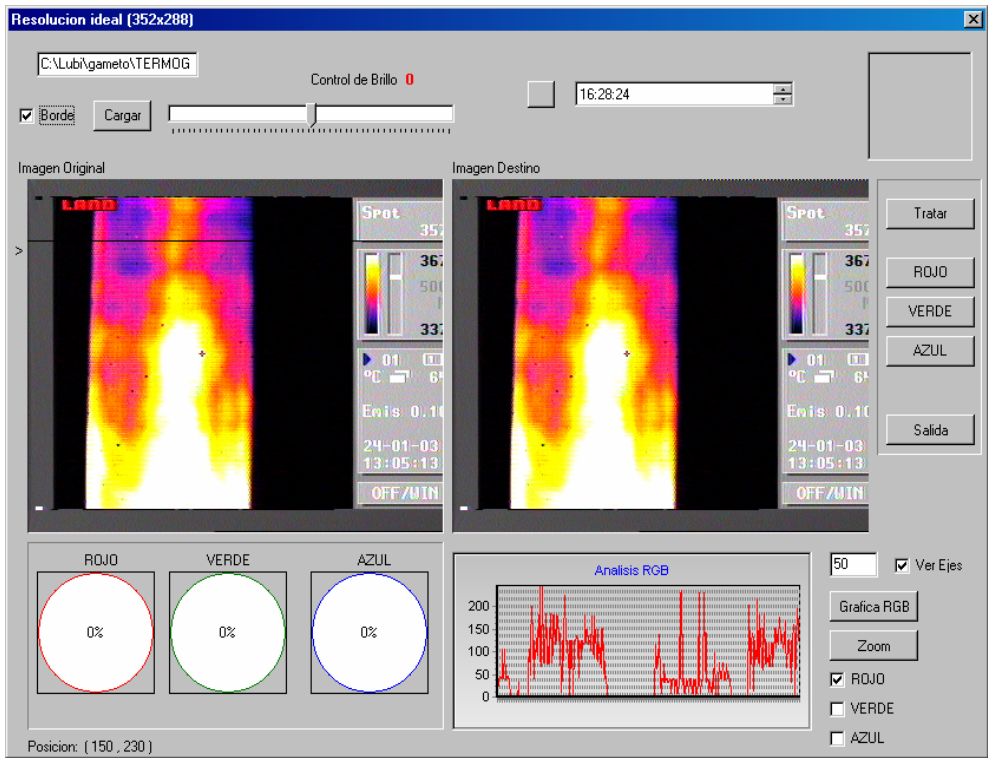
## Modulo de Captura

En este modulo se llevan a cabo las operaciones básicas de captura y configuración tanto de imágenes estáticas como de video en tiempo real. Por otra parte es en este módulo donde se realiza la configuración de aspectos tales como el formato de salida, resolución, frecuencia de captura, nivel de compresión, etc. En la figura 3 puede verse una captura del aspecto que muestra este módulo.

Normalmente dada la inercia terminal que el proceso de galvanizado conlleva, se capturará una foto por segundo, lo que asegura un control en tiempo real del proceso.

El sistema de adquisición de video permite las funciones básicas de previsualización, grabación y reproducción, así mismo está preparado para mostrar las

imágenes en tiempo real. Por otra parte permite variar las dimensiones de la ventana de visualización así como su formato. Otras funciones típicas de la fuente de video pueden también ser modificadas, por ultimo permite la compresión de las imágenes capturadas para la optimización del espacio ocupado en disco.



*Figura 4. Apariencia del módulo de tratamiento de imagen.*

## **Modulo de Tratamiento de imagen.**

Este módulo es el encargado de llevar a cabo el análisis de la zona seleccionada de la banda, permite la generación de histogramas de temperatura así como de isotermas. Por otra parte, genera también de manera automática la descomposición de la imagen en sus tres colores básicos para futuros tratamientos.

Así mismo se permite la realización de ampliaciones (zoom) selectivas con objeto de facilitar el estudio de fenómenos localizados.

Por otra parte, es posible trabajar sobre el brillo de la imagen e incluso pasarla a escala de grises con objeto de minimizar los posibles fenómenos de reflexión que tienen lugar en la zona de estudio.

El aspecto de la herramienta puede verse en las figuras 4 y 5.

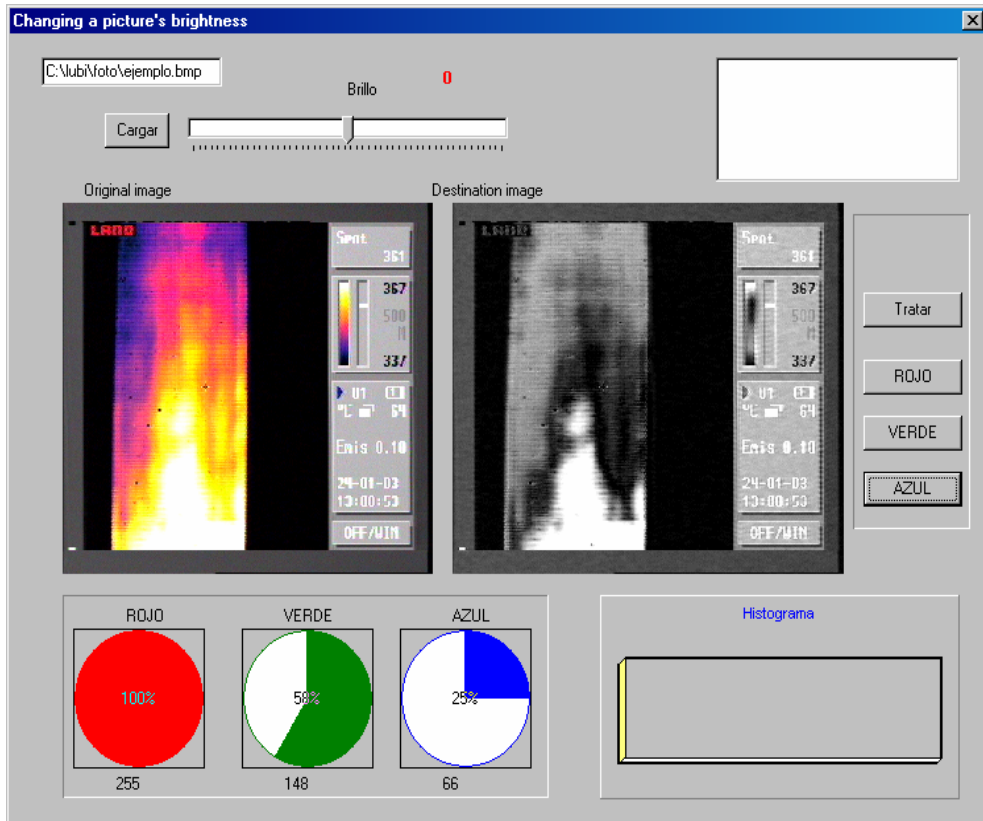


Figura 5. Apariencia del módulo de tratamiento de imagen (II).

Para facilitar el estudio on-line de la evolución térmica de la banda esta herramienta permite visualizar los histogramas de temperatura a pantalla completa como se puede apreciar en la figura 5.

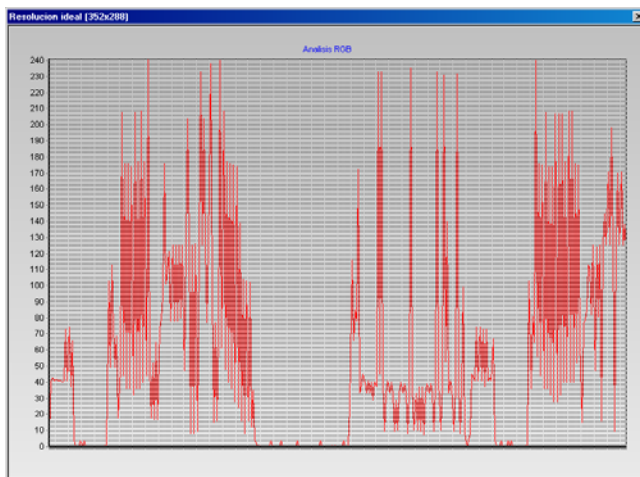
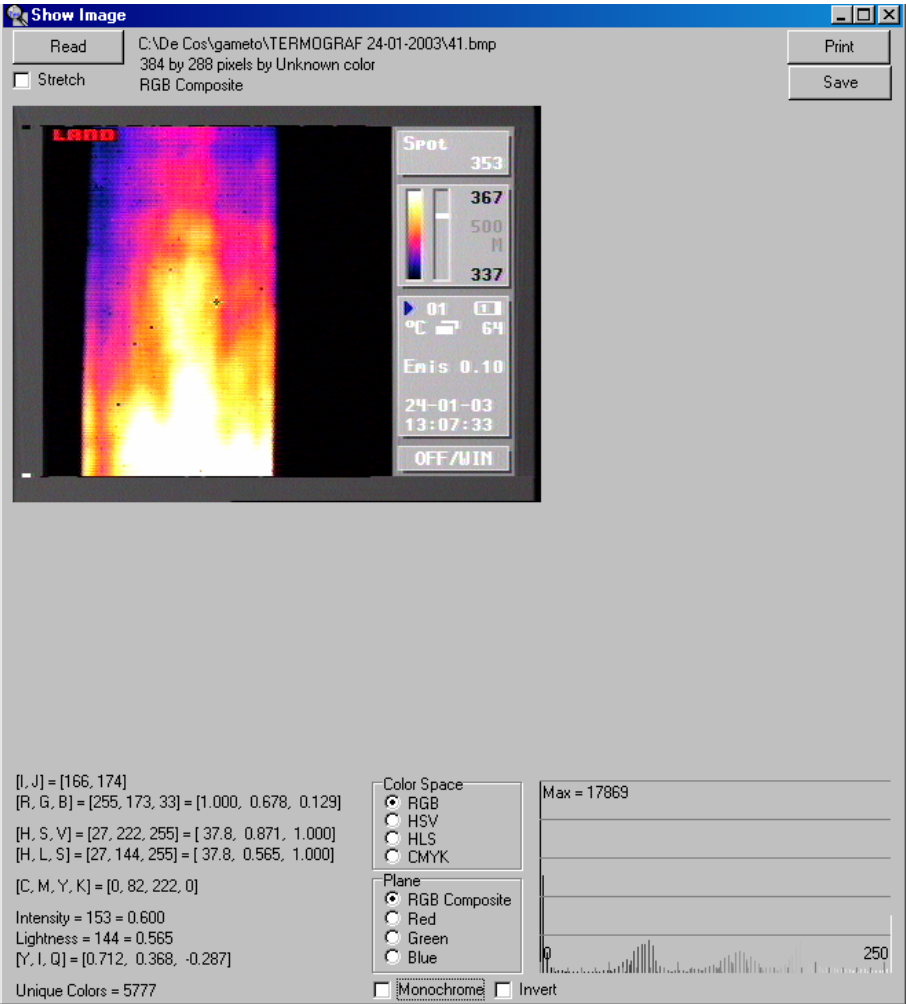


Figura 5. Histograma de temperaturas de la banda..

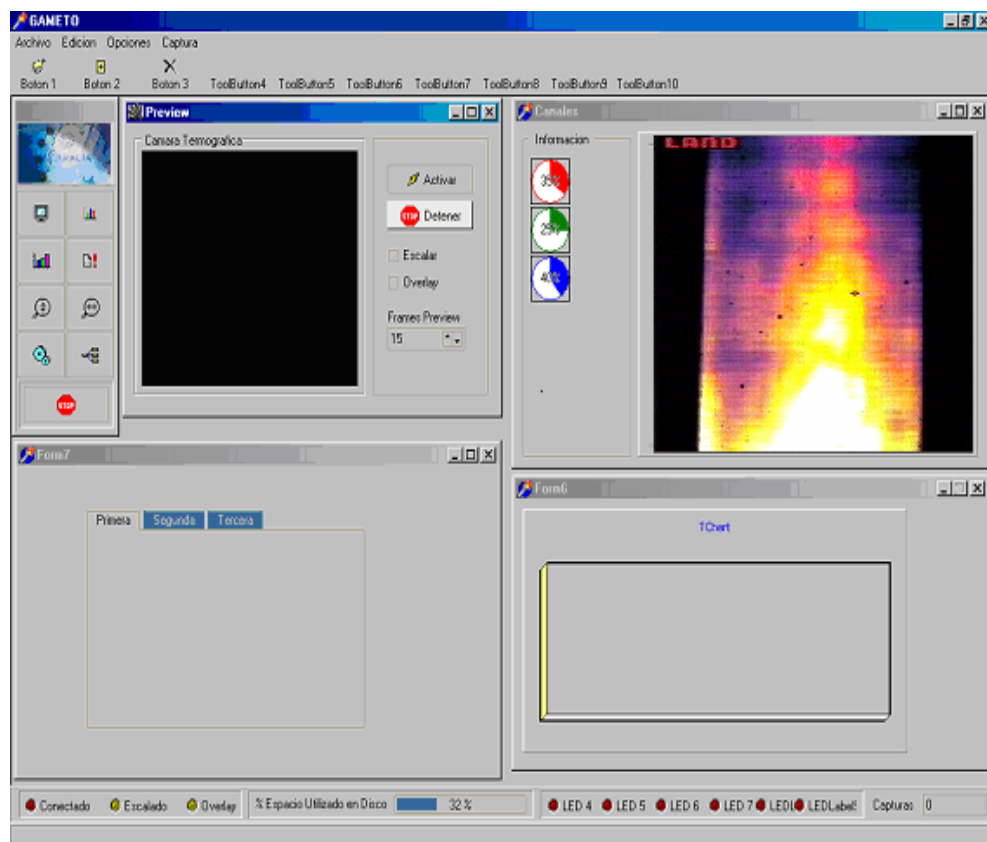
**Modulo de procesamiento avanzado.**

Este módulo permite, además de los tratamientos de imagen previamente mencionados, la posibilidad de trabajar con modos de color no RGB, como son: HSV, HLS, CMYK, etc. La herramienta no está concebida para llevar a cabo estudios on-line, sino para posteriores validaciones del proceso de enfriamiento de la banda. El aspecto del entorno gráfico de la herramienta puede apreciarse en la figura 6.



*Figura 6. Entorno gráfico de tratamiento avanzado.*

Por último el sistema incluye una aplicación que permite la administración integrada de los diferentes módulos, tal como puede verse en la figura 7, siendo posible la presentación a pantalla completa de cualquiera de los módulos, en detrimento de la visualización del resto.



*Figura 7. Aspecto de la aplicación integrada.*

De manera automática, e independientemente del uso, que en un momento concreto, el operador esté realizando con cualquiera de los módulos, el sistema genera el filtrado de la imagen capturada, así como un tratamiento básico de separación por zonas de temperatura. En este momento se llevan a cabo, en caso de ser necesarios, otros filtrados como el encargado de eliminar las zonas de alta reflexión de la banda (si las hubiera) y el interpolado térmico de la zona perdida.

El aspecto de la herramienta durante su proceso de funcionamiento puede distinguirse en la figura 8, donde pueden apreciarse algunos de los procesos anteriormente comentados. Diversas pruebas realizadas en las instalaciones de Aceralia pusieron de manifiesto claramente que el ordenador encargado de la captura y tratamiento puede llevar a cabo todas las tareas encomendadas sin merma en el rendimiento del resto de las aplicaciones disponibles.

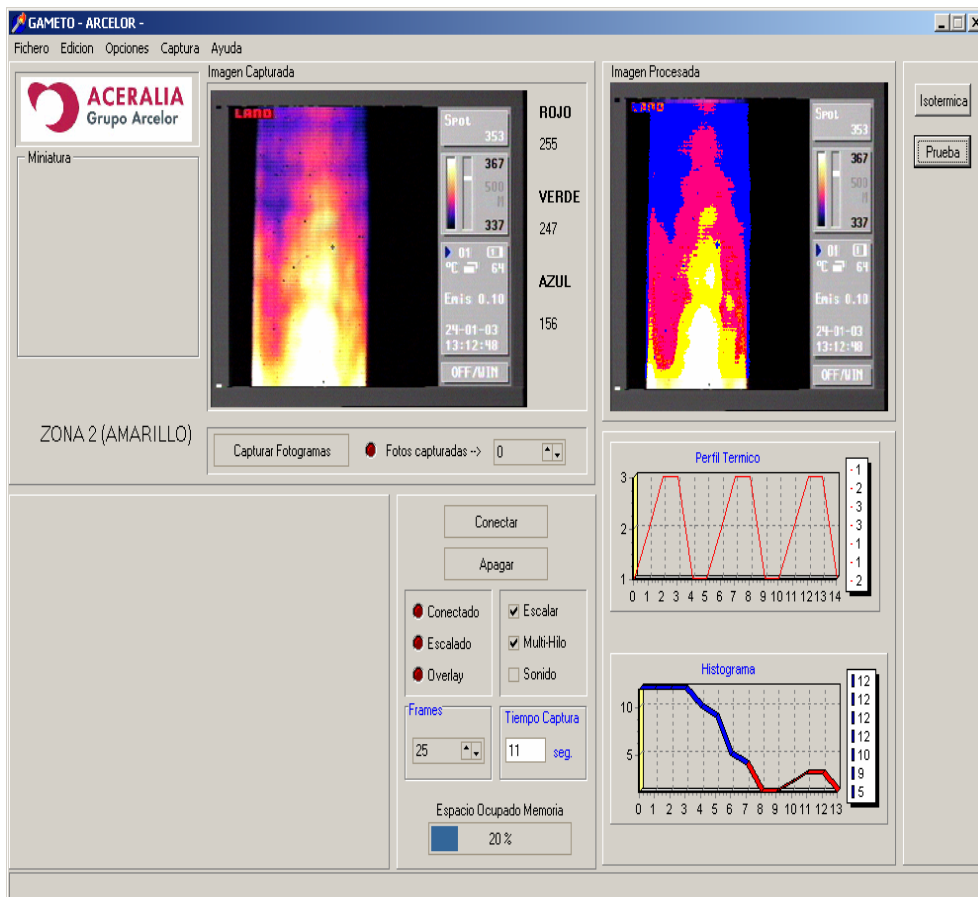


Figura 8. Herramienta de captura y filtrado en modo operativo

## 4. Conclusiones

Se ha completado con éxito la instalación de un nuevo equipo de medida basado en información térmica del proceso de galvanizado, así mismo se ha generado un avanzado sistema de captura, tratamiento y análisis de imagen, que sienta las bases para la obtención de un futuro primer modelo basado en redes neuronales, que presente las siguientes ventajas:

- Añada una nueva herramienta de supervisión, capaz, a priori, de detectar tanto vicios ocultos como fallos en el sistema de recubrimiento.
- Dotar a los operadores de un nuevo monitor de seguimiento del proceso que de manera continua informa sobre el estado del mismo de forma visual y clara.
- Siente las bases para un futuro sistema de control de la torre de refrigeración que podrá ser implementado cuando el sistema sea finalmente validado y contrastado.

En general podemos decir que se comprueba que este tipo de enfoque puede complementar con éxito los métodos tradicionales, logrando considerables mejoras en la precisión

## **Referencias**

González, Ortega, Rendueles, Vergara. (Junio 2001) *“Improvement Of Coating Uniformity With An Automatic Neural Setup System For Air Knives In A Hot Dip Galvanising Line”*. GALVATECH’ 2001. Bruselas

Kissel, M.; Fromholz, C. *“Determination of the Stress Strain Curve Using the Flat-Die Plane Compression Test Application to the Set Up of a Cold Tandem Mill”*. SOLLAC/CIREP

Tuneshi Sughara, N. *“Development of a Mathematical Model for Calculation of The Pass Schedule for a Plate Mill”*, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA. Brasil





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### OBTENCIÓN DE CURVAS FOTOMÉTRICAS DESDE DIAGRAMA POLAR. APLICACIÓN DE PROGRAMA DE CAD.

LÓPEZ LÓPEZ, Antonio (1); DURÁN MOZO, Francisco Félix (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Málaga, España

Facultad, Centro o Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos.

Correo electrónico:alopez@uma.es

<sup>(2)</sup>Universidad de Málaga, España

Facultad, Centro o Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

Correo electrónico:aaa@bbb.cc

### RESUMEN

Los datos fotométricos de las luminarias facilitados por los fabricantes contienen la curva polar a veces acompañados de las isolux, éstas con una inclinación dada de la luminaria. Además en la red existe información suficiente y programas informáticos que facilitan la realización de estos estudios. No obstante, algunos de ellos por sus características no encuentran el dato necesario, precisándose del equipo técnico correspondiente o, en su defecto, de la realización de las curvas necesarias. Esta segunda posibilidad se muestra partiendo de la curva polar, mínima información necesaria generalmente facilitada por el fabricante, obteniendo los resultados con ayuda de un programa de CAD

**Palabras clave:** Obtención de curvas fotométricas, aplicación teórica y desarrollo por medio de un programa de CAD.

### ABSTRACT

The photometrical data of the light supplied by the manufacturers sometime show the polar curve followed by the isolux ones, the latter with a given inclination of the light. In addition, there are enough information and computer programs on-line that facilitate the execution of these studies. However, some of them, on behalf of their characteristics, do not find the required information, the corresponding technical equipment being needed or, in its absence, the execution of the necessary curves. This second possibility starting from the polar curve, the minimum necessary information usually supplied by the manufacturer, obtaining the results with the help of a CAD programme.

**Key words:** Obtention of photometrical curves, theoretical application and development by means of a CAD programme.

## 1. Introducción

Los estudios de iluminación disponen de programas específicos que facilitan su desarrollo e incluso los gabinetes técnicos de los fabricantes de equipos, ofrecen sus medios para la resolución de estudios complejos. Esto que evita la realización de trabajos inadecuados, impide que la técnica del alumbrado se conozca adecuadamente, dificultando la necesaria observancia del trabajo bien hecho.

Los programas informáticos son un medio muy adecuado para realizar estudios técnicos, pero aún son más eficaces sus resultados, si se conoce la teoría que lo sustenta. El conocimiento teórico, ayudado del programa permite aplicar en sus múltiples posibilidades aquella que resulte más eficaz.

En el caso concreto de la iluminación, resuelven el problema pero son más fáciles de aplicar conociendo la teoría y cómo se llega a los resultados. Se exponen en el trabajo uno de estos procedimientos. En él se parte de la de la información primera que es la curva polar y de ella se obtiene las isolux necesarias para la solución del problema. Además se obtienen estas curvas con inclinación de la luminaria, caso frecuente que no se puede resolver sin ayuda de un programa de no disponer del dato. Este estudio se realiza con la herramienta CAD y una hoja de cálculo.

### Realización del procedimiento. Obtención de curvas isolux.

Las curvas polares la ofrecen los fabricantes y para este trabajo se han elegido, las que se muestran en la figura 1 ambas de INDALUX. La primera corresponde a una luminaria simétrica de las usadas en las naves; la segunda es de alumbrado público. La curva polar se obtiene con los datos tomados de la esfera fotométrica y muestra la intensidad lumínica en lux que proyecta el aparato en la circunferencia definida por una sección en aquella, generada por un plano ficticio perpendicular que pasa por la luminaria. En la luminaria simétrica, cualquiera de estos planos contiene los mismos valores fotométricos. En la asimétrica el fabricante facilita los datos de dos planos, el longitudinal que forma un ángulo de  $90^\circ$  con el eje de la luminaria, considerando que éste contiene el punto de apoyo del aparato y el transversal perpendicular al anterior.

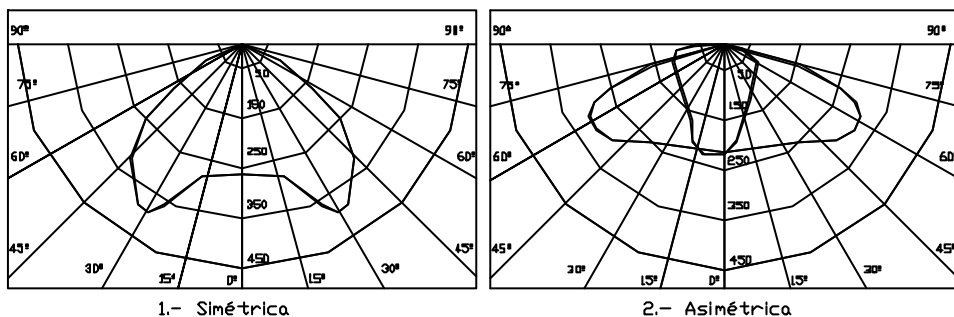


Figura 1

Para ajustar el resultado, suelen facilitar las correspondientes a otros planos que formen con los anteriores ángulos comprendidos entre ellos. Estos que no se consideran en el estudio, tendrían el mismo tratamiento, únicamente que la situación en el plano del dibujo, debe ser la del ángulo considerado, de  $45^\circ$  o de  $30^\circ$  y  $60^\circ$ .

La lectura de la intensidad sobre las circunferencias generadas por la intersección de los planos ficticios y la esfera fotométrica, definen las curvas polares, origen del estudio que se propone. Los datos se refieren a las direcciones de los haces de luz definidos por los ángulos, variando éstos de 15 en 15 grados. El valor del ángulo  $0^\circ$  es el del haz perpendicular al plano horizontal. Se entiende que los haces que parten del foco están contenidos en planos perpendiculares. Las curvas correspondientes a la luminaria asimétrica, se ofrecen en el mismo diagrama, la longitudinal simétrica respecto al haz de  $0^\circ$  y la transversal asimétrica respecto al mismo.

La esfera fotométrica tiene un metro de radio, por tanto la información se refiere a la intensidad de luz que se proyecta sobre una superficie esférica a un metro de distancia con foco de 1 Kilolumen, y para obtener la que se reflejaría en el plano horizontal, en esta caso representado por su traza, se han de proyectar los haces de luz hasta que lo corten. La construcción es obvia y se realiza alargando los haces hasta la mencionada traza, obteniendo así el punto donde se aplica la intensidad de luz.

Los valores de la intensidad sobre el plano horizontal, se obtienen, según la teoría, multiplicando el obtenido en la esfera fotométrica, reflejado en la curva polar, por el  $\cos^3 \alpha$ , siendo éste el ángulo que forma el haz con la vertical del foco, expresado en el diagrama con valor  $0^\circ$ . Estos datos se obtienen pasando a una hoja de cálculo los valores de la intensidad y el ángulo correspondiente. En la misma tabla han de incluirse, como dato a tener en cuenta, la longitud de éstos haces prolongados desde el foco hasta el punto de aplicación averiguado en el plano horizontal

Obtenidos los valores de la intensidad en los puntos del plano y con las intensidades en lux obtenidas en la tabla, se pueden dibujar las curvas isolux, en el plano horizontal, situado a 1 metro del foco. Estas curvas, como se dijo, son necesarias para realizar el diseño y valoración del alumbrado.

### **Luminaria simétrica. Curvas isolux.**

En primer lugar, los datos contenidos en la curva polar en forma de diagrama, han de ser reflejados en una semicircunferencia, de centro el foco de la luminaria y de radio 1 metro, situación semejante a la que se produce en la esfera fotométrica. No precisan de ser mostrados los valores en el dibujo, pero sí los haces con las direcciones adecuadas de 15 en 15 grados y la intersección de ellos con el plano horizontal.

La figura 2 muestra el dibujo que se realiza para la obtención de las posiciones sobre el plano horizontal de los haces de luz.

Los valores reflejados en la tabla 1, muestran en la segunda fila, los valores de la intensidad lumínica obtenida de la curva polar. La tercera el ángulo de desviación del haz con respecto a la vertical desde la luminaria al plano horizontal, dado en la curva.

La cuarta fila contiene la longitud de éstos haces y se obtiene con la orden de autocad <herramientas – consulta – lista>. La quinta obtiene las intensidades en el extremo de los haces, valores en lux que recibe el plano horizontal, multiplicando los datos de la primera por  $\cos^3 \alpha$ .

Con estos datos se dibuja el cuadro de curvas isolux. Representa sobre el plano horizontal el lugar geométrico de los puntos con igual intensidad lumínica. La cuadrícula se dibuja con recuadros de 1 metro, y en sus extremos se indica cada uno de ellos equivale a una altura de montaje de la luminaria, como se dijo anteriormente, para realizar el dibujo en planta de la zona a iluminar con este valor, cualquiera que sea la magnitud con la que se presenta.

Los datos obtenidos en la figura 2, se representan en un eje de la cuadrícula. En este caso, por ser luminaria simétrica, las curvas son circunferencias. La figura 3 muestra el cuadro de curvas isolux.

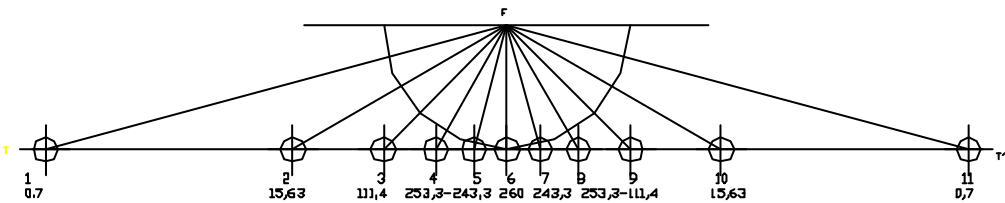


Figura 2

Tabla 1.- Valores de intensidad lumínica en el plano.											
Dirección	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Intens. A	40	125	315	390	270	260	270	390	315	125	40
Angulo°	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75
Longitud	386,4	200	141,4	115,6	103,53	100	103,53	115,6	141,4	200	386,4
Int.plano	0,694	15,63	111,37	253,31	243,33	260	243,33	253,31	111,37	15,63	0,694

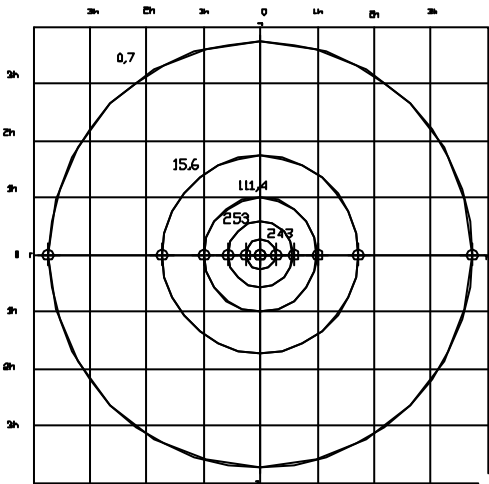


Figura 3

**Luminaria asimétrica. Curvas isolux.**

Los primeros datos se obtienen de la misma forma explicada para las simétricas, pero realizados para los dos ejes que contiene el diagrama de curvas polares de la figura 1. De esta forma se obtienen los representados en la figura 4, en los que las trazas del plano se denominan LL' los valores del eje longitudinal y TT' los del transversal. De existir más información, se averiguarían de la misma forma.

La tabla 2 muestra los valores de estos ejes, obtenidos de la forma explicada. Se observa que en el eje longitudinal los valores y las distancias son simétricos. No ocurre igual en el transversal. Se incluyen en ambos ejes dos valores de intensidad que no corresponden a ángulos de la curva polar. Son los puntos de máxima intensidad de ambos ejes, doble por su simetría en el LL' y sencillo en el TT', necesarios para obtener mayor precisión en la curva.

En el caso de luminarias asimétricas, la obtención de las curvas isolux, obliga a presentar en ambos ejes los valores de intensidad. Para ello se ha de obtener previamente la curva de intensidades en coordenadas cartesianas, el de abscisas con los datos de separación de puntos al pie de luminaria, representados en la traza del plano horizontal de cada eje obtenidos en la figura 4, y en el de ordenadas los valores de la intensidad de cada punto, obtenidos ambos en la tabla 2. La curva se traza con la spline del programa, uniendo los puntos averiguados. Figura 5.

En el mismo dibujo, se ocultan las líneas auxiliares y los puntos utilizados para trazarla, situándolos en capas diferentes, y se deja visible la curva y los ejes. Trazando líneas paralelas al eje de abscisas a la distancia de las intensidades reflejadas en la curva polar, y bajando perpendiculares al eje desde la intersección de aquellas líneas con la curva, obtendremos la posición de los puntos correspondientes a aquellas que se pretende igualar. De esta forma en ambos ejes se tienen los mismos valores de luminosidad. La figura 6 muestra esta construcción.

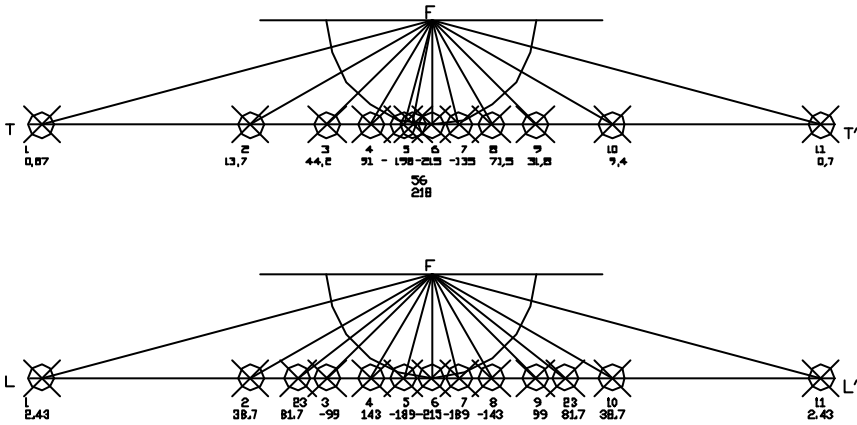


Figura 4

Tabla 2.- Valores de int. lumínica en el plano.

Eje longitudinal LL'					Eje transversal TT'				
Dirección	Intens.a	Angulo°	Longitud	Int.plano	Dirección	Intens.a	Angulo°	Longitud	Int.plano
E0	100	80	575,9	0,524	E1	50	75	386,4	0,867
E1	140	75	386,4	2,427	E2	110	60	200	13,75
E2	310	60	200	38,75	E3	125	45	141,4	44,194
E3	280	45	141,4	98,995	E4	140	30	115,6	90,933
E4	220	30	115,6	142,89	E5	220	15	103,53	198,27
E5	210	15	103,5	189,26	E6	215	0	100	215
E6	215	0	100	215	E7	150	15	103,53	135,18
E7	210	15	103,53	189,26	E8	110	30	115,6	71,447
E8	220	30	115,6	142,89	E9	90	45	141,4	31,82
E9	280	45	141,4	98,995	E10	75	60	200	9,375
E10	310	60	200	38,75	E11	40	75	386,4	0,694
E11	140	75	386,4	2,427	E65	225	52	101,54	52,506
E23	350	52	162,4	81,676					

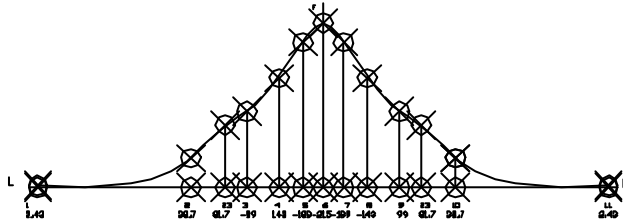
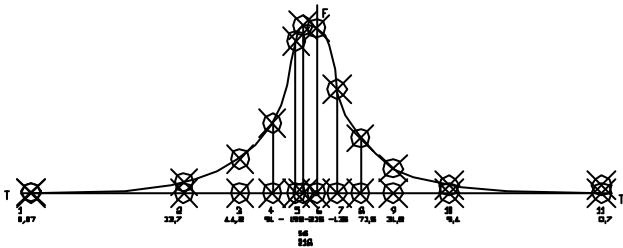
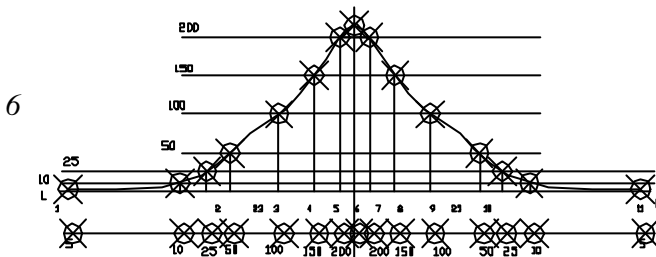
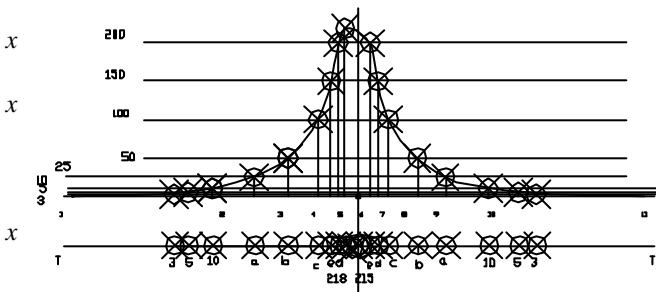


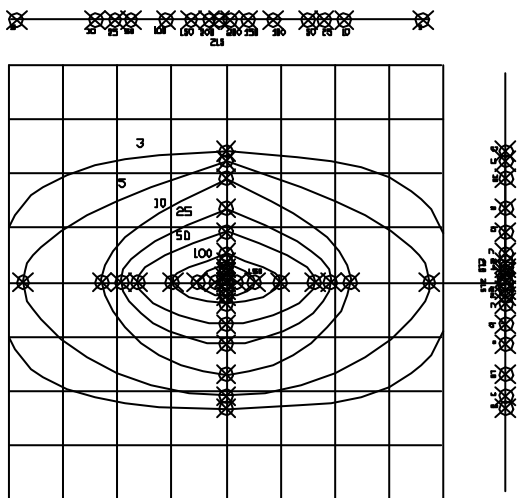
Figura 5.



- a = 25 lux
- b = 50 “
- c = 100 “
- d = 150 “
- e = 200 “
- f = 250 “
- g = 300 “

Figura 6

Sobre los ejes de una cuadrícula semejante a la realizada para la luminaria simétrica, Figura 3, se sitúan los puntos obtenidos y con spline se unen los de mismo valor dibujándose así las curvas isolux. El resultado se muestra en la figura 7. En este caso los ejes se han situado fuera de la cuadrícula y con líneas de correspondencia se sitúan los puntos en los ejes de la cuadrícula, intensidad a intensidad.



*Figura 7*

## **Obtención de curvas isolux con inclinación de la luminaria.**

### **Luminaria simétrica.**

Como se comentó, es frecuente que la posición de la luminaria no sea paralela al plano del dibujo, sino que forme un ángulo de inclinación con respecto a él. Para obtener la nueva forma de las curvas, se indicó el procedimiento en el “Estudio geométrico sobre iluminación. Obtención de curvas isolux a partir de fotometría”, ponencia presentada en el Congreso de Bilbao de 1997, consistente en girar el plano, en lugar de la luminaria, haciendo centro en ésta. Se parte de los datos obtenidos de curvas isolux y dibujando en isométrico se obtienen los valores necesarios.

La cuadrícula con la curva isolux original se copia en otro archivo, indicando con puntos las intersecciones de las curvas con los ejes. Realizado esto pueden ocultarse las curvas. Se pasa a dibujo en isométrico, en este caso SO. Por el centro de los ejes se traza una perpendicular al plano de un metro de longitud, cuyo extremo estará teóricamente en el foco de la luminaria.

Se gira la cuadrícula el ángulo que se pretende inclinar la luminaria con respecto al suelo, dejando en su posición original los ejes y la marca de los puntos de intersección de la curva y éstos. Ha de tenerse en cuenta variar los SCP de planos de trabajo y situarlo sobre la perpendicular y el eje TT' con <herramienta – SCP nuevo – 3 puntos>. En este caso de luminaria simétrica el eje LL' sigue siendo simétrico, no

así el TT'. Por ello los puntos en aquel se pueden hacer en un solo lado y completar el otro por simetría.

Desde el extremo de la línea perpendicular se trazan haces que lo unan con cada uno de los puntos marcados en los ejes. Concluido esto, se toman los valores de la longitud de estos haces, como en el caso de la conversión de polar a lineal <herramienta – consulta – lista>. Estos datos se han de pasar a la fila dos de la tabla 3, que en luminarias simétricas, coinciden con los incluidos en la fila 4 de la Tabla 1.

A continuación se prolongan las líneas anteriores hasta el plano girado. En el eje transversal TT', puede hacerse con vista izquierda, marcando como objeto hasta donde alargar la traza del plano girado y pulsando a alargar o acortar a cada uno de las líneas que aparecen en verdadera magnitud. En este eje se dan líneas a alargar y líneas a acortar. Las líneas correspondientes al eje LL' se hace modificando en SCP a la vertical y el eje. Las líneas hasta donde alargar pueden ser todas las de la cuadrícula. No obstante es conveniente al hacer esta operación comprobar en vista izquierda si el haz alargado quedó en la traza del plano. A veces esto no funciona. No obstante puesto que los puntos están en una misma recta del plano, averiguando dos de ellos, el de la perpendicular de la luminaria y un extremo, se puede trazar la recta, la cual se puede marcar como objeto hasta donde alargar. En este caso es más improbable el fallo. Realizado esto se toman las distancias de estas líneas acortadas o alargadas y se incluyen en la fila 3 de la Tabla 3.

La tabla 3 tiene la primera fila con los datos de intensidad lumínica obtenidos de las curvas isolux, la segunda y tercera con las longitudes de los haces obtenidos y la cuarta ha de tener una función en la que los valores de intensidad lumínica de la fila 1, han de multiplicarse por el cociente entre las correspondientes filas 2 y 3 al cuadrado y por el coseno del ángulo de giro. En este caso 20°. El resultado representa el valor de la intensidad lumínica sobre el plano girado. En la figura 8 se representan los ejes, la perpendicular desde el foco, los puntos primitivos con ángulo 0°, la cuadrícula girada y los puntos definidos por los haces prolongados o acortados sobre ella.

Tabla 3.- Valores de la int. lumínica sobre plano girado 20º											
Eje longitudinal LL'											
Int. base	0,694	15,63	111,4	253,3	243,3	260	243,3	253,3	111,4	15,63	0,694
Dist. base	3,86	2,00	1,41	1,16	1,04	1,00	1,04	1,16	1,41	2,00	3,86
Dist.abatida	4,12	2,14	1,51	1,23	1,10	1,06	1,10	1,23	1,51	2,14	4,12
Int. abatida	0,57	12,88	92,38	209,27	201,08	215,73	201,08	209,27	92,38	12,88	0,57
Eje transversal TT'											
Int. base	0,694	15,63	111,4	253,3	243,3	260	243,3	253,3	111,4	15,63	
Dist. base	2,00	1,41	1,16	1,04	1,00	1,04	1,16	1,41	2,00	3,86	
Dist.abatida	5,82	2,37	1,57	1,23	1,06	1,00	1,02	1,10	1,31	1,74	
Int. abatida	0,08	5,24	57,00	169,38	201,90	260,21	295,72	390,91	244,83	72,01	

Los valores de intensidad obtenidos sobre la cuadrícula abatida, no están en el plano horizontal por lo que hay que girarlo en sentido contrario al anterior para traerlo a él. Es aconsejable copiar el plano sin abatir, junto con los ejes y la línea



### Luminaria asimétrica.

## 2. Conclusiones

Figura 9

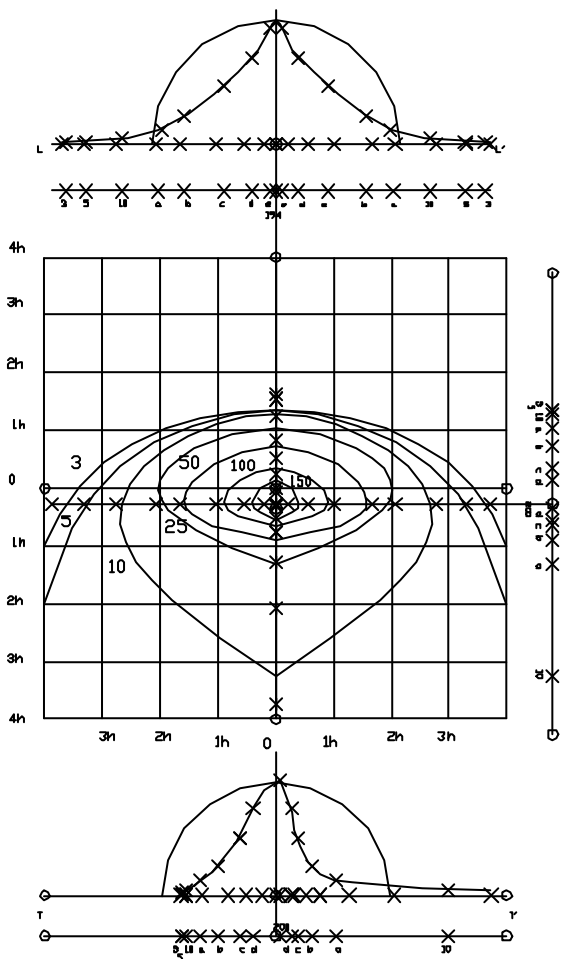


Figura 10

de iluminación y permitir la utilización de aparatos de los cuales no se disponga de programa específico.

favorecen la utilización de programas informáticos específicos, obteniendo de ellos mayor rendimiento. Se hace necesario usar de los conocimientos adquiridos sobre geometría y técnicas de representación y se utiliza un programa de CAD, imprescindible al técnico actual. En este caso se ha utilizado el Autocad 2000 y las tablas de Excell que la Universidad pone a la disposición del profesorado. Además, el procedimiento para la obtención de los puntos de inserción en el plano horizontal y la obtención de sus longitudes, pueden ser aplicados en cualquiera otro caso en los que se precise obtener intersecciones de planos con rectas u otros planos.

Desde la perspectiva profesional, aunque de menor relevancia, el conocimiento del sistema, puede mejorar el rendimiento y la efectividad de los programas de cálculo

Málaga, enero de 2004.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CUBICACIÓN DE TIERRAS MEDIANTE PERFILES. INFLUENCIA DE ALGUNOS FACTORES COMO LA MORFOLOGÍA DEL TERRENO Y LA DISTANCIA ENTRE PERFILES

AGUILAR TORRES, Manuel Ángel; SÁNCHEZ LÓPEZ, Jaime Antonio; AGÜERA VEGA,  
Francisco; AGUILAR TORRES, Fernando José; CARVAJAL RAMÍREZ, Fernando

Universidad de Almería, España  
Departamento de Ingeniería Rural  
Correo electrónico: maguilar@ual.es

### RESUMEN

Con este trabajo se pretende determinar cómo influyen en la exactitud de la cubicación de tierras por el método de los perfiles diversos factores entre los que podemos destacar:

- Método empleado para la cubicación de tierras (área media y el método del prismoide).
- La distancia de separación entre perfiles (1, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 m).
- Morfología del terreno original (llano uniforme, ondulado, llano rugoso, ladera suave, rambla, montañoso, barranco).

Los puntos muestrales fueron obtenidos mediante fotogrametría digital aérea en superficies de 198x198 m, correspondiendo a superficies topográficas con morfología diferenciada y mallas muestrales regulares de 2x2 m. El análisis de la varianza de los factores estudiados, empleando como variable observada una estimación del error cometido en la cubicación de tierras empleando el método de los perfiles, nos permitió llegar a conclusiones aplicables a casos reales. El trabajo concluye con la obtención de un modelo en el que se relacionan la morfología del terreno y la distancia elegida entre perfiles, con el error cometido en la cubicación de tierras.

**Palabras clave:** movimientos de tierras, método de los perfiles, modelos digitales de elevaciones, desmonte y terraplén.

### ABSTRACT

This work tries to explain the weights of several variables on the accuracy measurement of volumes of lands using the profile method. Among these factors we can stand out:

- Method used for the measurement of volumes of lands (areas average and prismoide).

- Sampling interval between cross-section (1, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 m).
- Morphology of the original area (flat, rolling, flat-rough, smooth hillside, dryravine, gorge, mountainous).

The sampled points were collected using digital photogrammetric method in surfaces of 198x198 m, corresponding to topographic surfaces with differentiated morphology and regular meshes of 2x2 m. The analysis of the variance of the studied factors, using as observed variable an estimation of the errors obtained on the measurement of volumes of lands using the method of the profiles, allowed us to come to conclusions applicable to practical cases. The work concludes with the obtaining of a model in whom they relate the morphology of the area and the distance chosen between profiles, with the errors estimated on the measurement of earthwork.

**Key words:** earthwork, cross-section method, digital elevations models (DEM), cut and fill.

## 1. Introducción

En una gran cantidad de obras de infraestructura rural es necesario una previa modificación del terreno original, normalmente una explanación horizontal. Este sería el paso previo para la construcción de una nave, un invernadero o una plantación abancalada. En muchas de estas obras el coste de esta modificación del terreno original, que se traduce en movimientos de tierras por exceso (desmonte) o por defecto (terraplén), supone un tanto por ciento elevado de coste total del proyecto.

La cubicación de tierras en proyectos en los que se requiere un acondicionamiento previo del terreno (explanaciones, caminos, balsas...) se ha efectuado tradicionalmente utilizando alguna de las variantes del método de los perfiles transversales (Escario y Escario, 1960; Zurita y col., 1990) en el que los perfiles se realizan a unas distancias que suelen variar entre 15 y 30 m (Aguilar y col., 1999; British Columbia, 2002). Actualmente, con la proliferación de los modelos digitales de elevaciones (MDE), el cálculo de volúmenes de tierras se puede realizar por comparación del MDE del terreno original con el MDE del terreno modificado (Aguilar y col., 2000; Kerle, 2002).

Los objetivos de este trabajo son dos. Por un lado, comprobar la influencia que, para el cálculo de volúmenes de tierras por el método tradicional de los perfiles generados en la realización de explanaciones de plano horizontal, tienen aspectos como la morfología del terreno, la elección de la distancia entre perfiles, situación del plano de la explanación (explanaciones en desmonte, en terraplén y explanaciones a media ladera) y el método de cubicación elegido (área media o método del prismatoide). En segundo lugar se pretende elaborar un modelo empírico que relacione los factores que más afectan al error en la cubicación de tierras por el método de los perfiles.

2. Metodología

2.1. Fuentes de variación estudiadas

Para alcanzar los objetivos marcados en este trabajo se estableció un diseño experimental de tipo factorial donde se analizaron como fuentes de variación la morfología del terreno, la distancia entre perfiles, cota de la explanación y el método de cálculo (área media o prismatoides), siendo la variable observada, el error cometido en la cubicación de tierras mediante el método de los perfiles. A continuación describiremos con más detalle cada una de las fuentes de variación enumeradas.

2.1.1. Morfología

Para el desarrollo de este trabajo seleccionamos 7 superficies topográficas de 198x198 m., cada una con unas características morfológicas diferenciadas, desde una rambla típica del Sudeste español a una ladera suave de pendiente uniforme. El modelo digital de elevaciones (MDE) de cada superficie topográfica fue generado mediante restitución fotogramétrica digital automática y posterior revisión/edición por parte del operador. Para ello se utilizó un vuelo fotogramétrico a escala aproximada 1/5000 realizado con una cámara métrica Zeiss RMK TOP 15. Para la construcción del MDE se empleó el módulo Automatic Terrain Extraction del sistema fotogramétrico digital LH Systems SOCET SET NT v.4.3.1., obteniéndose un MDE final con estructura de malla regular (GRID), espaciamiento de 2x2 m. y cotas ortométricas. En trabajos anteriores realizados por nuestro grupo se detallan algunas características generales de las morfologías elegidas (Aguilar y col., 2003).

Como variable descriptora de la morfología de cada una de las 7 superficies topográficas estudiadas, se eligió la desviación estándar de los vectores unitarios normales a la superficie (DEVUN), que en trabajos anteriores ha demostrado una buena correlación con la rugosidad del terreno (Aguilar y col., 2003). Para la obtención del DEVUN (tabla 1) en cada una de las morfologías se calcularon los vectores unitarios normales a la malla regular 2x2 inicial en cada uno de sus nodos. Posteriormente se calcularon sus componentes principales en las direcciones X, Y, Z, obteniendo finalmente la expresión [1]:

$$DEVUN = \sqrt{var\ x + var\ y + var\ z}$$
 [1]

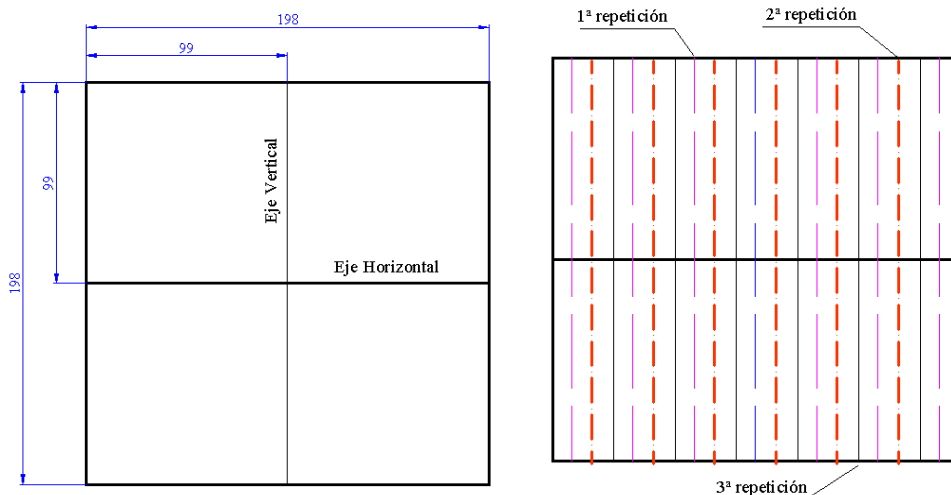
Los procedimientos descritos se programaron mediante el módulo Scriptor®, incluido en SURFER® 8.01 (Golden Software, 2002).

Tabla 1: Valores calculados de DEVUN para cada una de las morfologías.

Morfología	DEVUN	Morfología	DEVUN
Llano uniforme	0.034	Ladera suave	0.024
Ondulado	0.090	Barranco	0.285
Llano rugoso	0.039	Rambla	0.295
Montaña	0.310		

### 2.1.2. Distancia entre perfiles

Para el cálculo del volumen de tierras necesario para la construcción de la explanación por el método de los perfiles es necesaria la representación de un número determinado de perfiles transversales, de forma que el volumen total se corresponde con la suma de los volúmenes parciales entre cada dos de estos perfiles. Se tomaron perfiles de forma que la distancia entre dos consecutivos estuviese entre un total de 11 distancias diferentes (1, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 m). En cada explanación cuadrada de 198x198 m., se tomaron dos ejes longitudinales ortogonales que unían los puntos medios de cada lado de la explanación. Apoyándose en estos ejes se dibujaron los perfiles transversales que nos sirvieron para realizar la cubicación de tierras. Se tomaron 3 repeticiones por eje longitudinal y por distancia entre perfiles, obteniéndose un total de 6 repeticiones por cada una de las distancia consideradas (figura 1).



*Figura 1: Disposición de los dos ejes en la explanación a la izquierda y toma de tres repeticiones en el eje horizontal para una distancia entre perfiles de 30 m.*

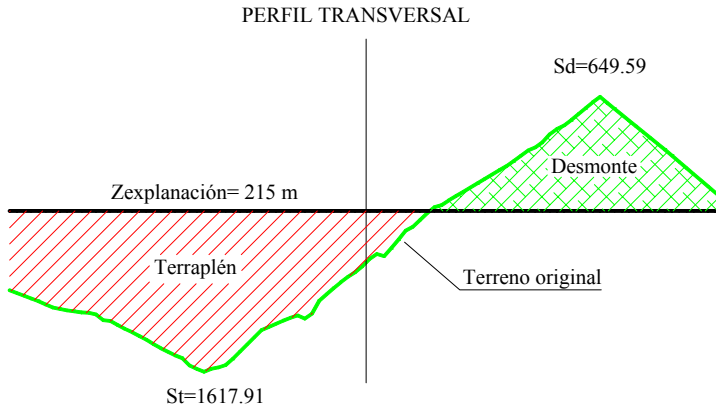
### 2.1.3. Plano de comparación

En cada una de las 7 morfologías estudiadas se realizaron los cálculos de los volúmenes de tierras, en desmonte y terraplén, necesarios para la ejecución de la explanación cuadrada horizontal. Se eligieron 3 cotas diferentes para dicha explanación que en cada morfología coincidían con las cotas mínima, media y máxima de los 10.000 puntos que componían la malla regular del terreno original. Cuando elegimos la cota mínima para las explanaciones obtenemos exclusivamente movimientos de tierras en desmonte, para cota máxima tendremos sólo terraplén y en cota media tendremos tanto desmonte como en terraplén.

### 2.1.4. Método de cálculo

Para realizar la cubicación de los movimientos de tierras necesarios para la construcción de una explanación horizontal por el método de los perfiles, es necesario

calcular las áreas de desmonte y/o terraplén resultantes de comparar el perfil del terreno original con el perfil final de la explanación horizontal (figura 2).



*Figura 2: Ejemplo del cálculo de áreas de desmonte y terraplén en un perfil de terreno montañoso con una explanación situada a cota media.*

Una vez obtenidas las áreas de desmonte y terraplén de cada uno de los perfiles correspondientes a una repetición, el cálculo del volumen de tierras se realizó utilizando dos métodos diferentes:

a) Método del área media, con el que se determina el volumen entre dos perfiles consecutivos multiplicando la distancia que los separa por la semisuma de la superficie de tierra en desmonte o terraplén obtenidos en esos dos perfiles. Ecuaciones [2] y [3].

$$Vd = \left( \frac{Sd_1 + Sd_2}{2} \right) * d \quad [2]$$

$$Vt = \left( \frac{St_1 + St_2}{2} \right) * d \quad [3]$$

donde  $Vd$ =volumen de desmonte;  $Vt$ =volumen de terraplén;  $Sd_1$  y  $Sd_2$ =superficies de desmonte en los perfiles 1 y 2;  $St_1$  y  $St_2$ =superficies de terraplén entre los perfiles 1 y 2;  $d$ =distancia entre perfiles.

b) Método del prismaoide, que considera el volumen entre perfiles como el de un prismaoide. En este caso se determinará su volumen utilizando la superficie de la sección media y de las extremas de cada tres perfiles transversales. De esta forma el cálculo del volumen de tierras entre el perfil 1 y el 3 respondería a la expresión [4], mientras que el desarrollo de  $n$  perfiles se calcularía mediante la ecuación [5], siendo  $d$ , la distancia entre perfiles y  $S_i$ , la superficie en el perfil  $i$ .

$$V = \frac{2 * d}{6} (S_3 + S_1 + 4S_2) \quad [4]$$

$$V = \frac{2 * d}{6} (4S_{pares} + S_n + S_1 + 2S_{impares}) \quad [5]$$

Para realizar los cálculos de volúmenes de tierras por perfiles, tanto por el método del área media, como por prismatoides se utilizó el programa MDT v 3.5 (Navarrete, 2002).

## **2.2. Obtención de la variable dependiente**

La variable observada y dependiente de las fuentes de variación descritas anteriormente fue el error cometido en la cubicación de tierras, expresado en  $\text{m}^3$  por  $\text{m}^2$  de explanación, mediante el método de los perfiles. Para la obtención de este error debíamos comparar el volumen obtenido en la cubicación de tierras por el método tradicional de los perfiles con el volumen movido realmente. Como estimación del volumen real se realizó el cálculo de volúmenes de tierras por diferencia de la malla regular del terreno original con el plano horizontal de la explanación. Debido a la alta densidad de la malla y a la elevada precisión en la obtención de los 10.000 puntos que la forman, el volumen así calculado constituye una buena aproximación al volumen real.

Para el cálculo de la aproximación del volumen real se utilizó SURFER® 8.01 (Golden Software, 2002), que emplea la regla trapezoidal, la de Simpson y la 3/8 de Simpson para la cubicación de los movimientos de tierras. Las diferencias entre estos tres métodos son prácticamente nulas cuando empleamos la totalidad de los puntos

## **2.3. Análisis estadístico**

En el estudio estadístico de los datos obtenidos en el diseño factorial empleado en este trabajo, se empleó el análisis general de la varianza, utilizando el test de rango múltiple de Duncan para la separación de medias. En la separación de medias, datos seguidos de letras diferentes en columnas indican diferencias significativas al nivel de confianza del 95%. Con las 7 morfologías, 11 distancias entre perfiles, 3 cotas de explanación, 2 métodos de cálculo y 6 repeticiones, se generaron un total de 3696 datos de errores de cubicación de tierras mediante el método de los perfiles.

## **2.4. Modelización de los resultados**

Se intentará obtener un modelo matemático que intente explicar el error en la cubicación de tierras, expresado en  $\text{m}^3$  de tierras a mover por  $\text{m}^2$  de explanación, mediante la introducción de aquellas variables estudiadas en este trabajo que resulten más determinantes. Para la obtención de este modelo se ha realizado un regresión no lineal.

## **3. Resultados y discusión**

En la tabla 2 se presentan los resultados del análisis de la varianza de los factores evaluados, expresándose la variable observada como  $\text{m}^3$  de tierras a mover por  $\text{m}^2$  de explanación. Podemos comprobar cómo la distancia entre perfiles tomada para la cubicación de tierras es el factor que más influye en los errores cometidos. La



morfología es el segundo parámetro en cuanto al grado de influencia, siendo el tercero el método de cálculo. La elección de la cota de la explanación es la fuente de variación estudiada que menor repercusión tiene sobre el error cometido, aunque se sitúa en un nivel de significación ligeramente inferior al 5%.

Tabla 2: Influencia de las distintas fuentes de variación estudiadas sobre el error cometido en la cubicación de tierras expresado en m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup>. (g.l; grados de libertad, s. c.; suma de cuadrados, F; estadístico F).

Fuentes de variación	g. l.	s. c.	F	Probabilidad
(1) distancia perfiles	10	2.564	117.67	p<0.01
(2) morfología	6	1.141	87.28	p<0.01
(3) método cálculo	1	0.038	17.56	p<0.01
(4) Cota explanación	2	0.013	3.10	p=0.045
residuos	3695	8.01		

En la tabla 3 se puede observar la separación de medias (p<0.05) de las variables que menor influencia tienen en el error cometido en la cubicación de tierras. En cuanto al método de cálculo, podemos ver como el método del área media es más exacto que el de prismatoides, cuando se trabaja con el mismo número de perfiles, alcanzándose diferencias significativas (p<0.05). Escario y Escario (1960) dan mayor fiabilidad a los prismatoides, ya que consideran al método de las áreas una simplificación del mismo, cuando las generatrices del prismaoide son paralelas al plano director. Esto implica que estaríamos utilizando tres perfiles en los prismatoides frente a sólo dos en el área media, para estimar el mismo volumen. En lo sucesivo se prescindirá de los datos generados por el método del prismaoide.

Tabla 3: Influencia de las variables método de cálculo y cota de la explanación sobre el error cometido en la cubicación de tierras expresado en m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup>. Separación de medias a un nivel de significación del 5%.

Método cálculo	Medias (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Cota explanación	Medias (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Área media	0.0202 a	Mínima (desmonte)	0.0227 ab
Prismatoides	0.0267 b	Media (media ladera)	0.02155 a
		Máxima (terraplén)	0.02621 b

En lo que a la elección de la cota de la explanación se refiere, podemos ver (tabla 3) que el error cometido en la explanación a cota máxima (terraplén) supera a los otros dos casos. Teniendo en cuenta que lo más habitual será trabajar con explanaciones a media ladera para intentar compensar los volúmenes de tierras en desmonte y terraplén, solamente analizaremos los datos obtenidos en explanaciones a cota media.

En la figura 3 se representa el error en la cubicación de tierras expresado en m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> de explanación frente a la distancia entre perfiles para cada morfología en el caso de explanaciones a media ladera. Las curvas ajustadas al conjunto de datos de cada morfología son potenciales presentando un alto coeficiente de regresión

( $0.99 > r^2 > 0.95$ ). Parece apreciarse una relación directa entre la irregularidad de la morfología del terreno y los errores presentados en la cubicación de tierras.

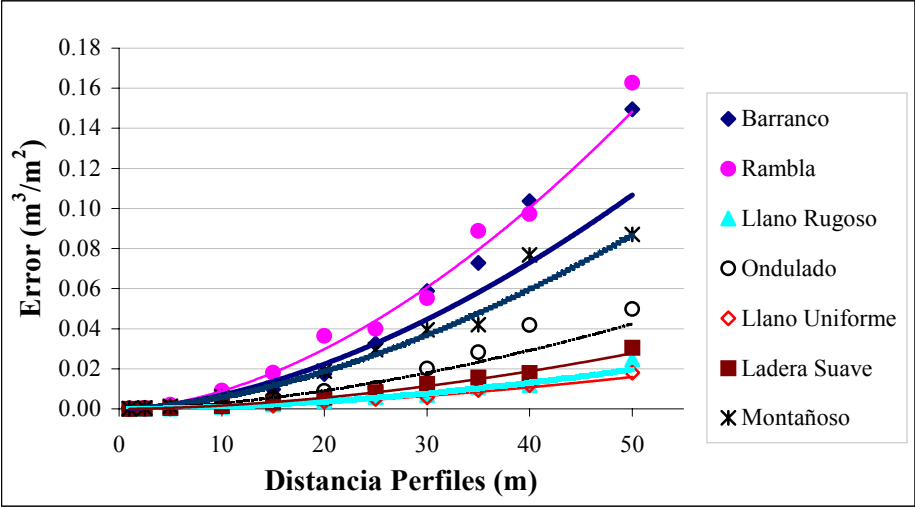


Figura 3: Variación del error en la cubicación de tierras por  $m^2$  de explanación a media ladera respecto a la distancia entre perfiles para cada morfología..

Tras este análisis de resultados abordamos el segundo de los objetivos de este trabajo, que será la obtención de un modelo que relacione las fuentes de variación más importantes, distancia entre perfiles (dist) y la morfología del terreno expresada mediante la variación de las componentes de los vectores unitarios perpendiculares a la superficie (DEVUN)<sub>3</sub> con el error en la cubicación de tierras expresado en  $m^3$  de tierras a mover por  $m^2$  de explanación. Se ha utilizado el modelo teórico que se expone en la expresión [6]:

$$Error = (a * dist^b) * (c * DEVUN^d) \tag{6}$$

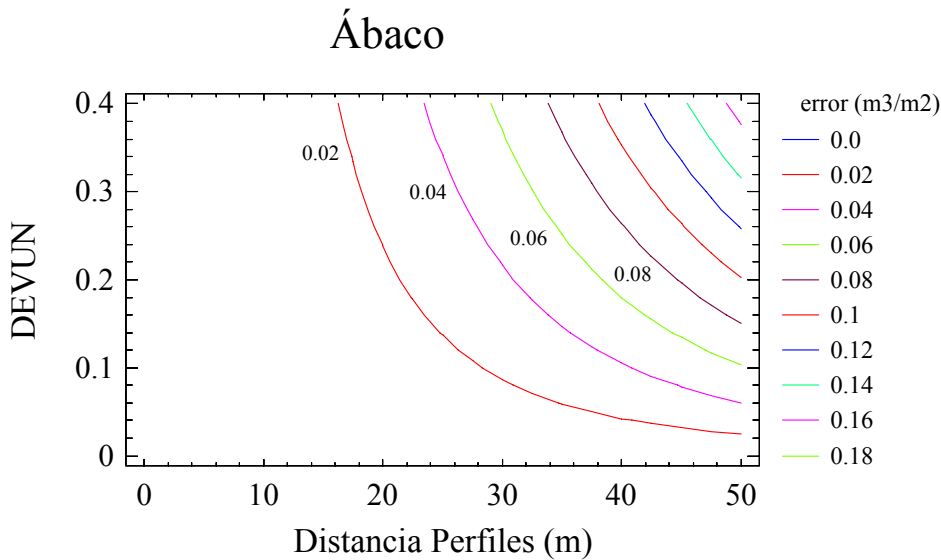
Con él se pretende dar una respuesta práctica a algunas cuestiones que se podría plantear el técnico que se enfrenta a la construcción de una explanación de plano horizontal: ¿qué distancia entre perfiles transversales debería tomar en una explanación realizada sobre un terreno con una determinada morfología (DEVUN), para cometer un error en la cubicación de tierras por el método del área media expresado en  $m^3$  por  $m^2$  de explanación, inferior al requerido?.

Tabla 4: Coeficientes obtenidos en el ajuste del modelo por regresión no lineal y coeficientes de regresión obtenidos para explanaciones a media ladera.

Modelo experimental [6]	a	b	c	d	r <sup>2</sup>
Media ladera	0.0014	1.8933	0.1425	0.7563	0.914

Para dar respuesta a esta cuestión se ha generado un modelo para explanaciones a media ladera, basado en datos experimentales que responden a la ecuación [6]. Los

coeficientes de ajuste y el coeficiente de regresión aparecen en la tabla 4. En la figura 4 se presenta el modelo obtenido para explanaciones a media ladera en forma de ábaco, permitiendo realizar la toma de decisiones de forma gráfica .



*Figura 4: Modelo que relaciona la morfología (DEVUN) y la distancia entre perfiles con el error en la cubicación por m<sup>3</sup> de explanación a media ladera.*

**4. Conclusiones**

Los resultados obtenidos en este trabajo nos permiten extraer las siguientes conclusiones:

- El método del área media ha resultado más exacto que el de los prismatoides, en la cubicación de tierras por perfiles transversales.
- Hay una relación potencial clara entre la distancia entre perfiles y el error cometido en la cubicación de tierras por el método de los perfiles, para cada una de las 7 morfologías empleadas. Por otro lado, la variable morfología también tiene un peso importante en el error cometido en el cálculo de volúmenes. Estos errores aumentan a medida que lo hace la rugosidad del terreno.
- Se puede realizar una modelización del error cometido en la cubicación de tierras por perfiles en función de la morfología del terreno (DEVUN) y la distancia entre perfiles en explanaciones a media ladera. La representación en forma de ábaco de éste modelo nos puede ayudar a la hora de decidir la distancia entre perfiles transversales en un determinado proyecto de explanación.

Estos primeros resultados, aunque bastante interesantes desde el punto de vista práctico, necesitan de futuros trabajos para su consolidación definitiva. Entre ellos podemos destacar la validación del modelo obtenido, o estudiar otros factores que por simplificar el proceso se han obviado en este primer estudio, como por ejemplo la influencia de la consideración de taludes o la adaptación a obras lineales (caminos).

## Referencias

Aguilar, M.A., Carvajal, F., De Haro, J.M., Aguilar, F.J., Agüera, F., Gálvez, M.J., *Modelo tridimensional del terreno. Aplicación al control de volúmenes de tierras realizados en las obras de restauración medioambiental de una zona minera*. Mapping, nº 66, pp. 12-18, 2000.

Aguilar F.J., Agüera F., Carvajal F., *Fundamentos para el diseño gráfico de maquinaria e industrias agrarias.*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería, 1999.

Aguilar, F.J., Agüera, F., Aguilar, M.A., Carvajal, F., Sánchez, P.L., *La calidad de los modelos digitales de elevaciones con estructura de matriz regular. Análisis y modelización*. Actas del XV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Nápoles-Salerno, Italia, pp. 188, 2003.

British Columbia Ministry of Forest, *Forest road engineering guidebook 2<sup>nd</sup> ed.* Forest Practices Code of British Columbia, 2002

Escario, J.L., Escario, V., 1960. Caminos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

Golden Software, Inc. *Surfer 8 Users' guide*, Golden Software Inc., Colorado, 2002.

Kerle, N., *Volume estimation of the 1998 flank collapse at casita volcano, Nicaragua: A comparison of photogrammetric and conventional techniques*. Earth Surf. Process. Landforms nº 27, pp. 759-772, 2002.

Navarrete, F., *MDT versión 4. Potencia y facilidad de uso*. Mapping, nº 80, pp. 35-39, 2002.

Zurita, E., Herráez, E., Arias, J.L., *Modelado gráfico del terreno. Explanaciones*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Lugo, 1990.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### MODELIZACIÓN VIRTUAL DE ENTORNOS URBANOS CON HERRAMIENTAS SIG

REBOLLO CASTILLO, Francisco Javier; RODRÍGUEZ GORDILLO, Manuel de la Cruz,  
MORILLO BARRAGAN, Juan

Universidad de Extremadura, España  
Escuela de Ingenierías Agrarias, Departamento de Expresión Gráfica  
Correo electrónico: [rebollo@unex.es](mailto:rebollo@unex.es); [mdlcruz@unex.es](mailto:mdlcruz@unex.es); [jmorillo@unex.es](mailto:jmorillo@unex.es)

### RESUMEN

Actualmente la modelización virtual, mantiene un gran nivel de crecimiento, por ser una técnica reciente con multitud de aplicaciones. Esto hace que la tendencia sea a la utilización cada vez mayor de este tipo de herramientas.

En esta ponencia, pretendemos analizar, las posibilidades que nos brinda una aplicación SIG, cuando la utilizamos como herramienta de modelización virtual, en este caso del entorno urbano (casco histórico) de Alburquerque.

Pretendemos analizar los elementos y requisitos principales para la elaboración de una aplicación de este tipo. Tratando los datos necesarios para construir el modelo digital de elevaciones y su entorno urbano, utilizando para ello la modelización virtual.

**Palabras clave:** Modelización virtual, entorno urbano, Sistema de Información Geográfica.

### ABSTRACT

At present the virtual modelization, maintains a great level of growth, being a recent technique with multitude of applications. This causes that the tendency is to the use every greater time of this type of tools.

In this communication, we try to analyze, the possibilities that an application SIG, when we used it like tool of virtual modelization, in this case of the urban surroundings (historical helmet) of Alburquerque offers us.

We try to analyze the main elements and requirements for the elaboration of an application of this type. Treating the data necessary to construct to the digital model of elevations and its urban surroundings, using for it the virtual modelization.

**Key words:** Virtual modelization, urban surroundings, Geographic Information System

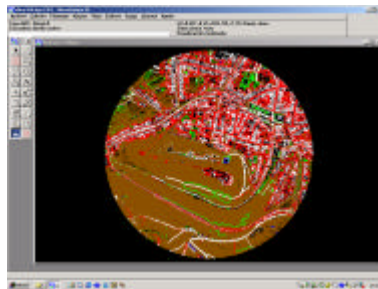
## 1. Introducción

Durante siglos la cartografía ha sido considerada una disciplina en la que se combinaban aspectos técnicos y artes gráficas, siendo el resultado un mapa sobre papel que reflejaba el estado real actual de un territorio; pero hoy día, con la incorporación del empleo de los ordenadores en los procesos de generación de los productos cartográficos, los mapas se han convertido en algo más que una representación del territorio, son elementos fundamentales para la gestión y planeamiento del mismo, permitiendo además la modelización de determinados fenómenos localizados sobre el.

Esta ponencia trata de abordar un modelo tridimensional realista y preciso del casco histórico artístico de la villa de Alburquerque, que permita la navegación interactiva, el recorrido de los distintos escenarios urbanos y la recreación virtual. Se utiliza como base cartografía a escala 1:500.

## 2. Cartografía base

La cartografía base procede de un vuelo fotogramétrico a escala 1/3.000, restituído a escala 1/500 con aparatos analíticos de primer orden (Fig.2).



*Fig. 1. Cartografía base.*

## 3. Desarrollo del trabajo

Para la realización del modelo tridimensional emplearemos el software comercial ArcView GIS© V 3.2. y su extensión 3D Analyst.

### 3.1. Tratamiento de datos gráficos

#### 3.1.2. Proyección cartográfica

Una proyección cartográfica es una fórmula matemática que nos sirve para representar la superficie curva de la Tierra en un mapa plano. Ninguna representación plana de la Tierra puede ser completamente exacta, de modo que se han desarrollado diferentes proyecciones, cada una de ellas apropiada para una finalidad particular. Las proyecciones cartográficas difieren entre sí en el modo en que utilizan áreas, formas,

distancias y orientaciones. Ninguna proyección cartográfica puede ser fiel a la totalidad de esas propiedades, aunque se pueden conservar algunas combinaciones, como área y orientación. A la hora de realizar un nuevo mapa, podemos decidir cuál de las propiedades es más importante para nuestras necesidades y escoger una proyección que conserve esa propiedad.

En este caso a la hora de realizar el levantamiento fotogramétrico que dio como resultado nuestra cartografía base, elegimos la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM). Por lo tanto los datos que aparecen en los ficheros CAD, ya están proyectados. En este caso ArcView se limita a presentarlos tal y como están, es decir proyectados en UTM; esta es una proyección conforme, en la cual los ángulos se mantienen y la forma se conserva para áreas pequeñas.

### 3.1.3. Creación de la Red de Triángulos Irregulares (TIN).

#### 3.1.3.1 Creamos el modelo TIN.

En primer lugar cargamos la extensión “3D Analyst” (Análisis tridimensional) en el menú “File **P** Extensions” (Archivo ⇒ Extensiones), seleccionamos en “Available Extensions” (Extensiones disponibles) y pulsamos OK.

Para crear el modelo tenemos que transformar los temas que se van a utilizar, de formato \*.dgn (MicroStation) a formato \*.shp (ArcView). Para ello activamos el tema y en el menú “Theme” (Tema) pulsamos “Theme **P** Convert to Shapefile” (Convertir en fichero de formas). Esta operación la efectuamos para cada tema a utilizar en la construcción del MDE.

Además creamos un nuevo tema que nos servirá como zona de recorte, el cual se llamará perímetro. Para crear este tema, en el menú “View” (Vista) pulsamos “View **P** New Theme” (Vista ⇒ Nuevo Tema), nos aparece el cuadro de diálogo “New Theme” (Nuevo Tema), en donde marcamos como tipo de entidad a crear “Polygon” (Polígono), pulsamos OK.

En este nuevo tema construimos un círculo (polígono) ayudados de la herramienta “Draw Circle” (Dibujar círculo). Con las siguientes características:

Área de recorte

Radio:	350 m.
X centro:	672557.465 m.
Y centro:	4343076.589 m.

Para crear el modelo lo primero que debemos hacer es activar los temas que van a usarse, estos son los siguientes: 3dcarretera.shp, 3dcurvado.shp, 3dhidro.shp, 3dcaminos.shp, 3dmurallas.shp, 3dmuros.shp, perímetro.shp.

Para crear el TIN, desde el menú “Surface **P** Create TIN from Features” (Superficie ⇒ Crear un TIN con los elementos) y se nos abrirá la ventana “Create new TIN” (Crear nuevo TIN), en donde para cada tema activo tenemos que definir en nuestro caso dos propiedades:

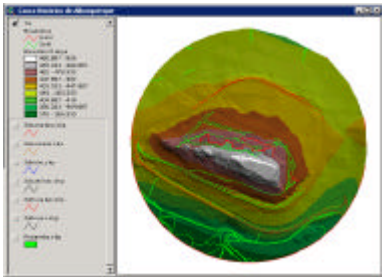
- 1.- El campo de la tabla de atributos donde está almacenada la elevación.
- 2.- El tipo de elemento que forma el tema.

Los diferentes temas los definimos del siguiente modo:

*Temas para la realización del TIN*

<i>Tema</i>	<i>Campo de Altitud</i>	<i>Tipo de elemento</i>
<i>3dcarretera.shp</i>	<i>Shape</i>	<i>Hard Breaklines</i>
<i>3dcurvado.shp</i>	<i>Elevation</i>	<i>Mass Points</i>
<i>3dhidor.shp</i>	<i>None</i>	<i>Soft Breaklines</i>
<i>3dcaminos.shp</i>	<i>None</i>	<i>Soft Breaklines</i>
<i>3dmurallas.shp</i>	<i>Shape</i>	<i>Hard Breaklines</i>
<i>3dmuros.shp</i>	<i>Shape</i>	<i>Hard Breaklines</i>
<i>Perímetro.shp</i>	<i>None</i>	<i>Hard Clip Polygons</i>

Una vez introducidos estos datos pulsamos OK. Cuando el proceso acaba, nos aparece el nuevo TIN en el panel izquierdo de la vista (Fig. 2).



*Fig. 2. TIN*



### 3.1.3.2. Modificamos el modelo TIN.

Para modificar las propiedades de representación del modelo TIN, pulsamos dos veces sobre el tema activo “Tin”, y nos aparecerá la ventana “*Tin Editor Legend*” (Editor de leyenda del TIN), en la cual desactivamos en “*Lines*” (Líneas) la representación de las “*Breaklines*” (Líneas de rotura), y si pulsamos “*Edit*” (Editar) dentro del recuadro “*Faces*” (Faces - caras) (nos aparecerá la ventana “*Legend Editor*” (Editor de Leyenda) en la cual podremos cambiar las características de la leyenda de representación del tema “Tin”.

En la ventana “*Legend Editor*” (Editor de Leyenda), (modificaremos las propiedades de “*Colors Ramps*” (Paleta o rampa de colores ), cambiando la que viene por defecto por la paleta “*Chartreuse monochromatic*”.

En la misma ventana, pulsamos el botón “*Classify*” (Clasificar), y nos aparece el cuadro de diálogo “*Classification*” (Clasificación). Aquí pondremos en “*Type*” (Tipo de clasificación) “*Equal Interval*” (Intervalos Iguales), en “*Number of classes*” (Número de clases) “13” (Ya que la diferencia de cotas máx. y mín. en el TIN ,es de 130 m. Así obtendremos 13 intervalos de 10 m.) y en “*Round values at*” (Redondeo de valores en) “d”. Pulsamos OK.

Por lo tanto una vez modificada la leyenda de la vista “Tin”, el aspecto del TIN generado para el “Casco Histórico de Albuquerque” es el que aparece reflejado en la (Fig. 3).

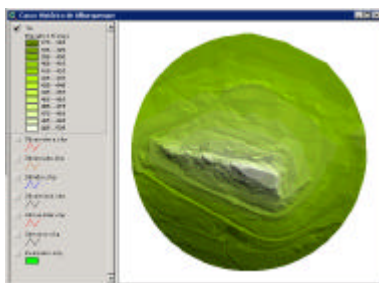


Fig. 3. TIN modificado.

### 3.2. Tratamiento de los datos temáticos.

A cada uno de los temas gráficos de ArcView va asociada una tabla llamada de atributos, cuyos campos iniciales varían en función de la procedencia de los datos gráficos.

Así por ejemplo, si los datos gráficos provienen de un fichero con extensión DGN los campos que contendrá la tabla serán: el tipo de tema (punto, línea o polígono), la entidad de MicroStation a la que corresponde ese elemento (polilínea, círculo, línea, punto de inserción de un bloque...) y los atributos de la misma (elevación, capa, color y grosor). Si por el contrario, los datos han sido introducidos dibujándolos directamente en ArcView, los dos únicos campos que contendrá inicialmente la tabla

serán el tipo de elementos que contiene el tema “*Shape*” (Forma) y el identificador del elemento “*id*”. Si los datos han sido introducidos desde una cobertura ArcInfo, los campos serán los propios de la topología de este programa SIG. Como tablas, pueden añadirse también ficheros dBASE, INFO y ficheros de texto delimitado por tabuladores o comas.

3.2.1. Trabajamos con las tablas.

3.2.1.1. Construcciones.

En primer lugar debemos de importar a nuestro trabajo un nuevo tema, que nos servirá posteriormente para la confección de un modelo realista y preciso del casco histórico. En este caso se trata de la capa construcciones.dgn (polígonos).

Desde el menú “*View P Add Theme*” (Vista ⇒ Añadir Tema), seleccionamos construcciones.dxf.m. Nos aparecerá en la vista el contenido de esta capa. Este nuevo tema lo convertiremos inmediatamente en “*Shapefile*” (Fichero de formas), para ello en el menú “*Theme P Convert to Shapefile*” (Tema ⇒ Convertir a fichero de Formas), añadimos el nuevo tema a nuestra vista.

Para efectuar cualquier modificación sobre una tabla, tenemos que indicar que se va a comenzar la edición de la misma. Para ello lo primero que debemos hacer es abrirla. Luego teniendo activo el tema “construcciones.shp”, pulsamos el botón “tabla”. Hecho esto se nos abrirá la tabla de atributos de este tema.

Una vez abierta la tabla para editarla desde el menú “*Table P Start Editing*” (Tabla ⇒ Comenzar la Edición). De esta forma ArcView ya está preparado para realizar los cambios que queramos, tanto en campos como en registros.

Añadimos dos nuevos campos a la tabla, llamados “Nº alturas” y “Altura”, desde el menú “*Edit P Add Field*” (Editar ⇒ Añadir Campo). Rellenamos los datos requeridos en la ventana del siguiente modo:

Tabla construcciones

“Name” (Nombre)	Nº alturas
“Type” (Tipo)	“Number” (Número)
“Width” (Ancho)	5
“Decimal Places” (Nº Decim.)	2

Lo mismo haremos para el campo “Altura”.

El campo “Nº Alturas” lo iremos rellenando a partir de los datos del número de alturas construidas, que podemos ir capturando de la capa “nalturas.dxf”. Es decir las alturas construidas, registradas en Catastro y que vienen representadas por números romanos en su cartografía.

Una vez completado lo anterior, vamos a rellenar el campo “Altura”, para ello teniéndolo seleccionado, en menú “*Field P Calculate*” (Campo  $\Rightarrow$  Calcular). Introducimos la siguiente expresión ( [Altura] = [Nº Alturas] \* 3). Siendo “Nº Alturas” el número de alturas que aparecen en Catastro, y “3”, el valor medio en metros de una altura. Una vez terminadas las modificaciones en la tabla, cerramos la edición mediante menú “*Table P Stop Editing*” (Tabla  $\Rightarrow$  Detener Edición), en la ventana de diálogo que aparece marcamos “Yes” para guardar los cambios. Si no realizamos esta operación, posteriormente no podremos trabajar con la tabla.

### 3.2.1.2. Monumentos y recinto amurallado.

Ahora importamos el fichero 2dconstrucción.dgn, en el menú “*View P Add Theme*” (Vista  $\Rightarrow$  Añadir Tema). Una vez que se representa en nuestra vista, seleccionamos del menú “*View P New Theme*” (Vista  $\Rightarrow$  Nuevo Tema), para crear un nuevo tema “*Shape*” en este caso de polígonos, que contendrá todos los monumentos. Nos aparece el cuadro de diálogo. Donde seleccionamos como “*Feature type*” (Tipo de elemento) “*poligon*” (polígono).

Lo nombramos como “murallas.shp”. Para añadir los elementos tipo polígono de los que estará compuesto el tema en el menú herramientas activamos “*Draw polygon*” (Dibujar polígono). Con la capa “2dconstrucción.dgn” como fondo, vamos digitalizando los elementos tipo polígono sobre los inmuebles catalogados por el Ayuntamiento como “monumentos de interés histórico”. De esta forma vamos creando el nuevo tema.

Una vez acabado de digitalizar el tema, activamos la tabla de atributos del mismo y comprobamos que los únicos campos que nos aparecen son “*Shape*” (Forma) e “*ID*”. El siguiente paso por tanto será añadir nuevos campos a la tabla, que nos harán falta a la hora de realizar la escena tridimensional.

Abierta la tabla; para editarla desde el menú “*Table P Start Editing*” (Tabla  $\Rightarrow$  Comenzar la Edición). Añadimos ahora tres nuevos campos a la tabla, llamados “Nombre”, “Monumento” y “Altura”, para ello en el menú “*Edit P Add Field*” (Editar  $\Rightarrow$  Añadir Campo).

Escribimos manualmente en la tabla hasta completar los campos.

Como no nos agrada el nombre que le hemos asignado en un primer momento a este tema, procedemos a cambiárselo. Para esto en el menú “*Theme P Properties*” (Tema  $\Rightarrow$  Propiedades), donde aparece “*Theme Name*” (Nombre del Tema) escribimos “Monumentos.shp”. Podemos comprobar que la fuente de los datos no ha cambiado ya que la ruta sigue siendo la misma.

Acabado de editar el tema “Monumentos.shp” creamos ahora el tema “Recinto.shp”. En la vista nos deben de quedar los siguientes temas (Fig. 4).

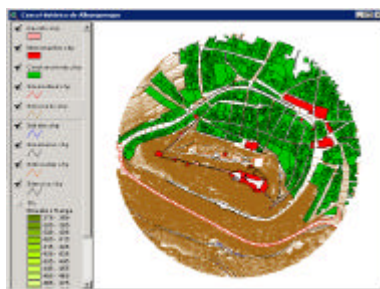


Fig. 4. Vista “Casco Histórico de Albuquerque”

### 3.3. Visualización 3D.

#### 3.3.1. Creamos la escena.

La forma de representación tridimensional (perspectiva) que tiene ArcView 3.2 es mediante la realización de una “Scene” (Escena). Para esto en la ventana de proyecto (proyecto.apr) seleccionamos el icono “3D Scene” (Escena en 3D). Pulsamos la tecla “New” (Nueva) y no aparecen dos ventanas vacías, “3D Scene” (Escena en 3D) y “3D Scene-Viewer 1” (Escena en 3D-Visualizador).

Como hemos podido comprobar ambas ventanas están vacías (no contienen datos), debemos de proceder por tanto a introducir los datos que hagan posible la representación tridimensional.

#### 3.3.2. Generamos el modelo TIN (3D).

##### 3.3.2.1. Creamos el TIN (3D).

La manera de introducir datos en nuestra escena es la siguiente, teniendo activa la ventana de la escena o del visualizador, pulsamos en el menú “3D Scene **P** Add Theme” (Escena en 3D ⇒ Añadir Tema). Procedemos del mismo modo que lo hicimos en la creación del modelo TIN en 2D y obtenemos (Fig. 5):

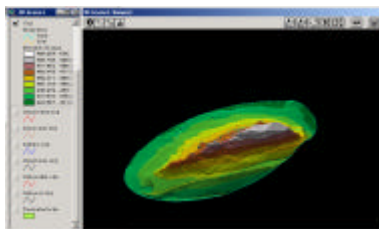
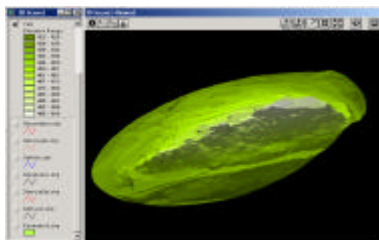


Fig. 5. TIN representación en 3D.

### 3.3.2.2. Modificamos el modelo TIN.

Hacemos ahora igual que hicimos con el primer modelo TIN (2D), para modificar las propiedades de representación (Fig 6).



*Fig. 6. TIN modificado.*

### 3.3.3. Añadimos elementos a la escena.

Comenzamos importando a nuestra escena el tema “Construcciones.shp” (tema del que previamente habremos eliminado todos los polígonos que representan “patios” ([Altura]=0), ya que van a ofrecer dificultades al representar los tejados). Para esto, desde el menú “3D Scene ⇒ Add Theme” (3D Escena ⇒ Añadir Tema), pulsamos OK.

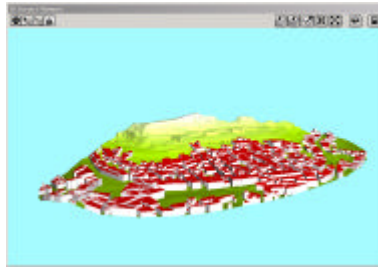
Le asignamos el color blanco a los elementos del tema, hacemos doble clic sobre el mismo en la ventana “3D Scene1” (Escena1 3D) y se nos abre el cuadro de diálogo “Legend Editor” (Editor de Leyenda). Pulsando sobre “Symbol” (Símbolo) cambiamos el color que aparezca por defecto por el color blanco.

Ahora tenemos que “pegar” y “elevar” los elementos de nuestro tema sobre el modelo Tin, esto lo haremos manteniendo activo el tema y seleccionando en el menú “Theme ⇒ 3D Properties” (Tema ⇒ Propiedades 3D). Marcaremos “Surface” (Superficie) para “Assign base heights by” (Asignar las alturas desde la base), en “Offset heights by value or expression” (Compensar alturas con el valor o la expresión) dejamos cero, y como “Extrude features by value or expression” (Extrusionar los elementos con el valor o la expresión) ponemos al campo “Altura”. En “Extrude by” (Extrusionar según) seleccionaremos “Adding to base height” (Añadir la altura desde la base), pulsamos “Apply” (Aplicar) y el resultado puede verse en la (Fig. 7).



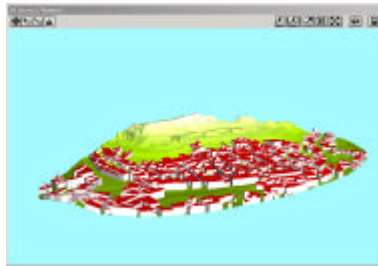
*Fig. 7. Escena con la representación de las construcciones*

De la misma forma insertamos los tejados de las construcciones pero ahora colocamos en “Offset heights by value or expresión” (Compensar alturas con el valor o la expresión) la expresión  $[Altura]+0.2$ . Sobre “Symbol” (Símbolo) cambiamos el color que aparezca por defecto por alguno parecido al rojo teja. Y obtendremos (Fig. 8):



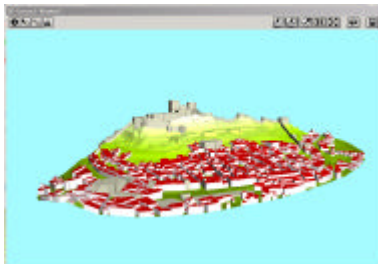
*Fig. 8. Escena con la representación de las construcciones con sus tejados.*

El siguiente paso será añadir el tema “Recinto.shp”, siguiendo los pasos de los procesos anteriores. El color adecuado será ahora uno que se asemeje al de la piedra. Y “pegaremos” el recinto amurallado sobre el modelo Tin (Fig. 9).



*Fig. 9. Escena con la representación de las construcciones, tejados y recinto.*

Por último vamos añadir a la escena los monumentos, para esto actuaremos como en los anteriores casos. El resultado final será (Fig. 10).



*Fig. 9. Escena con la representación de todos los temas.*

## **2. Conclusiones o Consideraciones Finales**

Llegados a este punto, podemos afirmar que se han cumplido todos los objetivos marcados al inicio, como eran conseguir un modelo tridimensional y preciso del casco histórico artístico de la villa de Alburquerque, que permitiera la navegación interactiva, el recorrido de los distintos escenarios urbanos y la recreación virtual.

Creemos que a partir de aquí se puede abrir un gran campo de investigación entorno a las aplicaciones que exigen la utilización de SIG como sistemas de gestión de la información geoespacial, de gran significación en los procesos urbanos.

## **Agradecimientos**

Al Excelentísimo Ayuntamiento de Alburquerque (Badajoz).

## **Referencias**

ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: A management perspective*. WDL publications. Ottawa, 1995.

Esri Inc. *Arc View GIS. The Geographic Information System for Everyone*. 1996.

Lozano Tejeda, Matías. *Castillos Extremeños*. Diputación Prov. Badajoz, 1990.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### VALUTAZIONE DELL'USABILITA' DI PRODOTTI INDUSTRIALI IN AMBIENTE VIRTUALE

BRUNO Fabio; DE NAPOLI Luigi; MATTANÒ Rosa Maria; MUZZUPAPPA Maurizio.

Università della Calabria, Arcavacata di Rende (CS), Italia  
Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Meccanica  
Correo electrónico: (brunof, ldenapoli, r.mattano, muzzupappa)@unical.it

### RESUMEN

La qualità di un prodotto “user centered” riguarda non solo aspetti dimensionali e fisici dell'uomo, ma anche aspetti legati al grado di comfort e usabilità. Attualmente, numerose valutazioni ergonomiche sul prodotto possono essere ottenute utilizzando software di simulazione virtuale; ma questi, pur essendo strumenti estremamente sofisticati, permettono di effettuare unicamente analisi relative ad aspetti legati a grandezze dimensionali e fisiche dell'uomo, trascurando completamente gli aspetti psicologici-cognitivi.

Il presente lavoro focalizza l'attenzione su una caratteristica del prodotto industriale particolarmente significativa sia per l'ergonomia che per il design: l'usabilità.

Lo studio svolto ha riguardato la valutazione delle possibili modalità di “misurazione” dell'usabilità in ambiente virtuale. In tal senso è stata sviluppata un'applicazione che, mediante dispositivi di Realtà Virtuale, permette all'utente il diretto contatto con l'interfaccia del modello virtuale del prodotto.

**Palabras clave:** ergonomia, usabilità, realtà virtuale.

### ABSTRACT

The quality of a “user centered” product is strongly influenced by comfort and usability. Nowadays, many ergonomic aspects can be analysed using specific simulation software; but these softwares are able to carry out only analysis about anthropometric aspects, fully ignoring psychological and cognitive aspects.

This paper is focus on a particular feature of industrial product: the usability.

The our task is that to value the possibility of measuring the usability in virtual environment. Therefore, a Virtual Reality application has been developed, in which the user can directly interact with the virtual model interface.

**Key words:** ergonomics, usability, virtual reality.



# 1. Introduzione

Già negli anni '30 era opinione comune tra gli studiosi ritenere che ulteriori traguardi di sviluppo del sistema produttivo fossero raggiungibili attraverso nuove metodologie progettuali centrate non solo sulla tecnologia ma anche sull'ambiente e soprattutto sull'uomo. Il consolidarsi di tale pensiero ha indirizzato la ricerca verso approcci metodologici alla progettazione caratterizzati dall'interrelazionalità tra settori disciplinari e capaci di consentire un corretto e sostenibile utilizzo delle risorse a servizio dell'uomo.

La consapevolezza della qualità di una progettazione basata sulla centralità dell'uomo, sulle sue esigenze, sulla sua modalità di relazionarsi con l'ambiente e con gli artefatti, ha portato l'approccio ergonomico alla progettazione a divenire ormai assolutamente imprescindibile sin dalle prime fasi di ideazione di un qualsiasi prodotto.

L'approccio ergonomico al progetto è sintetizzabile nella definizione di "User-Centered Design" ossia la progettazione di prodotti di facile utilizzo e adatti al contesto d'uso, capaci cioè di permettere all'utente, nell'interazione con essi, di massimizzare l'efficienza e ridurre al minimo lo sforzo fisico e mentale. Un oggetto è ergonomico se è un oggetto adatto al suo scopo, al suo utilizzatore e al contesto d'uso. Non si progetta quindi solo un oggetto, ma l'oggetto diviene il prodotto finale di un ben più ampio e complesso percorso analitico – progettuale che investe l'intero sistema con cui esso è chiamato ad interagire [1, 2].

Le metodologie e le tecniche messe a punto per questo nuovo approccio alla progettazione, quindi, intervengono nel processo di concezione, realizzazione e verifica dei prodotti attraverso procedure di valutazione delle esigenze degli utenti e di verifica dell'usabilità e della sicurezza d'uso del prodotto. Secondo questo approccio, comunemente chiamato modello partecipativo, affinché il prodotto risulti qualitativamente apprezzabile è necessaria, dunque, una stretta collaborazione tra "Progettista" ed "Utente" [2].

Se da una parte è auspicabile affrontare uno studio ergonomico sin dalle prime fasi dell'attività di progettazione, dall'altra è doveroso ricordare la complessità di elaborazione analitica delle numerose variabili legate principalmente ai fattori umani di natura fisica, sensoriale e cognitiva e ai complessi meccanismi neurofisiologici e psicologici (coordinamento motorio, destrezza, etc. ); giungere quindi alla teorizzazione di un modello risulta estremamente complesso. La soluzione più semplice, e tradizionalmente adottata, è quella di uscire dal laboratorio di ergonomia per entrare nella realtà; ma anche tale soluzione, per quanto meno complessa della precedente, trova non pochi ostacoli negli elevati costi e tempi di realizzazione di un prototipo e nell'elevato numero di prove necessarie per l'attendibilità dei risultati.

Una caratteristica importante della progettazione ergonomica, capace di conferire qualità ad un prodotto, riguarda il "contesto d'uso". La qualità d'uso è l'attitudine di un prodotto a soddisfare le esigenze dell'utente all'interno di uno specifico contesto di utilizzo.

Nella progettazione di un qualsiasi prodotto quindi è necessaria non solo la valutazione delle possibili interazioni che l'utilizzatore avrà con esso, quanto anche l'analisi di tutti i possibili contesti in cui il prodotto sarà suscettibile di utilizzo. Inoltre

l'attributo ergonomico, non è da ritenere riferibile al prodotto in sé, ma al prodotto in relazione sia all'utente che all'ambiente in cui è utilizzato; l'ergonomicità di un prodotto è una caratteristica qualitativa ed esiste, quindi, solo in relazione ad un utente (o una categoria di utenti) e all'ambito di applicazione in cui il prodotto viene utilizzato.

Realizzare una progettazione centrata sull'utente significa mettere in atto una metodologia che sin dalle prime fasi di progettazione permetta il confronto del prodotto con la realtà, permetta di valutarne i risultati e di iterare il processo fino alla definizione di un modello che risulti funzionale, di facile comprensione d'uso e possibilmente gradevole dal punto di vista estetico. E in tal senso l'ergonomia si avvicina molto al design (inteso anche come stile). Nell'ultimo decennio lo sviluppo del design ha delineato il passaggio dalla fase storica dell'apparire a quella del benessere [3]: il design moderno non è solo estetica, ma anche e soprattutto attenzione per l'uomo e per l'ambiente, attenzione all'uomo nell'ambiente. Sussiste un forte legame, quindi, tra ergonomia e design in quanto caratterizzati entrambi da un approccio antropocentrico alla progettazione.

Le peculiarità di un prodotto "user centered" riguardano non solo aspetti dimensionali e fisici dell'uomo (inclusendo tra questi anche gli aspetti visivi, tattili, uditivi e olfattivi), ma anche aspetti legati alla abilità, al livello culturale, al grado di comfort e usabilità (aspetti psicologici-cognitivi);

Il presente lavoro focalizza l'attenzione su una caratteristica del prodotto industriale particolarmente significativa sia per l'ergonomia che per il design: l'usabilità [2-4]. L'usabilità di un prodotto è un concetto che si afferma nel campo dell'ergonomia intorno agli anni '60 e definisce interazione tra l'uomo e l'interfaccia di un qualsiasi tipo di artefatto.

Generalmente le valutazioni ergonomiche dei prodotti sono condotte, in fase di progettazione, utilizzando piccoli modelli in scala (mock-up) e/o modelli virtuali. Oggi, infatti, sono disponibili numerosi strumenti software per la simulazione ergonomica già nelle prime fasi di progettazione, ma pur essendo strumenti di simulazione estremamente sofisticati, è possibile con essi effettuare unicamente valutazioni relative ad aspetti dell'ergonomia strettamente legati a grandezze dimensionali e fisiche dell'uomo, trascurandone completamente gli aspetti psicologici-cognitivi. Gli strumenti informatici disponibili in questo ambito (Jack, Ramsis, Sammie, etc.) permettono valutazioni sulla visibilità, la raggiungibilità, gli sforzi fisici o le posture, ma non esiste alcuno strumento in grado di valutare gli aspetti legati all'usabilità del prodotto e cioè "il grado in cui un prodotto può essere usato da particolari utenti per raggiungere certi obiettivi con efficacia, efficienza e soddisfazione, in uno specifico contesto d'uso" [norma ISO 9241 parte 11].

## **2. L'usabilità dei prodotti industriali**

La norma ISO 9241, in pratica, afferma che il grado di usabilità non è una caratteristica intrinseca al prodotto ma esso viene conferito al prodotto dall'ambiente, dai compiti e dalle caratteristiche degli utenti.

L'importanza di tale norma la si riscontra ogni qual volta un prodotto viene rifiutato dagli utenti finali perché il suo utilizzo risulta difficoltoso. Un prodotto

usabile fa pensare invece a un oggetto che non presenta difficoltà di approccio e che risulta per l'utente di facile e immediato utilizzo; tutto ciò evidenzia quanto gli aspetti psicologici e cognitivi risultino essere importanti.

L'usabilità di un prodotto è valutata facendo principalmente riferimento alla sua interfaccia [5]. Dreyfuss [4], illustrando i cinque obiettivi critici che il designer deve raggiungere nello sviluppo di un nuovo prodotto, definisce l'usabilità in relazione alla progettazione di interfacce che risultino per il consumatore sicure, facili da usare ed intuitive (ogni caratteristica del prodotto deve essere tale da comunicare la propria funzione all'utente).

L'interfaccia è la parte di un prodotto tramite il quale si realizza il rapporto con l'utente e con l'ambiente: perché un prodotto sia usabile, è importante che le modalità di funzionamento del prodotto siano immediatamente percepibili attraverso l'interfaccia; questa deve cioè essere tale da permettere all'utente l'immediata percezione delle azioni che è possibile compiere (manipolare oggetti, spostarli, scrivere, ecc.) ed degli effetti che da esse derivano. L'interfaccia può essere di tipo fisico (che riguarda cioè l'aspetto e le caratteristiche estetiche del prodotto), può essere di tipo cognitivo (che fornisce cioè informazioni sul funzionamento delle apparecchiature, ad esempio la configurazione dei quadranti sul cruscotto di un'automobile), o può essere di tipo funzionale (che consente di impartire comandi alla macchina, ad esempio la tastiera di un computer o di un navigatore satellitare).

Un prodotto che contiene in maniera completa e accessibile tutte le informazioni di cui l'utente può avere bisogno nelle varie fasi di utilizzo dello stesso è valutato come un prodotto di qualità. Inoltre più il design di un prodotto è semplice e lineare, più è in grado di migliorare la comprensione delle funzioni del prodotto ed esplicitarne i dettagli.

In sintesi, la valutazione dell'usabilità rappresenta una fase fondamentale dell'intero processo di progettazione e costruzione di un prodotto in quanto, consentendo di evidenziare e analizzare le possibili problematiche riscontrabili dall'utente, aumenta la comprensibilità d'uso del prodotto.

Riguardo l'usabilità, un forte impulso alla ricerca è stato dato dalla progettazione di siti web. Jakob Nielsen [6], tra i massimi esperti di usabilità del web, definisce l'usabilità "la misura della qualità dell'esperienza dell'utente in interazione con qualcosa, sia esso un sito web o una applicazione software tradizionale". Risulta interessante osservare come anche per i prodotti industriali possano valere in ugual modo le caratteristiche proprie dell'usabilità così come definite da Nielsen. Egli definisce un sito web usabile quando è possibile riscontrare le seguenti caratteristiche:

- **Facilità di apprendimento.** Quanto velocemente un utente riesce ad apprendere le funzionalità dell'interfaccia, svolgendo agevolmente le operazioni di base, senza averla mai vista prima?
- **Efficienza d'uso.** Una volta che un utente ha compreso come utilizzare il sistema, quanto velocemente può compiere le operazioni sul sistema?
- **Memorizzazione.** Se un utente ha già usato il sistema, la volta successiva si ricorderà come usarlo oppure dovrà iniziare nuovamente l'apprendimento dell'interfaccia?

- **Assenza di errori.** Con quale frequenza un utente compie errori utilizzando il sistema, quanto gravi sono gli errori e quali soluzioni adotta per rimediare?
- **Soddisfazione soggettiva.** Quanto risulta gradevole all'utente l'utilizzo del sistema?

E' possibile quindi affermare che la realizzazione di un prodotto usabile richieda sia l'applicazione di consolidati principi e linee-guida di progettazione, sia il costante confronto con gli utenti finali, con i loro desideri e le loro esigenze, nonché una rigorosa analisi del contesto d'uso.

## **Metodi di valutazione dell'usabilità**

La valutazione dell'analisi di un prodotto non può quindi, prescindere dal coinvolgimento diretto dell'utente finale. Per tale motivo tutti i metodi di valutazione dell'usabilità e della sicurezza d'uso si basano sulla raccolta di informazioni relative alle modalità con le quali si svolge l'interazione uomo-prodotto all'interno di un determinato contesto d'uso. L'utilizzo di tali metodologie servono a comprendere le eventuali difficoltà incontrate dagli utenti nell'utilizzo dei prodotti e a guidare i progettisti nella costruzioni di oggetti sempre più *human centered* e di qualità.

Esistono differenti criteri di classificazione e descrizione dei metodi di valutazione dell'usabilità, tali criteri si differenziano in base alla oggettività o alla soggettività delle tecniche di raccolta ed elaborazione dei dati, in base al coinvolgimento o meno degli utenti nello sviluppo delle prove e in base alla fase di sviluppo del prodotto [7]. La classificazione più frequentemente utilizzata suddivide i metodi in:

- Metodi analitici, non empirici, o prove euristiche
- Metodi empirici, o prove con utenti

I *metodi analitici* arrivano a definire le difficoltà riscontrate dall'utente senza coinvolgimento diretto dell'utente stesso. Tali dati vengono generalmente ipotizzati dai tecnici dopo una accurata ricerca analitica sulle problematiche verificabili. Questo tipo di metodologia richiede almeno un prototipo su cui poter effettuare le verifiche ed è generalmente la più economica in termini di risorse investite.

I *metodi empirici* hanno come caratteristica comune il coinvolgimento degli utenti nel processo di valutazione dell'usabilità e si basano sull'osservazione delle modalità con cui gli utenti interagiscono con un prodotto o un prototipo. Le valutazioni empiriche risultano più onerose in termini di risorse impegnate e consentono di effettuare sia misure *oggettive*, che misure *soggettive*. Le misure oggettive fanno riferimento ad azioni e comportamenti che possono essere misurati (tempo impiegato per finire un compito, tempo per trovare l'informazione sul manuale, numero di errori, numero di consultazioni del manuale, ecc.). Le misure soggettive invece fanno riferimento a percezioni, opinioni e giudizi dei soggetti sperimentali (scale di facilità d'uso, scale di atteggiamento, preferenze di un prodotto rispetto ad un'altro con le stesse funzionalità, commenti spontanei, ecc.). I principali metodi di valutazione empirica si basano generalmente su osservazioni del campione di utenti, interviste e questionari, valutazioni interpretative.

La norma ISO 9241 parte 11 definisce gli elementi che dovranno essere rilevati dalle prove empiriche: efficacia, efficienza e soddisfazione d'uso di un prodotto. Questi tre elementi rappresentano le componenti essenziali attraverso le quali è possibile valutare, in termini quantitativi, l'usabilità di un generico prodotto.

L'**efficacia** del sistema è l'accuratezza e la completezza con la quale gli utilizzatori raggiungono specifici obiettivi. Essa viene valutata in funzione di:

- *Ultimazione del compito*: valutazione della completezza e l'accuratezza con cui gli obiettivi vengono perseguiti.
- *Qualità dei risultati*: valutazione della qualità del risultato del lavoro svolto.
- *Numero di errori commessi e loro gravità*.
- *Numero di richieste di assistenza e chiarimento*.

L'**efficienza** del sistema riguarda le risorse spese in relazione all'accuratezza e alla completezza con le quali gli utilizzatori raggiungono i risultati. Essa è misurata in termini economici, temporali e di sforzo richiesto con riferimento alla:

- *Velocità*: tempo richiesto per l'esecuzione e l'ultimazione di un compito.
- *Affidabilità e sicurezza nell'uso del prodotto*.
- *Competenza richiesta nell'uso del prodotto*.
- *Frequenza degli errori durante l'esecuzione di un compito*.
- *Costi* relativi ai materiali e a tutti i tipi di risorse impiegate.

Gli aspetti relativi alla **soddisfazione** fanno riferimento al grado di soddisfazione complessivo e al livello di benessere o di disagio che l'utente avverte e sono misurati attraverso:

- *Analisi attitudinale di tipo qualitativo*: consiste nel chiedere agli utilizzatori, mediante dei questionari e delle interviste, come si sentono rispetto all'uso del prodotto.
- *Analisi attitudinale di tipo quantitativo*: consiste nel dare un valore numerico alla soddisfazione percepita dagli utenti, utilizzando strumenti come il SUMI (Software Usability Measurement Inventory) o il SUS (System Usability Scale).

### 3. Validazione virtuale dell'usabilità

Determinare la soluzione progettuale in grado di rispondere meglio ai bisogni degli utenti pone l'esigenza di valutare e confrontare più soluzioni prima di giungere a definire quella ottimale. L'opportunità offerta dagli ambienti di simulazione virtuale consente di superare le problematiche (in termini di tempi e costi) legate ad approcci comparativi mediante prototipi fisici.

Ma tutti i software di "ergonomia virtuale" oggi in commercio, limitano le proprie analisi ai soli aspetti legati a fattori antropometrici mettendo a disposizione del progettista strumenti utili esclusivamente alla validazione di:

- correttezza della postura,
- forza ammissibile o raccomandata per compiere una specifica azione in funzione del sesso, dell'età, della condizione fisica, etc.,
- campo di visibilità,
- raggiungibilità dei comandi,
- tempo necessario per svolgere un compito.

L'obiettivo che ci si è posti in questo lavoro è stato quello di valutare le possibili modalità di "misurazione" dell'usabilità in ambiente virtuale.

In un ambiente di Realtà Virtuale è, infatti, possibile simulare l'interazione tra l'utente reale e la rappresentazione digitale del prodotto. Ciò viene realizzato mediante appositi dispositivi capaci di fornire all'utente una visualizzazione tridimensionale (mediante la stereoscopia) e una interazione diretta con il prodotto virtuale (mediante l'uso di appositi guanti dotati di sensori in grado di rilevare le flessioni delle dita delle mani); inoltre, integrando tali guanti con dei sensori di tracking, capaci di rilevare posizione e orientamento del guanto nello spazio, è possibile anche ricostruire nell'ambiente virtuale i movimenti delle mani dell'utente. E' possibile così per l'utente effettuare diversi tipi di simulazioni legate all'interazione con il prodotto. Il problema rilevante nella realizzazione di questo tipo di simulazione consiste nel fatto che, attualmente, non esistono software in grado di coprire tutti i possibili task di interazione utente-prodotto. Occorre quindi sviluppare di volta in volta delle applicazioni mirate ricorrendo all'uso di ambienti di sviluppo basati sulla programmazione C/C++ o Java (*Open Inventor*, *World Toolkit*, etc.), oppure impiegare ambienti visuali come *Virtools*, *EON Reality*, etc.. La scelta dell'ambiente software su cui implementare l'applicazione dipende da vari fattori, tra i quali il supporto per i dispositivi che si intende utilizzare, la disponibilità di specifiche funzionalità (collision detection, texture animate, etc..), la capacità di importare i dati in diversi formati CAD, etc..

Questa prima fase della ricerca è stata condotta principalmente con l'obiettivo di valutare le potenzialità e le difficoltà implementative legate alla simulazione di operazioni di interazione utente-prodotto in RV. Il sistema di RV utilizzato è basato su una postazione desktop in cui, mediante un paio di occhiali *Stereoeyes* della *Stereographics*, viene generata una visualizzazione stereoscopica che permette di percepire la profondità della scena 3D; come dispositivo di interazione è stato invece utilizzato un guanto *Data Glove* della *5th Dimension Technologies* a 15 sensori.

Il software utilizzato è stato *Division MockUp* della *PTC*, precedentemente impiegato in una applicazione di RV per l'analisi di smontabilità [8]. *Division Mockup* mette a disposizione due diversi strumenti per lo sviluppo di applicazioni. Il primo strumento è basato su uno scripting language denominato *VDI*; esso è dedicato allo sviluppo rapido di applicazioni basate sul meccanismo dei behaviour che permette di aggiungere ai prototipi virtuali alcune funzioni particolari (ad esempio la reazione del modello ad una particolare azione effettuata dall'utente), in grado di aumentare il livello d'interazione fra l'utente e il prototipo. Con le funzionalità di base offerte da *Division MockUp*, l'utente può analizzare il modello, aggiungere o cancellare delle parti, traslarle all'interno della scena o modificarne le caratteristiche; mediante le funzionalità permesse dallo scripting language è possibile, invece, imporre dei vincoli

al movimento di alcune parti, realizzare delle animazioni in reazione ad un input dell'utente (ad esempio una portiera di un'auto che si apre quando si tocca la maniglia) o implementare una qualsiasi altra funzione che consenta la personalizzazione delle applicazioni.

Il secondo strumento di sviluppo di *Division MockUp* è un software basato su una raccolta di funzioni in linguaggio C che lo sviluppatore può impiegare per l'implementazioni di plug-in o per la realizzazione di applicazioni indipendenti che utilizzano *Division MockUp* come kernel. Grazie a tali librerie è stato realizzato il driver per interfacciare il *Data Glove* con il software.

La prima applicazione prototipale realizzata, ha riguardato un test di usabilità di un lettore DVD. Il test, che consiste in una sequenza di azioni da svolgere, permette di ottenere informazioni utili sull'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione d'uso del prodotto (così come descritto nel par. 2). Nel nostro caso è stato chiesto ad un campione di utenti di svolgere quattro semplici operazioni:





- accendere il lettore,
- inserire il DVD nel portadischi (solo apertura e chiusura del cassetto),
- selezionare la II scena del film,
- avviare la riproduzione.

Il prototipo virtuale necessario alla simulazione è costituito da un parallelepipedo sul quale è stata applicata una texture raffigurante il lettore DVD (figura 1a).

Il modello virtuale, all'interno di *Division MockUp*, è tale che alla pressione del tasto *EJECT* un secondo parallelepipedo trasli verso l'esterno, simulando così l'apertura del portadischi (figura 1b), mentre la successiva pressione dello stesso tasto opera l'azione contraria e cioè la chiusura. Per poter simulare le altre azioni sono state realizzate delle texture che rappresentano il frontale del DVD con differenti indicazioni sul display (nella simulazione effettuata infatti è il display che consente all'utente di valutare la correttezza dell'azione eseguita). In tal modo alla pressione di un particolare tasto dell'interfaccia, sul display viene sostituita la texture che mostra la correttezza dell'azione; analogamente, alla pressione del tasto "play" corrisponde una nuova texture che visualizza la variazione del contatore (figura 2). La pressione di un qualsiasi altro tasto non produce alcuna variazione sul modello.



Figura 1: (a) Modello virtuale del lettore DVD. (b) Configurazione aperta

<i>Azione</i>	<i>Texture corrispondente</i>
<i>Pressione del tasto ON</i>	
<i>Inserimento del DVD</i>	
<i>Pressione del tasto skip next</i>	
<i>Pressione del tasto play</i>	

*Figura 2: Differenti texture che si alternano sul modello in funzione delle operazioni svolte dagli utenti.*

Il tutto è stato implementato utilizzando lo scripting language di *Division Mockup*, associando agli eventi (generati dalla collisione fra dito indice e modello 3D) le azioni corrispondenti. Inoltre, come mostrato in figura 3, l'utente, che indossa il Data Glove, vede visualizzata sul monitor, oltre al modello 3D del lettore DVD, anche la propria mano (virtuale) che compie l'azione.



*Figura 3: Sperimentazione virtuale di usabilità sul prototipo del DVD.*



## 4. Conclusioni

Questo lavoro descrive una possibile metodologia di misurazione dell'usabilità in ambiente virtuale. L'applicazione realizzata riguarda un sistema di Realtà Virtuale in grado di simulare l'interazione tra l'utente e la rappresentazione digitale di un prodotto.

Tale applicazione, ancora ad un livello di sviluppo prototipale, ha permesso, in questa prima fase di sperimentazione, di stimare le problematiche legate all'implementazione del sistema e di verificare le possibilità offerte da un così innovativo approccio alla valutazione dell'usabilità.

Il presente lavoro non riporta dati relativi a risultati sperimentali in quanto, ad oggi, il test effettuato ha riguardato un limitato e poco significativo campione di utenti. Le potenzialità di un tale approccio metodologico sembrano essere interessanti e si intende perciò valutarle più approfonditamente mediante la simulazione di test di usabilità più completi, su modelli 3D di prodotti industriali nonchè su un più ampio e significativo campione di utenti.

## Bibliografia

1. BRIDGER R.S., *Introduction to Ergonomics*, 2nd ed., Taylor & Francis, 2003.
2. VREDENBURG K, ISENSEE S., and RIGHI C., *User-Centered Design: An Integrated Approach*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002..
3. ZURLO F., CAGLIANO R., SIMONELLI G., VERGANTI R., *Innovare con il design*, Il sole 24 ore, Milano, 2002.
4. ULRICH K.T., EPPINGER S.D., *Product Design and Development*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2003.
5. GENTNER, Donald R., and Jonathan GRUDIN, *Why GoodEngineers (Sometimes) Create Bad Interfaces*, Proceedings CHI '90, April 1990.
6. NIELSEN J., *Designing Web Usability: the Practice of Simplicity*, 1st ed., New Riders, 1999.
7. DUMAS, J. and REDISH, J., *A Practical Guide to Usability Testing*, Revised Edition, Intellect, 1999.
8. BRUNO F., MILITE A., MONACELLI G., LUCHI M.L., *Improving the Disassembly Analysis Using Virtual Reality Technologies*, Proceedings of II Annual Conference of Eurographics Italian Chapter, Milano, 2003

## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

---

### **UN EJEMPLO DE DISEÑO PARAMÉTRICO: MODELADO DE UN DISPOSITIVO MECÁNICO APLICABLE EN ENSAYOS DE MICRO-GRAVEDAD**

CAPPELLARI, Fernando (1); STAFFOLANI, Pedro (2); LIFSCHITZ, Luís (3); BRITO, Hector (4)

<sup>(1)</sup>Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica  
Correo electrónico: fcappellari@ing.unrc.edu.ar

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica  
Correo electrónico: pstaffolani@ing.unrc.edu.ar

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica  
Correo electrónico: llifschitz@ing.unrc.edu.ar

<sup>(4)</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica  
Correo electrónico: hbrito@ing.unrc.edu.ar

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se expone una metodología para realizar el modelado paramétrico de un dispositivo de sujeción-liberación aplicable a elementos a ensayar en ambiente de micro-gravedad, a través de vuelos atmosféricos con trayectoria parabólica donde se simula dicha condición.

En primer lugar se deberá realizar un Pre-Diseño para establecer las restricciones geométricas y la definición de las variables independientes y dependientes correspondientes. Estas relaciones partirán de un modelo 2D a otro en 3D.

Este modelo virtual podrá ser visualizado en forma inmediata cada vez que se ajuste el modelo físico-matemático asociado, hasta lograr una conformidad con las especificaciones de funcionamiento y de diseño definitivos.

Este método permitirá crear un sistema versátil de diseño con un sistema de análisis por elementos finitos, desarrollándose un modelo paramétrico 3D.

Cabe acotar que este trabajo se desarrolla dentro del Proyecto de Investigación: Desarrollo de Dispositivos Mecánicos Aplicables a Ensayos Experimentales Bajo Condiciones de Micro-Gravedad; enmarcado en el Programa De Investigación: Análisis Conceptual De Propulsores De Plasma Estacionarios Para Micro-Nanosatélites, que se realiza en nuestra Unidad

Académica, y se encuentra subvencionado por la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

**Palabras clave:** Modelado Paramétrico, Integración CAD/FEA, Dispositivo, Micro-Gravedad.

## ABSTRACT

Presently work is exposed a methodology to carry out the modeling one parametric of a device of applicable subjection-liberation to elements to rehearse in atmosphere of micro-graveness, through atmospheric flights with parabolic trajectory where this condition is simulated.

In the first place he/she will be carried out a Pre-design to establish the geometric restrictions and the definition of the independent variables and corresponding clerks. These relationships will leave of a model 2D to another in 3D.

This virtual model will be able to be visualized in immediate form every time that the associate physical-mathematical pattern is adjusted, until achieving a conformity with the operation specifications and of definitive design.

This method will allow to create a versatile system of design with an analysis system for finite elements, being developed a parametric model 3D.

It is necessary to delimit that this work is developed inside the Project of Investigation: Development of Applicable Mechanical Devices to Experimental Rehearsals Under Conditions of Micro-gravity; framed in the Program Of Investigation: Conceptual analysis Of Stationary Propellers Of Plasm For Micro-Nanosatélites that is carried out in our Academic Unit, and it is subsidized by the Secretary of Science and Technique of the Universidad Nacional de Río Cuarto.

**Key words:** Modeling Parametric, Integration CAD/FEA, Device, Micro-gravity.

## 1. Introducción

El ingeniero de diseño, afronta continuamente el desafío de estructurar problemas no estructurados. Robert L. Norton en su libro, “Diseño de Maquinaria” proporciona los medios para estructurar un problema y conducir a una solución viable.

Consecuentemente un proceso de diseño consta de las siguientes etapas:

- Identificación de la necesidad.
- Investigación de fondo.
- Planteamiento de la meta.
- Especificaciones de tarea.
- Ideación e Invención.
- Análisis.

- Selección.
- Diseño detallado.
- Elaboración de prototipos y pruebas.
- Producción.

Una vez llegado a la etapa de Análisis, el presente trabajo pretende integrarlo con las etapas de Selección y Diseño Detallado; sin perder el enfoque definido por el mencionado autor.

Es de destacar que el diseño forma parte del desarrollo científico y tecnológico que se está realizando en el área aeroespacial de nuestra Unidad Académica.

Aprovechando la característica paramétrica del software Solid Edge se pretende realizar el diseño de un dispositivo mecánico de sujeción, que trabajará bajo condiciones de gravedad muy reducida.

El mecanismo a que se hace referencia, es un dispositivo de montaje, sujeción y posterior liberación aplicable a elementos a ensayar en condiciones de Micro-Gravedad.

Estas condiciones de distintos niveles de gravedad se alcanzan, entre otros, mediante la realización de vuelos atmosféricos con trayectoria parabólica, en aviones convenientemente adaptados para tal fin.

Uno de los temas que merecen una atención considerable es el contexto experimental del dispositivo asociado; ya que la liberación se debe realizar bajo pautas normativas de manera tal de minimizar el efecto del dispositivo citado sobre el elemento sujetado, en un tiempo de actuación de una fracción de segundo.

Los ensayos experimentales bajo condiciones de Micro-Gravedad tienen una duración, aproximada, entre 10 y 25 segundos a lo largo del ciclo y una misión típica consiste de 30 a 40 parábolas.

Particularmente, en los vuelos parabólicos actuales, los ensayos experimentales son realizados en estructuras de soporte del tipo fijas o contenidas a través de bandas flexibles.

Debido a las características existentes en los sistemas de sujeción, y teniendo presente además que las vibraciones producidas por el avión son transmitidas a través del sistema de soporte al ensayo experimental, ocasionan que en ninguno de los casos haya una independencia total entre el ensayo experimental y el sistema soporte disponible en el avión.

Sin embargo cuando el ensayo experimental requiera una total liberación, dentro del espacio físico disponible, es necesario recurrir a un sistema de soporte y liberación

que minimice las perturbaciones cinemáticas residuales producidas por el ambiente en que se llevarán a cabo.

Una vez generado el modelo matemático desde el punto de vista cinemático y dinámico, se elaborarán procedimientos para su implementación computacional, cuyos resultados serán volcados a una planilla de cálculo donde a posteriori se vincularán al software de diseño paramétrico.

Esta manera de diseñar permitirá visualizar el modelo en forma inmediata y básicamente poder analizar las perturbaciones que se presentan durante la actuación del mecanismo, a los fines de minimizar los efectos provocados por las mismas, tanto de origen externo como inherentes al mismo.

Con este diseño del modelo paramétrico se pretende mejorar las condiciones de los ensayos experimentales en condiciones de Micro-Gravedad y principalmente en los aspectos inherentes a la determinación de la funcionalidad y performance, particularmente con la cuantificación del efecto propulsivo en sistemas de propulsión eléctrica aplicables a micro-satélites y nano-satélites.

Cabe acotar que el impulso que alcanzan estos propulsores son muy pequeños, y para poder realizar los ensayos experimentales pertinentes para un normal funcionamiento, es necesario hacerlos en ambientes cuasi reales ya que los parámetros de medición del ensayo “en Tierra” pueden ser no detectados, o que los errores sean del orden de las variables de estudio.

Por tal motivo se requiere que el ensayo experimental se realice lo más próximo a las condiciones de funcionamiento de vuelo del propulsor de un micro-satélites y/o nano-satélite. A saber, esto se logra en órbita terrestre (International Space Station) o en vuelos atmosféricos con trayectoria parabólica, siendo éstos menos onerosos.

Cobra particular relevancia contar con el modelo virtual del dispositivo y todo el sistema de control del modelo físico-matemático, para realizar las simulaciones que lleven a minimizar los trabajos en la construcción futura del prototipo.

## **2. Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar un Dispositivo Mecánico para un montaje de sujeción y liberación controlada, aplicada en ensayos experimentales de motores de propulsión eléctrica en ambientes de Micro-Gravedad.

### **Objetivos Particulares**

Pre-diseño paramétrico del Dispositivo Mecánico.

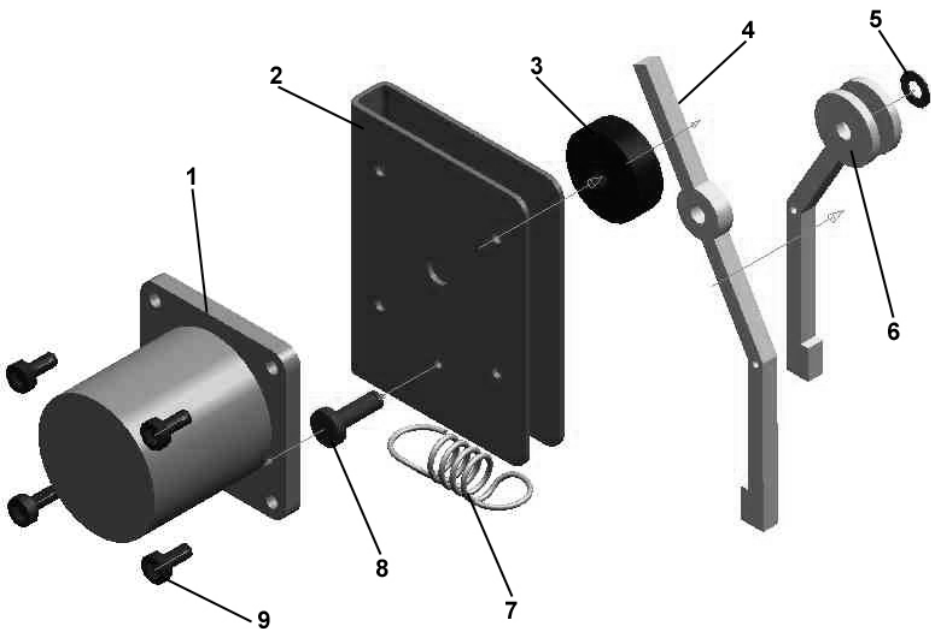
Integración del cálculo estructural y cinemático con el diseño paramétrico.

### 3. Componentes Generales

Para conocer mejor el funcionamiento del dispositivo y ver con claridad cómo es su mecanismo, es necesario visualizar en perspectiva isométrica explotada a los componentes constitutivos del sistema de sujeción y liberación controlada.

Los componentes generales del dispositivo de sujeción y liberación controlada se muestran en la Fig. N° 1, donde:

- [1] Motor paso a paso,
- [2] Soporte de componentes,
- [3] Leva,
- [4] Pinza móvil,
- [5] Arandela de cierre de la junta,
- [6] Pinza fija,
- [7] Resorte de conexión de las pinzas,
- [8] Eje de la junta y
- [9] Bulones de fijación del motor.



*Figura N°1. Componentes Generales del Dispositivo de Sujeción y Liberación Controlada.*

El motor paso a paso [1] actuará en forma solidaria sobre la leva [3], que a su vez entrará en contacto con el seguidor rotacional o pinza móvil [5], donde permitirá rotar sobre el eje de la junta [8], en el que es bloqueado por una arandela de cierre de junta [5].

La pinza fija [6] se vincula a través de un resorte de conexión [7] con la pinza móvil [4], permitiéndose, una sujeción y liberación controlada a través de la leva [3] y del motor paso a paso [1], del elemento a ensayar desde la parte inferior de las mismas.

En el soporte fijo [2] se anclará el motor paso a paso [1] con bulones de fijación [9]. Las dos pinzas son montadas al soporte fijo [2], por intermedio de una junta rotacional.

## **4. Método Operacional**

El procedimiento para llevar a cabo esta tarea de Diseño Integrado, consta de las siguientes etapas:

- Diseño general del dispositivo de sujeción y liberación a través de un modelo paramétrico, definiéndose en forma cualitativa sus dimensiones y restricciones.
- Cálculo cinemático y verificación estructural de los elementos constitutivos. Esto se logra con cualquier software de cálculo, pero el resultado tiene que ser introducido en una planilla de cálculo.
- Modificación de las variables del Diseño con los nuevos valores obtenidos en el Cálculo, para luego encontrar la integración deseada entre los softwares de diseño y la hoja de cálculo.

## **5. Metodología**

### **Ingreso de los Datos del Problema**

El modelo de diseño integrado que se mostrará, a modo de ejemplo, corresponderá específicamente a la pinza fija.

Esto mismo criterio de diseño integrado se aplicará en forma directa a:

- La pinza móvil.
- La leva.
- El resorte de conexión de las pinzas.
- El soporte de componente.

- Accesorios generales.
- Conjunto armado del dispositivo.

Las variables correspondientes a esta parte constitutiva del dispositivo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Variables paramétricas de la pinza fija.

Variable	Denominación	Unidad
Agujero_1	Diámetro interior junta.	Mm
Agujero_2	Diámetro sujeción del resorte	Mm
Extrude_1	Espesor de la pinza.	Mm
Extrude_2	Espesor de la junta	Mm
Extrude_3	Espesor ranura de la junta	Mm
V728	Lado vertical.	Mm
V731	Ángulo del lado inclinado.	Grados
V734	Espesor lado inclinado	Mm
V735	Espesor lado vertical.	Mm
V736	Espesor inferior	Mm
V740	Pestaña de contacto	Mm
V881	Lado inclinado	Mm
V1285	Radio exterior junta.	Mm
V2096	Ángulo de la ranura.	Grados
V2104	Altura de la ranura	Mm

Cabe acotar que la vinculación solo se realiza entre los softwares de diseño y la hoja o planilla de cálculo.

El ingreso de los valores correspondientes a los datos del problema podrán ser introducidos desde una planilla de cálculo, tal como se muestra en la Fig. N° 2.



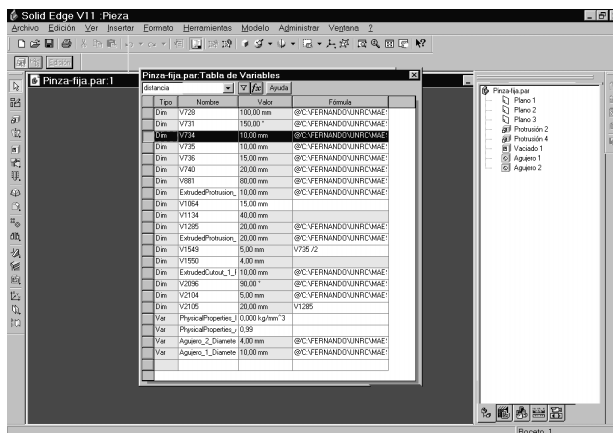
	A	B	C	D
1	<b>Dispositivo de Sujeción y Liberación Controlada</b>			
2				
3	<b>PINZA FIJA</b>			
4				
5	Modificar únicamente las celdas de color azul.			
6				
7	<b>Denominación</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor Numérico</b>	<b>Unidades</b>
8	Lado Vertical	V728	100	mm
9	Lado Inclinado	V881	80	mm
10	Espesor Lado Vertical	V735	10	mm
11	Espesor Lado Inclinado	V734	10	mm
12	Espesor Inferior	V736	15	mm
13	Pestana de Contacto	V740	20	mm
14	Angulo del Lado Inclinado	V731	150	Grados
15	Radio Exterior Junta	V1285	20	mm
16	Diametro Interior Junta	Agujero_1	10	mm
17	Diametro Sujecion del Resorte	Agujero_2	4	mm
18	Espesor de la Pinza	Extrude_1	10	mm
19	Espesor de la Junta	Extrude_2	20	mm
20	Espesor Ranura de la Junta	Extrude_3	10	mm
21	Angulo de la Ranura	V2096	90	Grados
22	Altura de la Ranura	V2104	5	mm
23				
Hoja1 / Hoja2 / Hoja3 /				
Listo				

*Figura N° 2. Ingresos de los Datos.*

## Confección del Modelo

Una vez realizado el modelo paramétrico de la pinza fija en el programa Solid Edge, se activa desde el menú principal la opción de Herramientas, y a través de la alternativa de Variables.

Siguiendo los pasos apropiados que establece el manual de ayuda, nos permitirá lograr la vinculación entre los dos software, simplemente copiando la celda especifica de la hoja de cálculo y pegarlo con vinculo en tabla de Variables tal como se muestra en la Fig. N° 3



*Figura N° 3. Cuadro de dialogo del Solid Edge que vincula con la planilla de cálculo.*

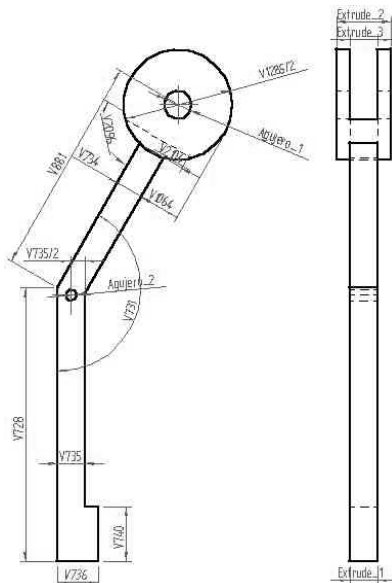
El método de representación utilizado, para la confección de los planos de taller y de conjunto, es el de Proyección en el primer cuadrante o conocido también como método ISO E, según la Norma Argentina 4501-2\*, del IRAM.

El paso siguiente es la modificación de las variables paramétricas del diseño (variables dependientes), asignándole una correlación con las variables de la planilla

de cálculo (variables independientes), donde las variables dependientes asumen los valores de las variables independientes generados por la planilla de cálculo.

Cabe acotar que las variables paramétricas del diseño son generadas automáticamente por el software de diseño, o pueden ser modificadas de acuerdo al criterio del diseñador. En este caso, del ejemplo, se respetaron las variables generadas por Solid Edge.

El modelo de la pinza con sus respectivas variables definidas oportunamente, se muestra en la Fig. N° 4.



*Figura N° 4. Variables Paramétricas de la Pinza Fija.*

## 6. Conclusiones

Del uso de esta técnica: diseñar, calcular y representar al dispositivo de sujeción y liberación en forma integrada, pueden esperarse los resultados siguientes:

El Diseñador realizará sólo una vez el dibujo del dispositivo mecánico y sólo tendrá que realizar el control de acuerdo al modelo físico-matemático que lo gobierna.

Integración de las etapas de Análisis, Selección y Diseño Detallado, del proceso de Diseño.

Reducción del tiempo de confección de los Planos de Conjunto, de los planos individuales y del Modelo Virtual del dispositivo, visto principalmente, desde la realización de algunas modificaciones de las variables paramétricas presentes del diseño.

Utilizar dos softwares diferentes para obtener sistemas de modelado paramétricos, sin la necesidad de llegar a la programación con algún lenguaje de alto nivel.

Una vez realizada la confección de este prototipo, sin lugar a dudas, que la disminución del costo de realizar los ensayos experimentales en condiciones de Micro-gravedad bajo vuelos atmosféricos con trayectoria parabólica, respecto a tener que realizarlos en órbita terrestre, constituye un aspecto de singular importancia.

## Agradecimientos

A los integrantes del Laboratorio de Diseño Asistido por Computadora (LACAD), del Grupo de Mecánica Computacional (GMC), Departamento Mecánica, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto y del Instituto Universitario Aeronáutico, como así también a la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

## Referencias

NORTON, Robert L.. *Diseño de Maquinaria*. 53500 Naucalpan de Juárez, (Edo. de México): McGraw-Hill, 1996. I.S.B.N.: 970-10-0820-0.

MOTIL, Susan et al. *Testing microgravity flight hardware concepts on the NASA KC-135, American Institute of Aeronautics and Astronautics*. Inc. AIAA, Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 39th, Reno NV, Enero 2001

DE LEON, Pablo et al. *Test Equipment Data Package. Project PADE (Shuttle Small Payloads Project G-761)*. National Aeronautics and Space Administration – Johnson Space Center, Julio 1999.

NIEMANN, G. *Tratado Teórico – Práctico de Elementos de Máquinas. Cálculo, Diseño y Construcción*. Barcelona, (España): Labor, 1973. I.S.B.N.: 84-335-6287-8.

BRITO Hector et al. *Modelización y Simulación de un Banco de Ensayo Estáticos a Lámina Resonante para la Medición de Pequeños Impulsos*. IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIDIM 99). Santiago, (Chile). I.S.B.N. N° 956-7069-41-7 y 956-7069-43-3.

LEESTMA, David et al. *JSC Reduced Gravity Program User's Guide*. National Aeronautics and Space Administration – NASA, Noviembre 1996.

CAPPELLARI, Fernando et al. *Una Aplicación del CAD: Integración Paramétrica del Diseño y el Cálculo en la Confección de Planos de Elementos Mecánicos*. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Ingegraf 2001). Badajoz, España. I.S.B.N.: 84-699-5057-6

SOLID EDGE V11. *Manual del Usuario*. 2001. MU28900–SPA.

INSTITUTO RACIONALIZACIÓN ARGENTINO DE MATERIALES. *MANUAL DE NORMAS IRAM de Dibujo Tecnológico*. Edición XXIX, 2001. Buenos Aires.

# BASTIDOR PARA FILMACIÓN 3D ESTEREOSCÓPICA

VALERO RUIZ, Carlos (1); GONZÁLEZ GIL, José Alfredo (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, España  
Centro Politécnico Superior, Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico: cvalruiz@unizar.es

<sup>(2)</sup>Universidad de Zaragoza, España  
Centro Politécnico Superior, Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico: agonzalez@red3i.es

## RESUMEN

El impacto causado por las imágenes estereoscópicas, tridimensionales o en relieve, es superior al causado por las imágenes planas o 2D. La visión estereoscópica permite mostrar con mayor realismo diseños, formas y conceptos complejos de expresar en una imagen plana. La condición para ello es que estén correctamente obtenidas o generadas y también correctamente presentadas. No siempre es fácil, debido a los condicionantes de los equipos de producción. Por ello el medio estereoscópico es usado en pocas ocasiones y en algunas de ellas el resultado no es el esperado. El objetivo de nuestro proyecto es el diseño y desarrollo de un dispositivo de filmación estereoscópica, flexible y susceptible de ser usado tanto en vídeo convencional como en vídeo de alta definición y cine.

**Palabras clave:** 3D, estereoscopia, bastidor 3D, diseño audiovisual.

## ABSTRACT

### RIG FOR 3D STEREOSCOPIC FILMING

The impact caused by three dimensional images or in relief, it's better than 2D images. The stereoscopic vision permit to show with more realism, designs, forms and complicated concepts to express to the 2D image. The condition for that, is to correctly obtain or generate and also correctly presents. Is not always easy, but it is what the production team must do. For that the stereoscopic media is used in few occasions and in some of them the result is not the awaited one. The objective of our project is the design and development of a device of stereoscopic filming, flexible and capable of to be used so much in conventional video as in high resolution video and cinema.

**Key words:** 3D, stereoscopy, 3D rig, audiovisual design

## **1. Introducción.**

La idea de desarrollar esta herramienta de filmación 3D surge de la necesidad creciente que existe en el sector de las producciones estereoscópicas. Las producciones audiovisuales de este tipo son cada vez más demandadas cuando se quiere presentar un mensaje con el máximo impacto y realismo. Pero hasta ahora la posibilidad de llevar a cabo producciones de esta clase y de alta calidad de imagen ha estado únicamente al alcance de las grandes productoras de cine. Se ha detectado un creciente interés por parte de pequeñas y medianas empresas audiovisuales en la creación de contenidos estereoscópicos, como se ha constatado a través de las estadísticas y los email recibidos en las páginas web de uno de los miembros del equipo investigador, Alfredo González [1], páginas españolas dedicadas a los medios audiovisuales estereoscópicos. Los autores han presentado anteriormente diversas ponencias en las que estudian este particular medio [2], [3] y [4]. Esta iniciativa se ha logrado financiar por medio del programa PROFIT del 2003 FIT 0700002003-200, teniendo como socio tecnológico a Telefónica I+D con un presupuesto a dos años de 192.000 Euros.

## **2. Problemática del cine 3D y estado actual de la tecnología.**

La realización de producciones 3D presentan una serie de dificultades no existentes en las convencionales 2D. La primera de ellas es el desconocimiento de este medio y sus técnicas. La segunda es la necesidad de equipos especiales que son excesivamente caros e inexistentes en nuestro país.

Cuando se obtienen dos imágenes independientes con dos cámaras separadas entre sí unos 65 milímetros (distancia interocular humana), y se observan dichas imágenes de forma que cada ojo vea solo su correspondiente, se percibe el efecto estereoscópico, y la sensación de relieve será similar a la observada de forma natural. Pero existen diferencias entre el mecanismo de visión humano y el de captación de un sistema óptico. Sin profundizar en ello [5], esas diferencias obligan a alterar un primer parámetro: la separación interaxial entre los ejes ópticos de las cámaras. Este parámetro debe ser proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto, y para distancias cortas exige valores interaxiales muy pequeños. La separación interaxial en la mayor parte de los casos es muy superior a la natural, debido al tamaño de las cámaras, sobre todo cuando son de alta calidad de imagen. La consecuencia es que el par de imágenes obtenido no es coherente estereoscópicamente y su visión resulta irreal o difícil [5] y [6]. Todo ello dificulta la realización de cine o vídeo 3D [7].

Así mismo es preciso controlar otro parámetro: la convergencia de los ejes ópticos. Esta permite controlar la distribución espacial de la escena que se está captando respecto al plano de la pantalla en la cual se proyectarán luego esas imágenes. La convergencia determina qué debe observarse virtualmente por detrás y qué debe observarse por delante de dicha pantalla.

El objetivo principal de nuestro proyecto supone la creación de un dispositivo capaz de solucionar esos problemas. Para ello se diseña y construye un bastidor especial automatizado y motorizado, suficientemente compacto y robusto para alojar cámaras profesionales de vídeo, y que permita de forma cómoda y fácil la obtención de imágenes estereoscópicas sin limitaciones.

### 3. Realización del proyecto.

El diseño básico es el de un divisor de rayos mediante espejo semi-reflectante en el que se sitúan las cámaras entre sí a  $90^\circ$  y ambas a  $45^\circ$  respecto al espejo, tal como puede verse en la Figura 1.

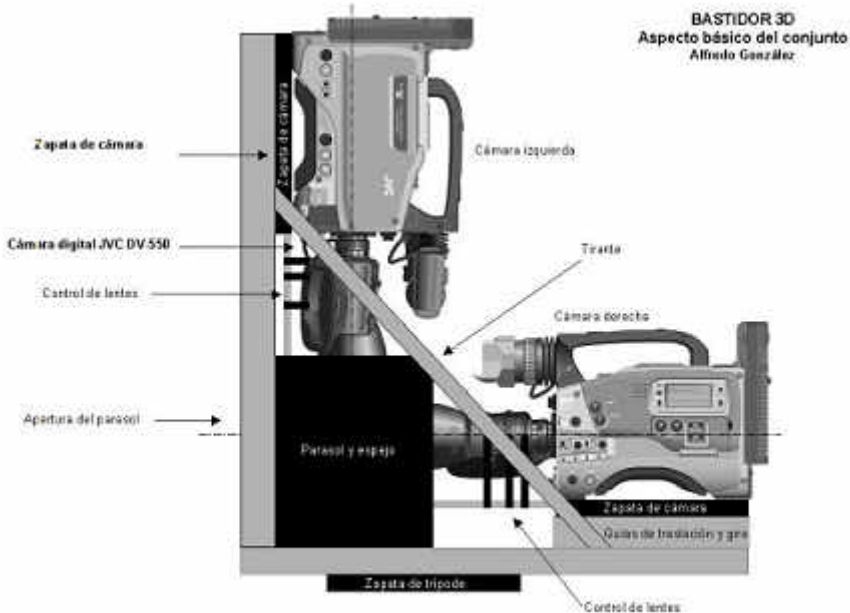


Figura 1: Vista en alzado del bastidor 3D

Se fijaron los siguientes requisitos iniciales como punto de partida para el diseño y construcción del bastidor:

1. Posibilidad del uso de diferentes tipos de cámaras de producción profesional.
2. Separación interaxial de cámaras variable.
3. Convergencia de cámaras variable.
4. Monitorización estereoscópica en tiempo real.
5. Posicionamiento motorizado de las cámaras.
6. Control de posición por software.
7. Control dual sincronizado de las cámaras.
8. Bastidor robusto para producción en campo.

Detallamos a continuación cada uno de estos requisitos:

#### 1.- Uso de diferentes tipos de cámaras.

Se venden dispositivos ópto-electrónicos en el escaso mercado 3D que permiten obtener vídeo estereoscópico con una única cámara, pero a costa de la resolución vertical u horizontal, degradando la calidad de la imagen. Existen ventajas al emplear dos cámaras estándar en lugar de cámaras especiales: la calidad será la de las cámaras empleadas, además de disponer de dos fuentes de imagen integrales, lo que facilita la posterior incorporación de efectos especiales y disponer de una versión 2D de calidad máxima. Pueden usarse dos cámaras de vídeo convencional (SD 625/50i), o de alta definición (HD 1080/24p). Estas últimas ya se emplean para producción cinematográfica, con una calidad de imagen similar a la de película de 35 mm. Las cámaras que hemos empleado para las pruebas son del modelo JVC GY-DV550E (SD) de calidad “broadcast” profesional. Se contempló el uso de óptica gran angular, aún a pesar de aumentar ligeramente el tamaño del bastidor.

#### 2.- Separación de cámaras variable.

Controla la profundidad estereoscópica de las imágenes. Para lograrlo una de las cámaras puede desplazarse una cierta distancia, mientras que la otra permanece fija.

### 3.- Convergencia de cámaras variable.

Con este parámetro se puede controlar perfectamente la situación espacial de las imágenes filmadas respecto a la pantalla y al espectador. Una de las cámaras se gira un ángulo calculado, para lograr así esa convergencia.

### 4.- Monitorización estereoscópica en tiempo real.

A la dificultad de captar imágenes 3D se añade además la de no poder visualizar el efecto durante la toma. La monitorización estereoscópica en tiempo real durante la filmación asegura el resultado que se quiere conseguir, ahorra tiempo y dinero por evitar planos incorrectos, repeticiones o desperdicio de material. Dichos planos incorrectos producirían molestias de visión o efectos no deseados.

### 5.- Posicionamiento motorizado de las cámaras.

Para una perfecta precisión en la disposición y alineación de las cámaras, es necesario un sistema motorizado gobernado por ordenador que haga fácil y precisa esa tarea para el operador, sin tener que hacerlo manualmente, ya que en ocasiones el peso y tamaño de las cámaras empleadas haría dificultoso ese trabajo. En nuestro caso hemos empleado, para el control interaxial de cámaras, una guía de posicionamiento Physik Instrumente serie M-500 con controlador integrado con una precisión de 2 micras cada 50mm y una velocidad de 20mm/seg. La guía es controlada desde un PC portátil mediante el software programado. Para el control de la convergencia hemos empleado un sistema de posicionamiento giratorio M-060 de Physik Instrumente controlado también desde el PC.

### 6.- Configuración automática asistida por software.

Hemos desarrollado un software para facilitar la utilización y configuración del dispositivo en cada toma. Una vez determinadas las distancias de la toma a realizar, e introducidos los datos en el sistema, el software calcula la distancia entre cámaras y la convergencia adecuada, posicionando a su vez las cámaras. Además se han contemplado otras funciones, como la calibración previa del sistema para diferentes cámaras y ópticas, el almacenamiento de los datos para referencia posterior o reposición de situaciones específicas, etc...



## 7.- Control sincronizado de las cámaras.

Ambas cámaras deben sincronizarse en la toma de imagen para evitar diferencias. El control de foco, iris, zoom y obturación debe ser simultáneo. Hemos incorporado motores que permiten enfocar, controlar el iris o hacer un zoom simultáneo con ambas cámaras, todo por control remoto de cable o por enlace inalámbrico.

8 - El bastidor debía ser suficientemente robusto y rígido para mantener la exacta posición de las cámaras respecto al sistema óptico, así como la resistencia necesaria para operar en campo. El sistema se ha diseñado para montarlo sobre trípodes o grúas de producción de cine.

## **2. Desarrollo del Trabajo.**

Las fases previstas para la realización del bastidor han sido las siguientes:

1. Estudio y definición de requerimientos.
2. Diseño CAD del bastidor.
3. Construcción mecánica del mismo.
4. Incorporación de motorización y control.
5. Incorporación de electrónica de control gobernada por ordenador.
6. Programación de control del ordenador.
7. Incorporación de monitorización estereoscópica.
8. Pruebas y test de calibración. Elaboración de una tabla de pruebas de filmación.
9. Pruebas reales de filmación 3D. Pruebas de producción y manejabilidad.
10. Edición digital del vídeo estereoscópico de prueba.
11. Proyección del vídeo estereoscópico.
12. Análisis y valoración de los resultados obtenidos.
13. Difusión de los resultados.

Se detallan a continuación:

1. Estudio y definición de los requerimientos. En esta etapa del proyecto se desarrollaron los conceptos teóricos de aplicación de la visión estereoscópica al vídeo tridimensional de definición estándar profesional y de alta definición (HD).

2. Diseño CAD del bastidor. Se procedió a un diseño CAD previo del bastidor teniendo en cuenta parámetros básicos como son el tamaño de las cámaras, peso de las mismas, situación del centro de gravedad, ubicación de mecanismos y motores así como la electrónica de control, interfaces de vídeo y ordenadores, fijación del bastidor a trípodes o grúas, sistema intercambiable de fijación de las cámaras adaptado al mercado cinematográfico y de vídeo, etc... Tanto en esta fase como en las sucesivas se tuvo muy en cuenta la opinión de operadores de cámaras de vídeo y cine. Se estudiaron varias opciones de configuración posibles, en función del tamaño y distribución de pesos en el conjunto, que determina su centro de gravedad y por tanto la facilidad de maniobra del dispositivo.

3. Construcción del bastidor. El bastidor ha sido realizado básicamente con perfiles y piezas de aluminio Bosch-Rexroth que le proporcionan rigidez suficiente, permitiendo incorporar a su vez sobre la estructura los dispositivos auxiliares y de control.

4. Incorporación de motorización y control. Esta fase contempló motorizar los anclajes de las cámaras para que puedan ser configuradas las posiciones de las mismas sin intervención manual.

5. Incorporación de electrónica de control desde ordenador. El objetivo era dotar al sistema de la electrónica que permita controlarlo desde un ordenador portátil. Un interfaz analógico/digital entre bastidor y ordenador permite el control de posición. Se incorporó también el sistema de control dual sincronizado de las ópticas, así como el arranque y paro de las cámaras y el sistema de sincronización de cuadro de ambas cámaras mediante una señal “blackburst” de referencia.

6. Programación de control del ordenador. Se ha desarrollado un software de control en Microsoft Visual Basic que a partir de los parámetros de la toma de imágenes (distancias, lentes usadas, etc...) y otros parámetros, calcule separación y convergencia de cámaras y controle la posición de las guías.

7. Incorporación de monitorización estereoscópica. Se ha dotado al sistema de facilidades de monitorización estereoscópica mediante monitores adaptados a 3D, de manera que pueda comprobarse en tiempo real cual es el efecto tridimensional conseguido o facilitar el que se quiere conseguir.

8. Pruebas y test de calibración. Elaboración de una tabla de pruebas de filmación. Se estudia una tabla de diferentes situaciones en la toma de imágenes que servirá para probar el control hardware y software del dispositivo.

9. Pruebas reales de filmación estereoscópica siguiendo la tabla de pruebas establecida. Se están realizando actualmente pruebas de producción y maniobra, comportamiento del dispositivo en cuanto ergonomía, facilidad de manejo, transporte, etc...

10. Edición digital del vídeo estereoscópico de prueba. Se realiza actualmente el montaje de diferentes secuencias de vídeo obtenidas con el sistema.

11. Proyección del vídeo estereoscópico. Se pretende realizar un test a grupos de espectadores con el fin de conocer la aceptación del producto y comprobar la bondad del sistema. El sistema de proyección ideado antepone la calidad de la imagen a otros factores. Para ello se ha pensado en la reproducción sincronizada de las dos fuentes originales de vídeo digital obtenidas. Ambas se proyectan superpuestas sobre la pantalla especial 3D desde proyectores digitales tipo DLP con filtros de polarización. Estos proyectores usan el chip DMD de Texas Instrument, que permite el uso de grandes potencias luminosas y poseen gran calidad de imagen. Dado que todo el proceso es enteramente digital, no existe degradación en la imagen final proyectada. Los dos proyectores disponibles actualmente son modelos de 3.000 lúmenes cada uno.

12. Análisis y valoración de los resultados obtenidos. Con toda la información recopilada en el punto anterior se elaborará un dossier con los resultados obtenidos.

13. Difusión de los resultados. La difusión de los resultados se llevará a cabo por los canales habituales de publicación y comunicaciones que tienen los miembros participantes en el proyecto, como son ponencias en congresos y publicación en revistas especializadas. Telefónica I+D, además de coordinar este proyecto, estudiará y evaluará la solución para una posible explotación comercial del dispositivo.

### 3. Conclusiones.

El bastidor 3D no solo es una herramienta de filmación para la producción 3D. Su flexibilidad lo convierte también en un banco de pruebas para experimentar la imagen estereoscópica. Se prevé que en junio de 2004 estarán completadas las primeras fases y se podrá presentar un vídeo demostrativo. Se ha pensado emplear este dispositivo en el rodaje de un vídeo de divulgación científica propuesto al Departamento y que es financiado en parte por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en su apartado de acciones especiales, proyecto DIF 2003-10204-E. En contacto con varias empresas audiovisuales interesadas, se planea experimentar también con vídeo de alta definición para producción de cine 3D.

### Referencias

- [1] GONZÁLEZ GIL, José Alfredo. Web: <http://www.red3i.es/~stereoweb>.
- [2] GONZÁLEZ GIL, J. A.; VALERO RUIZ, C. *Evaluación de tecnologías de visión estereoscópica en ordenadores*. XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valladolid, Junio de 2000.
- [3] VALERO RUIZ, C.; GONZÁLEZ GIL J.A., TORRES LEZA, F. LÓPEZ, C. *La imagen estereoscópica 3D aplicada a la reconstrucción virtual de una ciudad celtibérica (Botorrita)*. XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica Valladolid, Junio de 2000.
- [4] VALERO RUIZ, C; TORRES LEZA, F.; GONZÁLEZ GIL J.A.; RIBED, D. *Engine 3D estereoscópico*. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz, Junio de 2001.
- [5] LIPTON, LENNY; *Foundations of Stereoscopic Cinema*. New York (USA): Van Nostrand Reinhold Company, 1982. ISBN:0-442-24724-9.
- [6] LIPTON, LENNY; *The Crystal Eyes Handbook*. California (USA); StereoGraphics Corporation, 1991. ISBN: 0-9629566-0-0.
- [7] WOODS, A.; *Stereoscopic Presentations - Taking the Difficulty out of 3D*, 6th International Workshop on 3-D Imaging Media Technology, Seoul, Korea, July 20-21, 2000.
- [8] JEAN-PHILIPPE GAY; *Broadcast-quality-stereoscopic vídeo in a time-critical entertainment and corporate environment*, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems II, SPIE Proceedings Vol. 2409, pp.157-159, 1995, ISBN: 0-8194-1756-4

---

## **ESTUDIO DE LA EVOLUCION DE LA LINEA DE COSTA ENTRE ALMERIA Y RETAMAR MEDIANTE LA INTEGRACION DE DIFERENTES FUENTES DE INFORMACION EN UN SIG**

MANZANO AGUGLIARO, Gil (1); MUÑOZ GUILLEN, Andrés (1); MANZANO  
AGUGLIARO, Francisco (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de Almería, España  
Escuela Politécnica Superior  
Dpto. Ingeniería Rural  
Correo electrónico: gilmanza@ual.es

### **RESUMEN**

El presente trabajo pretende poner de manifiesto la erosión o deposición de materiales sufrida por un tramo de la costa almeriense, comprendida entre la desembocadura del río Andarax, y la pedanía llamada Retamar, a lo largo de una periodo de tiempo de 25 años.

Para ello nos hemos basado en diferentes fuentes de información como son fotografías aéreas, ortofotografías, cartografía y levantamientos con GPS. Todas estas fuentes de información son muy diversas, y por lo tanto deben ser tratadas para su análisis mediante SIG, y así determinar si se ha producido la supuesta erosión o deposición de materiales en este tramo de costa, y a poder ser, determinar su cuantía.

Claro está que el grado de precisión de las diferentes fuentes de información es muy variado, pero si se pretende realizar un estudio retrospectivo de un fenómeno como el propuesto aquí, no existe alternativa que utilizar las fuentes de información disponibles actualmente, y procedentes de tiempos anteriores.

**Palabras clave:** GPS, SIG, Cartografía, Fotogrametría, Línea de costa.

# ABSTRACT

The present work tries to determinate the erosion or deposition of materials suffered by a section of the coast of Almeria, included between the river mouth of the river Andarax, and the village called Retamar, along one period of time of 25 years.

For it we have based on different information sources like aerial photographs, orthophotografies, cartography and GPS survey. All these sources of information are very different, and therefore they must be treated for its analysis by means of SIG, and this way to determine if there has taken place the supposed erosion or deposition of materials in this section of coast, and to being able to be, determine its quantity.

Clear there is that the precision degree of the different sources of information is very changed, but if there is tried to realize a retrospective study of a phenomenon as the proposed one here, alternative does not exist that to use the available sources of information nowadays, and proceeding from previous times.

**Key words:** GPS, GIS, Cartography, Photogrammetry, Shoreline.

## 1. Introducción

Los trabajos encaminados al estudio de la evolución de la línea de costa son de vital importancia para el seguimiento de los procesos de erosión en estas zonas. La importancia de este tipo de fenómenos comprende un amplio abanico de ámbitos, siendo quizá el más importante el Medio Ambiente. Otro sector que se ve afectado por el deterioro costero es el turístico. Almería, como la mayoría del litoral español, tiene en sus playas una de sus principales fuentes de ingresos, de ahí la importancia de determinar el posible deterioro de las mismas.

El presente estudio pretende poner de manifiesto la erosión o deposición de materiales sufrida por un tramo de la costa almeriense a lo largo de una periodo de tiempo de 25 años. Esta zona de trabajo comprende 9 kilómetros de playas junto a la ciudad de Almería, por lo que su recuperación puede favorecer la descongestión que presentan las playas de dicha ciudad en época estival.

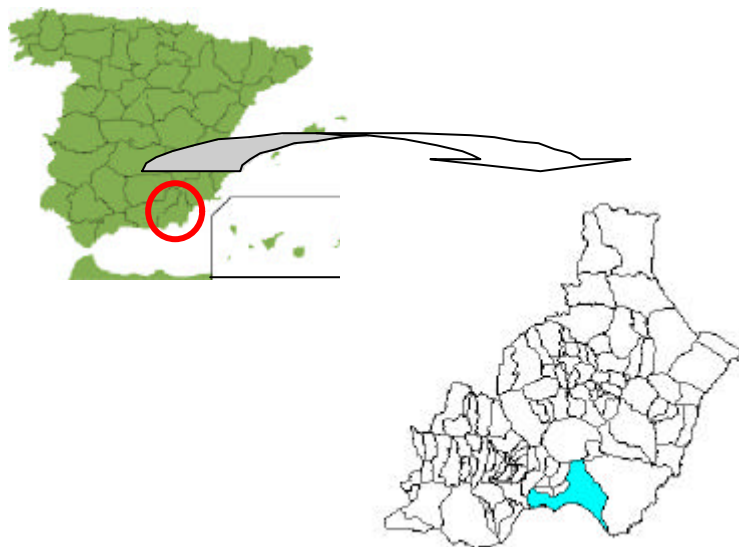
Para ello nos hemos basado en diferentes fuentes de información como son fotografías aéreas, ortofotografías, cartografía y levantamientos topográficos con GPS. Todas estas fuentes de información son muy diversas, y por lo tanto deben ser tratadas para su análisis mediante SIG, y así determinar si se ha producido la supuesta erosión o deposición de materiales en este tramo de costa, y a poder ser, determinar su cuantía.

Claro está que el grado de precisión de las diferentes fuentes de información es muy variado, pero si se pretende realizar un estudio retrospectivo de un fenómeno como el propuesto aquí, no existe alternativa que utilizar las fuentes de información disponibles actualmente, y procedentes de tiempos anteriores.

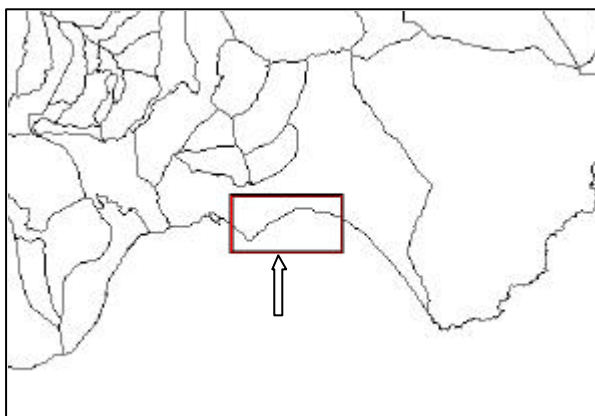
## 2. Desarrollo del Trabajo

### 2.1. Situación y localización del trabajo

El trabajo se realizó en la parte central de la costa del Término Municipal de Almería, figura 1, concretamente la zona comprendida entre la desembocadura del río Andarax y la pedanía denominada Retamar, figura 2, perteneciente a este Término Municipal. La zona de trabajo comprende un total de 9 kilómetros, donde se incluyen las playas de Nueva Almería, El Bodar, Costa Cabana, El Pedrigal, El Toyo y Retamar.



*Figura 1: Situación del Término Municipal de Almería.*



*Figura 2: Localización de la zona de trabajo.*

2.2. Materiales y Métodos

En cuanto a los materiales utilizados se pueden agrupar en cuatro categorías:

- Fotografías aéreas de la zona de trabajo tomadas desde julio de 1978 hasta abril de 1996. Estas fotografías forman pares estereoscópicos gracias al solape longitudinal existente entre ellas, esta características servirá para realizar el modelo estereoscópico y poder realizar la delimitación de la línea de costa sobre papel semitransparente.

Tabla 1: Pares de fotogramas utilizados en el estudio.

Fecha	Zona	Nº de pasada	Escala	Nº de fotografía
Julio de 1978	Puerto –Aeropuerto	P-13	1/30.000	987 – 988
	Aeropuerto	P-12	1/30.000	933 – 934
	Aeropuerto – Retamar	P-13	1/30.000	985 – 986
Septiembre de 1984	Puerto - UAL	P-1	1/30.000	6962 - 6963
Octubre de 1985	UAL - Aeropuerto	P-3	1/18.000	6 - 7
Marzo de 1990	Desembocadura de río Andarax	P-12	1/5.000	4 - 5
	Puerto – Desembocadura de río Andarax	P-12	1/5.000	6 – 7
Noviembre de 1991	Desembocadura de río Andarax	P-13	1/5.000	87 - 88
	Desembocadura de río Andarax - UAL	P-13	1/5.000	90 - 89
	Aeropuerto	P-13	1/5.000	99 - 100
	Costacabana	P-13	1/5.000	96 - 97
Abril de 1996	Puerto – Aeropuerto	P-4	1/40.000	10 – 11

- Ortofotografías en blanco y negro pertenecientes al SIG Oleícola se obtuvieron a partir de fotografías aéreas realizadas a finales de 1997 e inicios de 1998. Las características del vuelo fueron: escala 1:30.000, recubrimiento



longitudinal 60% y recubrimiento transversal 30% [1]. La resolución aproximada de estas ortofotos es de 0,5 metros/pixel.

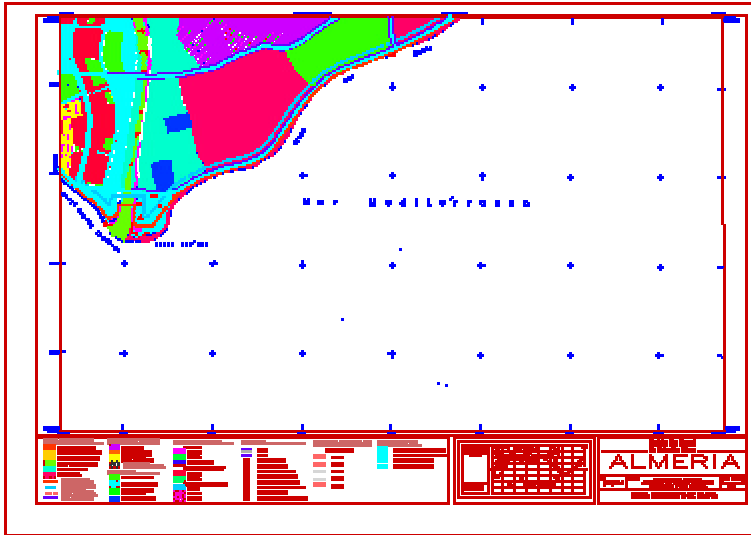
- Ortofotografía a color realizadas por el Instituto de Cartografía de Andalucía. Estas ortofotos son de menor resolución que las anteriores, siendo aproximadamente de 1,5 metros/pixel. El vuelo se realizó en el año 1995, con una escala 1:60.000.
- Mapa Topográfico de Andalucía, del Instituto de Cartografía de Andalucía, a escala 1:10.000, elaborado a partir de fotografías aéreas realizadas entre 1990 y 1995, figura 3.



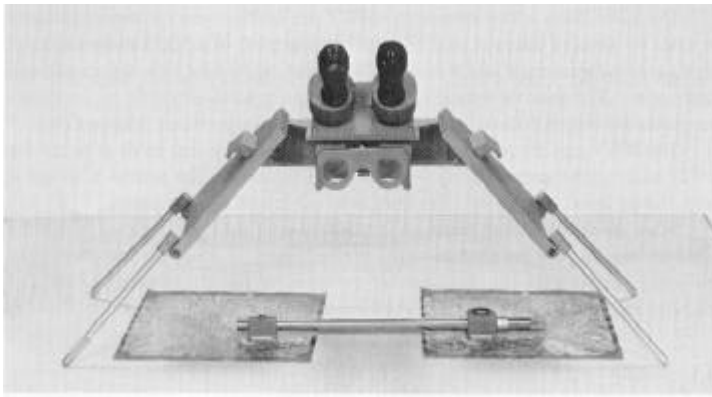
*Figura 3: Hoja del Mapa Topográfico de Andalucía utilizado.*

- Mapas de Cultivos y Aprovechamientos de la Provincia de Almería, realizado sobre ampliaciones a escala 1:20.000 de un vuelo a color 1:60.000 del ICA, cuyos fotogramas se tomaron entre 1995 y 1999, para posteriormente realizar un tratamiento digital de imágenes de satélite y fotointerpretación para la determinación de cultivos.
- Planos de Plan General de Urbanismo de la Provincia de Almería, a escala 1:20.000 obtenidos de la Conserjería de Obras Públicas de Andalucía. Estos planos se obtuvieron a raíz de un vuelo realizado en 1990 a escala 1:25.000.
- Dos GPS cuyas características son: 12 canales, lectura de código C/A, fase de la portadora y tecnología de banda estrecha. Un equipo se utilizó como base, situada en la Escuela Politécnica Superior, para poder utilizar el método de posicionamiento relativo.
- Estereoscopio de reflexión Sokkisha MS27, con lentes de aumento 3x.

- Equipo informático, compuesto por un ordenador de sobremesa y un escáner HP 4500C cuyas características son de una resolución de 2400 puntos por pulgada.



*Figura 4: Plano del Plan General de Urbanismo de la provincia de Almería.*



*Figura 5: Estereoscopio de reflexión Sokkisha MS27, con lentes de aumento 3<sup>x</sup>, utilizado para la observación de los modelos.*

- El software utilizado fue el AutoCAD Map y el ArcView 3.0, además del programa de transformación entre formatos: CAD2Shape 1.0, el cual permite transformar el formato CAD a formato “shp”.

La metodología seguida en este trabajo consiste fundamentalmente en la recopilación de información disponible y que fuese susceptible de ser utilizada e integrada en un SIG para su análisis.

Las fuentes de información que se han utilizado proceden de diferentes formas, tanto en formatos como soportes. Para su tratamiento es pues necesario su homogeneización a un tipo de soporte y formato de tal forma que puedan ser tratados en el SIG.

Pares Esteroscópicos. Los pares estereoscópicos permiten una visión tridimensional del terreno, gracias a un instrumento denominado estereoscópio, figura 6, que en nuestro caso fue de reflexión. La visión tridimensional se obtiene mediante la orientación de los pares de fotograma y generación de un modelo del terreno.

Sobre papel vegetal semitransparente se procedió a delimitar la línea de costa. Sin embargo los modelos obtenidos tenían gran variabilidad en cuanto a escala, pudiendo encontrar modelos 1:30.000 y modelos 1:60.000, al proceder de fotogramas obtenidas a diferentes alturas de vuelo.

Así pues se hizo necesario junto a la delineación de la costa, modelo a modelo, determinar ciertos puntos que sirvan para dar escala a los modelos, así como orientarlos.

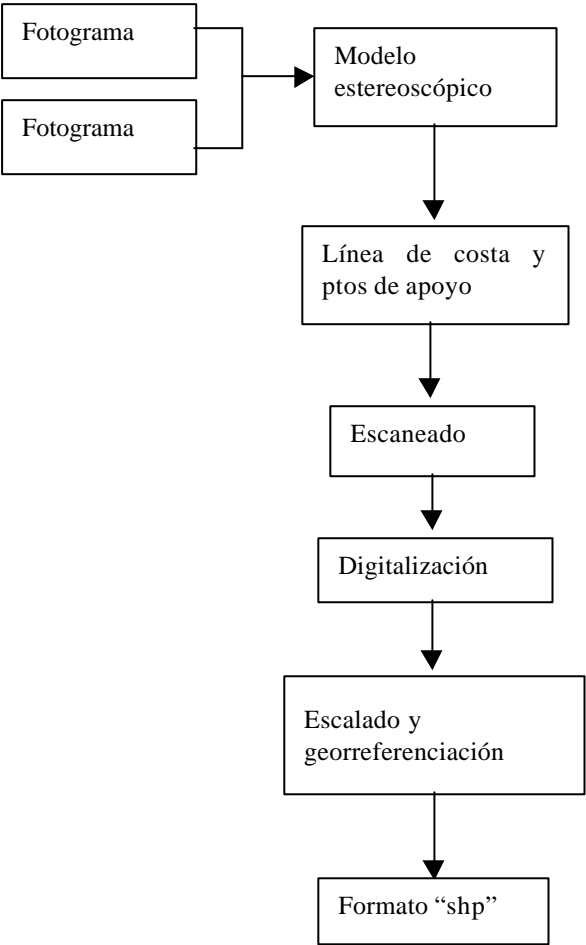
Estos puntos deberán haberse mantenido a lo largo del tiempo ya que su posición se determina posteriormente con GPS.

El papel vegetal con la línea de costa y los puntos de apoyo se escanearon para la obtención de un formato digital de los mismos. Sin embargo el formato obtenido en este proceso no es el adecuado al de tipo imagen. Por lo tanto se debe proceder a su digitalización mediante el programa CAD. Esta digitalización se realiza en este tipo de aplicación para poder realizar el necesario escalado y orientación de la línea de costa, mediante la utilización de los puntos de apoyo obtenidos mediante GPS.

Tras este último paso, se procede a la transformación de formato para su inclusión en el SIG. Si bien el formato CAD “dwg” o “dxf” puede ser importado por el SIG utilizado, es conveniente utilizar el formato “shp”, propio de ArcView, ya que es el que permite realizar los análisis con mayor facilidad.

Ortofotos en B/N y Color. Las ortofotografías son un producto cartográfico que corrige la fotografía aérea convirtiéndolas en un documento georreferenciado, en el que se pasa de una proyección central a una ortogonal.

El formato presentado por estas imágenes es “tiff”, pudiendo ser importadas por el SIG, de tal forma que se encuentran georreferenciadas y escaladas correctamente. Por lo tanto el único trabajo a realizar es la digitalización de la línea de costa, obteniendo el correspondiente formato “shp”.



*Figura 6: Obtención de la línea de costa y transformación a formato shp, a partir de fotogramas aéreos.*

Planos de la Revisión del Plan Urbanístico. Esta información se obtuvo en formato digital tipo CAD. Sin embargo al estar a escala 1:20.000 se tiene que proceder a su correspondiente escalado en AutoCad. Tras su escalado se procede a su importación en el SIG y a la digitalización de la línea de costa, obteniéndola en formato “shp”.

Cartografía Digital de Andalucía 1:10.000. Esta cartografía se presenta en formato “tiff”, presentándose, al igual que las ortos, georreferenciadas y escaladas al insertarse en el SIG, por lo tanto únicamente se deben digitalizar la línea de costa.

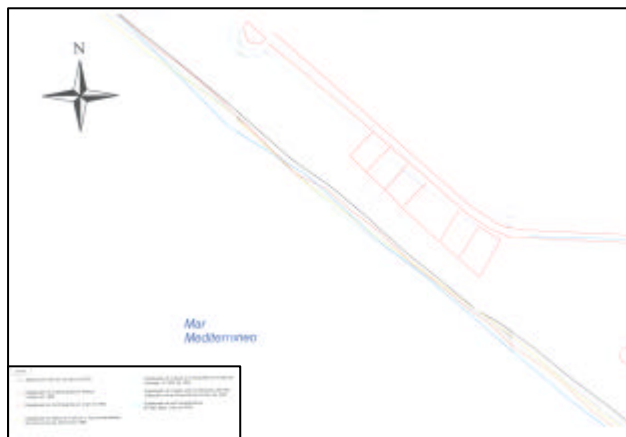
Levantamiento Topográfico. El levantamiento de la línea de costa se realizó con 2 equipos GPS, mediante la técnica diferencial, con un equipo trabajando como base, y con un alejamiento base-móvil de 8 km., asegurando precisiones submétricas [2].

Se realizaron dos levantamientos diferentes en fechas, para así poder cuantificar el efecto estudiado a corto plazo. Así las fechas elegidas fueron junio y octubre, fechas en que las direcciones de viento son diferentes, provocando diferente tipo de oleaje y por consiguiente diferentes tipos de efectos. Los levantamientos realizados se realizaron pie a tierra, ya que en contra de [3], no siempre se puede utilizar un vehículo para recorrer la línea de costa y tomar medidas cada segundo debido fundamentalmente a la orografía de las playas, así como de los materiales que las componen.

La obtención de coordenadas absolutas se realizó mediante la transformación al elipsoide ED50, mediante el método del IGN. Para ello se utilizó el software TopSat. Por último, el formato obtenido es de tipo CAD, por lo que se debe realizar su transformación al formato de trabajo “shp” del SIG.

### 2.3. Resultados

Una vez introducidos en el SIG las diferentes líneas de costa procedentes de los diferentes formatos, se procedió a obtener mapas en formato papel. El resultado fueron 14 mapas como el de la figura 7, donde queda reflejada la clara regresión de la línea de costa.



*Figura 7: Ejemplo de salida gráfica en formato papel.*

Para cuantificar la regresión se procedió a medir el mismo desde la línea más antigua hasta la más actual. Se comprueba que existe una disminución generalizada de las playas, existiendo zonas con diferencias de hasta 40 metros.

### **3. Conclusiones o Consideraciones Finales**

Como conclusiones más relevantes del trabajo, se puede destacar respecto a la metodología utilizada que; aunque ciertamente se cometen errores de cierta cuantía, la metodología es útil para proporcionar una idea de la evolución del litoral.

Se ha producido una regresión de la playas estudiadas, que en ciertos puntos se estima en 40 metros. En este sentido se deberían hacer mayores inversiones por parte de las autoridades encaminadas a la recuperación de esta zona, y no esperar a que el daño producido se irreparable o mucho más costoso. Además siendo el turismo uno de los pilares de la economía, y siendo la zona estudiada muy cercana a la capital de la provincia su recuperación podría descongestionar las playas de la capital a favor de estas otras.

Se ha podido constatar cierta incursión inmobiliaria en la zona marítima, y teniendo en cuenta que los deslindes costeros en la provincia de Almería ocupan el antepenúltimo lugar, con un 28,61 % del litoral, lo que provoca su continua invasión, con el consecuente deterioro del litoral. Por lo tanto se debería aumentar la inversión para completar el deslinde del litoral almeriense para evitar incursiones en el mismo.

### **Referencias**

[1] MANZANO AGUGLIARO, Francisco; RODRÍGUEZ MANCHON, Antonio Amador; MANZANO AGUGLIARO, Gil. Estudio de la Cartografía Catastral a través Del S.I.G. Oleícola en la Provincia de Almería. En Mapping, pp 6-18. Marzo 2003.

[2] MANZANO AGUGLIARO, Francisco; MANZANO AGUGLIARO, Gil; CORCHETE FERNANDEZ, Víctor; AGULERA UREÑA, María Jesús; GARCIA CRUZ, Amos. *Aplicaciones del GPS a la Topografía y Geodesia*. Topografía por Satélite: GPS (4ª Edición). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. ISBN: 84-8240-638-8. 2003.

[3] CROWELL, M. *Monitoring shoreline change*. Abstract presentado a "Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine And Coast Environment:Needs, Solutions and Aplications". 1994.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DIGITALIZACIÓN RÁPIDA DE MODELOS: MÉTODOS, INSTRUMENTOS, ESTRATEGIAS DE DIGITALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN OBTENIDA MEDIANTE UN SENSOR LÁSER POR TRIANGULACIÓN.

SANTOLARIA MAZO, Jorge (1); AGUILAR MARTÍN, Juan José (1); LOPE DOMINGO Miguel Ángel (1); YAGÜE FABRA, José Antonio (1); ROYO SÁNCHEZ, Jesús (1); PUERTAS ERAUSO, Jorge (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, España  
Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico: malo@unizar.es

### RESUMEN

Los sensores ópticos son utilizados en tareas de inspección y en procesos de ingeniería inversa, con objeto de conocer las dimensiones de una parte de la pieza inspeccionada o de obtener un modelo CAD para su fabricación. En este trabajo se hace una revisión de las distintas técnicas de captura de puntos en digitalización y se analizan los mecanismos de error de un sensor láser de línea por triangulación mediante ensayos realizados sobre sus parámetros característicos. Se analizan los resultados y se ofrecen distintas estrategias de digitalización para minimizar los errores obtenidos.

**Palabras clave:** Sensor láser por triangulación, ingeniería inversa, estrategias de digitalización, nubes de puntos.

### ABSTRACT

Optical sensors are used in inspection tasks and reverse engineering processes, with the goal of knowing the dimensions of a part of the inspected piece or to obtain a CAD model for its manufacturing. This paper makes a review of the different techniques of acquisition of points in digitalization and analyses the error mechanisms of a line laser triangulation sensor by means of test over its characteristic parameters. The results are analysed and different digitalization strategies are proposed to minimize the obtained errors.

**Key words:** Triangulation laser sensor, reverse engineering, digitalization strategies, cloud of points.

# 1. Introducción

La digitalización de nubes de puntos en piezas industriales o artísticas tiene dos posibles finalidades. La primera es, en la etapa de inspección de producto, donde se analizan las desviaciones entre el modelo del CAD original de partida y los datos del punto medido en la pieza. Se recogen grandes cantidades de puntos y el análisis de esa información puede hacer pensar en mejoras del proceso, para mejorar la calidad de la pieza. La segunda finalidad de la digitalización es crear un modelo de CAD, capturando la forma de una pieza real, que es lo que se conoce como ingeniería inversa (Reverse Engineering-R.E.). En ambos casos, es necesario medir puntos sobre la superficie de un modelo real. Este trabajo se centra en la ingeniería inversa, entendida como el *“Procedimiento de duplicar un modelo, sin la ayuda de planos, usando métodos de ingeniería de medida, análisis y diseño”*. Las principales aplicaciones en las que se puede aplicar la R.E. son, entre otras, aplicaciones médicas, arte y restauración, aplicaciones multimedia, ergonomía y diseño y fabricación.

## 2. Técnicas de adquisición de puntos

Partiendo de la pieza a copiar se analizan las diferentes posibilidades de adquisición de puntos. Las Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC's) equipadas con palpadores de contacto (punta esférica, estrella, cabezal motorizado...) usan el método de palpado de punto a punto. Estos palpadores de contacto son apropiados para medir las partes de piezas con formas simples, bien definidas (planos, cilindros, conos...), que requieren un número pequeño de puntos de palpado. Este es un procedimiento lento y no es conveniente para medir formas libres eficazmente. Para solucionar este problema se dispone de palpadores continuos ó analógicos, que envían una secuencia ininterrumpida de datos al ordenador, realizando una exploración en movimiento continuo sobre la pieza, evitando los movimientos auxiliares del palpado punto a punto. Entre las características de estos palpadores destacan el contacto constante con la superficie de la pieza, la lectura de coordenadas en tiempo real, la conversión de pequeñas desviaciones en señal analógica y posterior conversión en señal digital y la corrección de posición y orientación del palpador. Estos palpadores de contacto generalmente tienen una exactitud similar a la de los palpadores discretos, pero es complicado medir una superficie libre, donde la velocidad de medición no llega a ser tan elevada como algunas aplicaciones requieren. Tampoco permiten medir partes hechas de materiales flexibles.

Los palpadores sin contacto pueden capturar una cantidad grande de datos de la pieza en un tiempo muy corto con una exactitud limitada. De esta manera, se mide muy rápido y se pueden medir partes hechas de materiales blandos. Sin embargo, estos palpadores no son convenientes para medir piezas que son de materiales transparentes y reflexivos debido a los sensores ópticos que usan. Los palpadores sin contacto pueden tomar puntos más rápidamente, pero tienen las limitaciones en la accesibilidad a la pieza. Estas limitaciones llevan a la necesidad de orientaciones frecuentes del cabezal durante el proceso de escaneado, y esto a veces produce una reducción de la efectividad del sistema global. Para un modelo de superficie complejo, es preciso definir una estrategia de digitalización, función de la forma de la pieza, donde se defina la estrategia de escaneado, el número de caminos y las direcciones a seguir; parámetros que influirán en la precisión final de la pieza. Existen estudios realizados

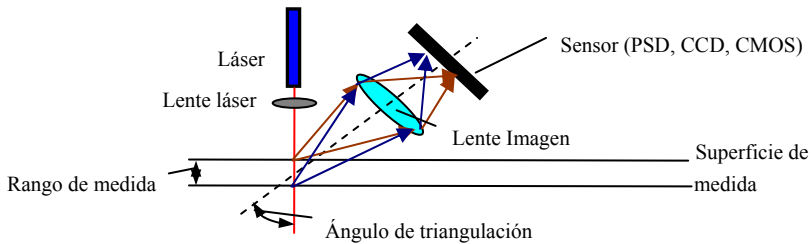


para generación automática de estrategias de digitalización conocida la geometría de la pieza [1], lo que minimiza en gran medida el tiempo de preparación. Generada la estrategia de escaneado, se extrae primero la secuencia de puntos (nube de puntos) que luego servirán para definir el modelo poligonal, el modelo de NURBS y por último la superficie del modelo del CAD que permitirá fabricar la pieza.

### 3. Sensores láser por triangulación (LTS).

#### Principio de funcionamiento

Los LTS basan su funcionamiento en la proyección de luz láser sobre la superficie a medir. El láser proyecta, por norma general, un punto o una línea sobre la superficie del objeto, aunque, en función de la aplicación, es posible realizar tratamiento óptico del haz con objeto de obtener el patrón de marcado láser deseado. A un ángulo determinado del haz láser, se dispone una lente para enfocar la imagen de la superficie marcada sobre el detector de la cámara, de modo que, determinando las coordenadas de los puntos sobre la imagen, es posible conocer las coordenadas globales de los puntos marcados por el láser.



*Figura 1: Principio de funcionamiento de un LTS.*

Como se aprecia en la figura 1, existen múltiples factores que influirán sobre la capacidad y precisión finales del LTS.

**Factores geométricos:** La distancia de separación a la superficie vendrá dada por el rango de medida y, por regla general, en los sensores de mayor precisión, esta distancia es menor. Además, desde el punto de vista óptico, la precisión y resolución son mejores cuando la superficie está más cerca del sensor. Por otro lado, el ángulo de triangulación seleccionado influirá decisivamente sobre el rango de medida y sobre la resolución. Para un aumento óptico y geometría dada, si el ángulo de triangulación aumenta, el rango del sensor disminuye y la resolución aumenta.

**Fuente de luz:** Es necesario que posea alta intensidad, produciendo a la vez un marcado de pequeño tamaño sobre la superficie. Por ello, la gran mayoría de los sensores usan un láser como fuente de luz. El tamaño del patrón de marcado es también importante dependiendo de las características superficiales que se deseen detectar. En función de la curvatura y del tamaño de las características que se pretendan digitalizar, conviene reducir el tamaño del patrón de marcado conforme aumenta la curvatura o se desea detectar pequeñas partes de la superficie. Los factores de influencia sobre el tamaño del patrón de marcado son, en cuanto al marcado en sí, el enfoque del láser y la posición del láser respecto de la superficie. El láser debe

enfocarse obteniendo el menor tamaño del patrón de marcado en el punto medio del rango de medida y debe situarse lo más perpendicular posible a la superficie a medir, ya que el tamaño del patrón se verá incrementado proporcionalmente al ángulo del láser respecto a la normal de la superficie [2]. Existen otros factores, como el tiempo de exposición del captador, que influirán también sobre el tamaño del marcado sobre la imagen final capturada.

**Características superficiales:** Constituyen influencia sobre el patrón de marcado finalmente capturado. En función de la reflexión, la difusión (color, acabado superficial, etc), y los cambios de estos parámetros a lo largo de la superficie a escanear, se deberá elegir el sensor adecuado, ya que en las zonas de cambio, el patrón capturado puede variar del real por la diferencia de intensidades de luz que se registrarán en el captador de la cámara.

**Dispositivo de captura:** En este componente se incluyen la lente, el sensor encargado de la captura de imágenes y la electrónica encargada de obtener y enviar los datos correspondientes a las imágenes capturadas. Existen dos grandes grupos de detectores. Por un lado, el PSD es un dispositivo analógico que es capaz de medir el desplazamiento de un punto de luz a través de los valores de corriente de dos salidas. Por otro lado, tanto los CCD como los CMOS, son dispositivos digitales, en configuración unidimensional o bidimensional. En su forma bidimensional, ambos dispositivos, combinados con la lente adecuada, son una forma de cámara de televisión, capaz de adquirir imágenes con una frecuencia de refresco determinada. Estos sensores están formados por una matriz de dispositivos capaces de generar una tensión proporcional a la intensidad de luz recibida, de modo que pueden obtener una imagen en escala de grises de acuerdo a la superficie que se está escaneando. La relación entre el precio del componente y la precisión obtenida [3], es mucho más favorable a los PSD que al segundo grupo de dispositivos. Cuando la aplicación requiere triangulación directa, es recomendable cualquiera de los captadores mencionados, destacando el PSD unidimensional por los aspectos descritos. Cuando es necesario cálculo a través de captura de imagen los sensores a utilizar son los CCD o los CMOS, capaces de obtener puntos a través de tratamiento de imagen. Un aspecto de suma importancia en relación con la cámara es su calibración, es decir, la obtención, con ayuda de un calibrador, de la matriz de transformación necesaria para obtener las coordenadas globales a partir de las coordenadas de la imagen. Existen multitud de trabajos en relación con el análisis y proposición de técnicas de calibración de estos sensores, dirigidos a mejorar la precisión final del sistema [4,5].

Este trabajo se centra en este último grupo de LTS, formados por un láser de línea y un captador CCD o CMOS. Dentro de este grupo existen varias configuraciones de sensor, siendo más comunes los del tipo presentado en la figura 1. Sobre el captador se obtiene una imagen de la superficie marcada con una línea procedente del láser. Por otro lado, existen sensores que generan la línea de marcado haciendo que el haz láser se mueva a gran velocidad en la longitud de escaneado mediante el giro de espejos poliédricos, de forma que, aunque para el ojo humano, el marcado de la superficie se realiza mediante una línea, en cada momento, en el captador CCD hay un punto. De esta forma, la precisión del sistema es mayor que para el marcado con línea, ya que, al haber solo un punto sobre el captador, se evitan efectos derivados de un enfoque o

tiempo de exposición incorrecto sobre la línea, que se traducen en discontinuidades de esta línea láser en la imagen final [6].

#### **4. Caracterización de los mecanismos de error de un LTS comercial**

En este trabajo se ha realizado el estudio y caracterización de los mecanismos de error de un LTS comercial modelo OptiScan 3D H-1040-L marca DataPixel. Se pretenden analizar varios factores de influencia sobre la precisión final, mediante la realización de ensayos sobre parámetros propios del sensor. Existen trabajos previos en este campo dirigidos a mejorar la precisión de sensores por triangulación en digitalización de objetos grandes [7], análisis de la precisión en la reconstrucción de superficies [8] y aplicación de redes neuronales en la corrección de los errores detectados en la captura de puntos [9]. En este trabajo se obtendrán conclusiones dirigidas a realizar recomendaciones de operación con este sensor para una mejor calidad de la nube de puntos capturada, así como resultados de la influencia de la configuración de sus parámetros sobre la precisión final. Las características nominales de este sensor son:

- Velocidad de escaneado: 60 scans/seg (30.000 ptos/seg)
- Distancia de separación: 100 mm
- Profundidad de visión: 40mm
- Campo de visión: 40 mm
- Precisión: +/- 0.010mm

Los parámetros analizados son: calibración del sensor, distancia de digitalización, ángulo de ataque, velocidad de pasada y tiempo de exposición. Para realizar los ensayos correspondientes a cada uno de estos parámetros, se ha acoplado el sensor a una MMC Zeiss WMM850, a través de un cabezal Renishaw PH10. Además, se ha usado el software de captura de puntos del fabricante del sensor para la obtención de nubes de puntos y un software de desarrollo propio de cálculo de primitivas geométricas en nubes de puntos para el análisis de la precisión.

#### **Calibración**

El proceso de calibración consiste en la alineación de los ejes de la MMC con los del sensor. El método consiste en escanear una misma esfera desde 3 posiciones diferentes, considerando que la variación de la posición entre cada digitalización ha de ser en un solo eje. Como resultado de este proceso se obtienen los centros de las tres nubes de puntos y el desplazamiento entre cada digitalización. Con estos datos, el software de calibración obtiene los giros necesarios para alinear el sistema de referencia del sensor con el del a MMC. Con objeto de caracterizar el proceso y el posible error sistemático introducido en los puntos capturados debido a la propia calibración, se han realizado seis calibraciones completas consecutivas y se ha analizado la evolución de los giros de calibración (figura 2). A partir de la segunda calibración, los valores de los giros varían entorno a un valor medio con semirrecorrido máximo de 0.01 °. Esta variación introducirá un error sistemático en la captura de puntos. Se han realizado también ensayos de repetibilidad de posicionamiento del sensor en el cabezal de la MMC, obteniendo resultados dentro de los límites anteriores. Como conclusiones de este primer grupo de ensayos, se puede

indicar que se debe distanciar lo más posible las posiciones de digitalización, con lo que se reducen los errores en los desplazamientos. En el caso de una esfera de calibración de 30mm, los desplazamientos que se toman son de 10mm en el eje Z y de 20mm en el eje Y. Deben evitarse variaciones en los ejes que deben permanecer fijos durante la captura de puntos. En el caso de programar los movimientos, se debe esperar hasta que se establezcan las posiciones. Es conveniente realizar 3 calibraciones consecutivas y en el caso de que en la tercera repetición se obtengan correcciones menores a 0.02 en todos los ejes, introducir manualmente los giros promedio de las 2 últimas calibraciones. De esta forma, se reduce al máximo el error debido a la calibración.

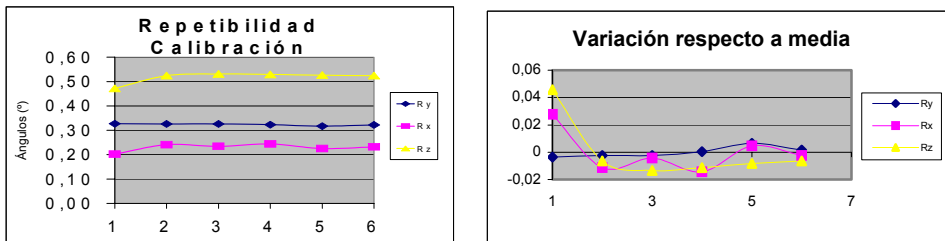


Figura 2: Repetibilidad de la calibración en MMC.

## Distancia de digitalización

Se han realizado ensayos a diferentes distancias de la superficie, con objeto de comprobar el campo de medida del sensor y la influencia de la distancia sobre los puntos obtenidos. Para ello, se ha tomado como referencia un plano X-Y que ha sido medido en la MMC con un palpador de contacto. De este modo, los ensayos consisten en digitalizar el mismo plano con el sensor a diferentes distancias, procesar, mediante el software de cálculo de primitivas geométricas en nubes de puntos, los datos obtenidos y obtener los parámetros del plano a partir de los puntos digitalizados. De este modo se puede analizar la precisión en distintas condiciones de distancia a la superficie (figura 3). Experimentalmente se ha comprobado que el rango máximo de distancias de medida es de  $\pm 15$  mm, a partir de esta distancia no se capta ningún punto y cerca de estos límites, muy pocos. Como parámetros de evaluación de la precisión obtenida en el resultado final, se han elegido la distancia en la coordenada Z entre el centroide de la nube de puntos y el plano de referencia, y el ángulo formado por las normales a ambos planos. Además, como muestra de la repetibilidad de los resultados, en la figura 3 se muestra la dispersión de los valores de  $\Delta Z$  y de  $\alpha$  respecto a la media en cada una de las distancias ensayadas. Por último, se muestra la desviación estándar de las distancias de cada uno de los puntos capturados al plano obtenido por mínimos cuadrados a partir de las nubes digitalizadas a distintas distancias de la superficie. La menor desviación estándar se obtiene en la distancia de medida nominal, de donde se deduce que la mejor calidad de la nube se obtiene, como era de esperar, a esta distancia. Tal y como se observa en las gráficas de repetibilidad de las medidas, los parámetros tienen un semirrecorrido máximo de 0.005mm en  $\Delta Z$  y de 15 seg en  $\alpha$ . Además, se observan errores sistemáticos en ambos parámetros. Una vez eliminado este error sistemático, se observan variaciones constantes totales en todos los ensayos de aproximadamente 200 seg. en la normal y de 0.06 mm en  $\Delta Z$ . Los valores de la desviación en ambos parámetros aumentan conforme el sensor se aleja de la superficie

del plano, lo que lleva a pensar en un error de alineación de los ejes del sensor con respecto a los de la máquina por calibración. Aunque las menores desviaciones se producen para las menores distancias a la superficie, cuanto más se aleja el sensor de la distancia de digitalizado nominal, más aumenta la desviación estándar de los puntos de la nube, por lo que la captura de puntos en esa zona no es la mejor. Con esto, la principal fuente de error observada es la calibración sensor-MMC, que introduce errores sistemáticos en los resultados debidos a la incorrecta alineación de ambos sistemas de referencia. Otras posibles fuentes de error provienen de la lente de la cámara en la que, al variar la distancia de trabajo, la línea láser no aparece en la zona central de la imagen, introduciendo así errores por distorsión de la lente, y el propio modelo matemático del sistema que, por desajustes en el sensor, puede introducir error sistemático.

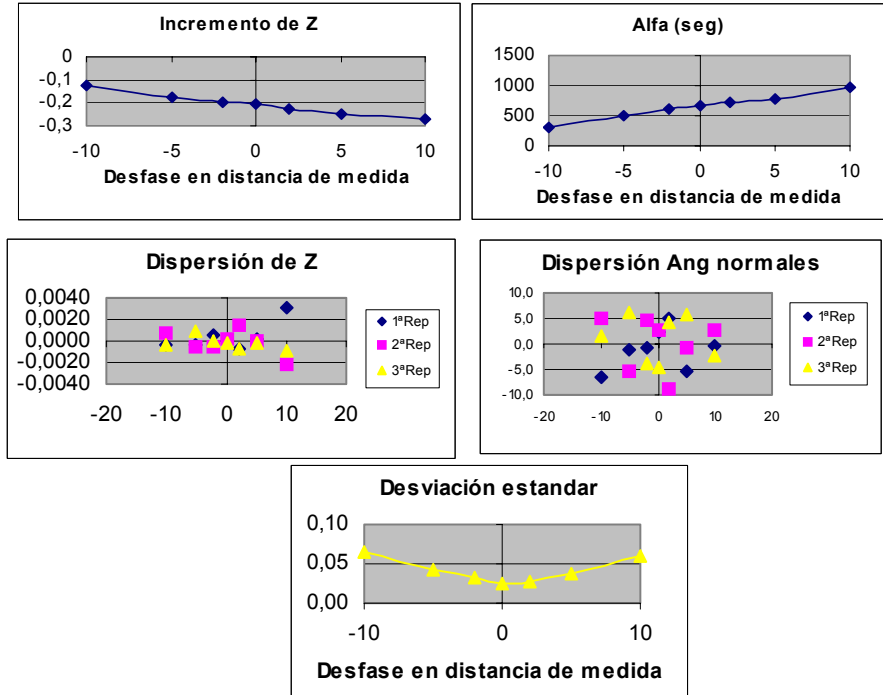


Figura 3: Resultados de los ensayos de distancia de digitalización.

Ángulo de ataque, velocidad de digitalización y tiempo de exposición

En este caso, en primer lugar se ha variado el ángulo de ataque del sensor respecto de la superficie a escanear, de nuevo un plano, con ayuda del cabezal motorizado entre 22,5° y -22,5° (tabla 1). El parámetro más afectado por la variación del ángulo de ataque es el número de puntos capturados, debido a que mejora el reflejo del láser sobre la superficie. A la vista de los resultados de la desviación típica, para la digitalización de superficies planas y sin bordes se toma como valor óptimo 0°. En segundo lugar, con respecto a la captura de puntos, se aprecia que depende de tres parámetros: velocidad de pasada, espaciado entre captura de imágenes y tiempo de exposición de la cámara. La digitalización se configura para capturar puntos cada cierto valor de desplazamiento de la MMC, por lo que la frecuencia de refresco de la cámara y la velocidad de la MMC están íntimamente relacionadas.

Tabla 1: Ángulo de ataque

Ang ataque	Num ptos	$\Delta Z$	Desv típica
-22,5	68	0,099	0,042
-15	200	0,120	0,041
-7,5	10137	-0,017	0,029
0	22718	0,009	0,025
7,5	41461	-0,138	0,033
15	41454	-0,039	0,027
22,5	5343	0,047	0,025

Los ensayos realizados sobre este sensor indican que el periodo entre exposiciones del CCD es de 0.1 segundos, es decir, posee una frecuencia de captura máxima de 10 imágenes por segundo. Con esto, es importante tener en cuenta a la hora de evaluar la capacidad de digitalización que, ante una distancia entre las líneas de puntos fijada para captura automática, se debe configurar la velocidad de la MMC de forma que no se produzcan saltos entre líneas. Por ejemplo, si se desea capturar imagen cada  $100\mu\text{m}$  de desplazamiento de la MMC, dado que la frecuencia de refresco de la cámara son 10 imágenes por segundo, la velocidad de digitalización máxima sin saltos de línea en la nube final será de 1mm/s. Por último, otro de los parámetros configurables del sensor es el tiempo de exposición del CCD. Se han realizado ensayos de captura de puntos variando el tiempo de exposición. Los resultados se muestran en la figura 4.

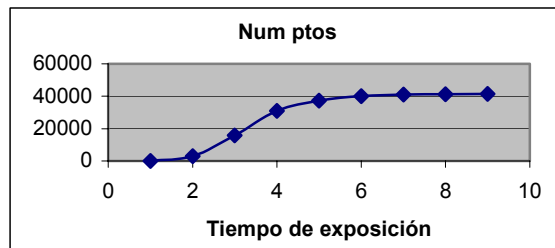


Figura 4: Ensayo de tiempo de exposición

Conforme aumenta el tiempo de exposición, aumenta el número de puntos capturados. Como valor óptimo de este parámetro se propone la posición 6, correspondiente a 2430  $\mu\text{seg}$ , dado que se obtiene la menor desviación típica. El valor óptimo de exposición es muy variable dependiendo de la rugosidad del material a digitalizar. En materiales con muy poca rugosidad, será necesario un valor de exposición elevado, debido a que la superficie actuará como un espejo impidiendo una correcta captura del reflejo en la cámara. Por otro lado, en situaciones en las que haya superficies reflectantes cerca de la superficie a medir, si se toma un periodo de exposición elevado, aparecerán reflejos no deseados. Debe también tenerse en cuenta este parámetro en operaciones de digitalizado a altas velocidades donde, un aumento del tiempo de exposición provocará imágenes en las que se apreciará un efecto de desplazamiento de la línea del láser, empeorando la captura de puntos.

# Primitivas geométricas

Se ha desarrollado un software de cálculo de primitivas geométricas que apoya el estudio de los mecanismos de error del sensor, basándose en la precisión obtenida a partir de la digitalización de distintas primitivas y su comparación con los valores obtenidos con la MMC. Las primitivas geométricas estudiadas se clasifican en primitivas puras (plano, esfera, cilindro y cono) y en primitivas con bordes (recta, círculo, arco y elipse). A partir de las nubes de puntos obtenidas en distintas condiciones (figura 5), se han calculado sus parámetros aplicando diversas técnicas iterativas de filtrado de puntos basadas en la desviación típica o el semirrecorrido de los puntos, y se han analizado las desviaciones. Son múltiples los factores, inherentes a los algoritmos, que influyen en la precisión final del cálculo, por lo que, a modo de ejemplo se mostrarán los resultados obtenidos para una esfera, desde el punto de vista de los parámetros propios del sensor.

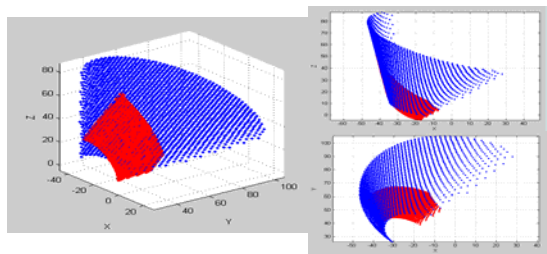


Figura 5: Nube de puntos correspondiente a la digitalización de un cono. Los datos reales son contrastados con datos generados de forma sintética.

Se ha escaneado una esfera en 9 posiciones diferentes del sensor dentro del campo de medida. En cada posición se han realizado 3 repeticiones, de modo que se obtenga tanto la precisión como la incertidumbre o semirrecorrido de los valores. Las posiciones se han distribuido uniformemente a lo largo del campo de medida de forma que se observe la tendencia de los resultados obtenidos. En la tabla 2 se recogen los resultados obtenidos en la desviación del radio respecto al nominal y en las distancias absoluta y proyectada sobre el plano X-Y y sobre el eje Z.

Tabla 2: Resultados de la digitalización de una esfera

Medias	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R-r	0.0635	-0.0129	0.0746	0.0501	-0.0181	0.0670	0.0444	-0.0261	0.0556
dxyz	0.1457	0.0443	0.1292	0.0963	0.0076	0.0626	0.0540	0.0438	0.0188
dxy	0.0143	0.0203	0.0491	0.0106	0.0064	0.0296	0.0076	0.0035	0.0152
dz	-0.1450	-0.0393	-0.1195	-0.0957	0.0004	-0.0552	-0.0534	0.0436	0.0110

Las posiciones corresponden a la imagen obtenida de acuerdo al siguiente orden:

Dcha	Centro	Izq	Distancia de medida
1	2	3	Menor a la nominal
4	5	6	Nominal
7	8	9	Mayor a la nominal

Debido a que los errores en radio y distancia entre centros tienen el mismo orden de magnitud, se han sumado para analizar cual es la posición en la que menores

errores se obtienen. En el siguiente cuadro se han numerado las posiciones según la precisión obtenida desde más precisión (1) a menos (9).

9	2	8
7	1	6
5	3	4

Tal y como se esperaba, la mejor posición de digitalización es en la cual la imagen que se obtiene está lo más centrada posible. En el peor de los casos, se ha obtenido un semirrecorrido en el radio de 0.006 mm y en la distancia entre orígenes de 0.008mm.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado una visión general del estado del arte en lo que a sensores láser por triangulación se refiere, desde el punto de vista de la ingeniería inversa y de la inspección de partes de piezas. Se ha llevado a cabo un análisis de las principales causas de error debidas al propio sensor, a los errores de posicionamiento de la MMC utilizada en los ensayos y a los algoritmos de cálculo de primitivas geométricas ofreciendo resultados y estrategias de digitalización para su minimización. El trabajo realizado presenta métodos de caracterización de estos mecanismos de error y de su corrección, determinando la incertidumbre de medida obtenida debida al ruido de los puntos digitalizados y mejorando en lo posible la precisión de la nube de puntos obtenida.

## 6. Referencias

[1] XI, F.; SHU, C. *CAD-based path planning for 3-D line laser scanning*. Computer-Aided Desing 31, pp. 473-479. 1999.

[2] HÜSER, Odrote; ROTHE, Hendrik. *Robust Averaging of signals for triangulation sensors*. Meas. Sci. Technol 9, pp. 1017-1023. 1998.

[3] AGUILAR, J.J.; YAGÜE, J.A.; ALBAJEZ J.A.; SANTOLARIA, J. *Application of Lateral Effect Position Sensitive Detectors (PSD) to Angles Measuring in a Self-Centering Probe*. 3<sup>rd</sup> International Conference, European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (euspen). Eindhoven, 2002

[4] CHE, Chenggang; NI, Jun. *A ball-target-based extrinsic calibration technique for high-accuracy 3-D metrology using off-the-shelf laser-stripe sensors*. Precision Engineering 24, pp. 210-219. 2000.

[5] AGUILAR, J.J.; TORRES, F., et Al. *Calibración de Cámaras CCD para su uso en Estereometría*. V Congreso Internacional de Metrología Industrial. Zaragoza, 1991.

[6] WANG, Guoyu; ZHENG, Bing; LI, Xin; HOUKES, Z.; REGTIEN, P.P.L. *Modelling and calibration of the laser beam-scanning triangulation measurement system*. Robotics and Autonomous Systems 40, pp. 267-277. 2002.

[7] WANG, L.S.; LEE, D.L.; NIE, M.Y., ZHENG Z.W. *A study of the precision factors of large-scale object surface profile laser scanning measurement*. Journal of Materials Processing Technology 129, pp.584-587. 2002.

[8] BRADLEY, C.; CHAN, V. *A Complementary Sensor Approach to Reverse Engineering*. Journal of Manufacturing Science and Engineering 123, N. 1, pp.74-82. 2001.

[9] ZHANG, Guangjun; WEI, Zhenzhong; LI, Xin. *3D Double-Vision Inspection Based on Structured Light*. Journal of Manufacturing Science and Engineering 125, N. 3, pp.617-623. 2003.



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ASIENTO DE AVIÓN COMERCIAL

SUÁREZ RIVERO, José P.<sup>(1)</sup>; HERNÁNDEZ RÍOS, Víctor

(1) Universidad de LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, España  
Departamento de Cartografía y Expresión Gráfica en la Ingeniería  
e-mail: jsuarez@dcegi.ulpgc.es

### RESUMEN

El trabajo presenta los aspectos esenciales del diseño de un asiento para avión comercial y éste pretende ser una propuesta de desarrollo para la implantación real de tales asientos en el mercado aeronáutico. Entre estos aspectos se destaca las etapas de modelado geométrico y de simulación numérica. En cuanto al modelado geométrico se propone un diseño que se ajusta a las necesidades ergonómicas en los espacios cada vez mas aprovechados de los aviones, sin perder como criterio general la confortabilidad y la flexibilidad de las formas. En cuanto a las etapas de simulación numérica, se presenta un estudio analítico y numérico sencillo por Elementos Finitos que permite simular el asiento en condiciones de funcionamiento y considerando materiales de fabricación apropiados.

**Palabras clave:** diseño asientos, simulación numérica, elementos finitos.

### ABSTRACT

This work presents essential recipes for the design of a commercial airplane seat. Our results can be then put into the development line of the aeronautic market. Within the recipes, we remark geometric modeling and numeric simulation stages. Respecting geometric modeling, we propose a design satisfying ergonomic requirements for their reduced spaces in modern airplanes. Respecting numerical simulation, we provide a simple analytic and numeric study using Finite Element Method that makes it possible to perform a simulation of the functionality and considering properly materials for manufacturing.

**Key words:** seat design, numeric simulation, finite elements.

## 1. Introducción

El campo de diseño de aviones es un tema poco difundido entre la comunidad científica actual, debido en gran medida al hermetismo que las compañías privadas llevan a cabo, [4] Pocas referencias de acceso público pueden encontrarse en este sentido. Los fabricantes de aviones y las compañías aéreas demandan diseños específicos que son encargados a determinadas empresas que guardan muy celosamente detalles desde el proceso de diseño hasta el proceso de fabricación. En particular, si se trata de obtener información sobre estudios numéricos que aporten información sobre detalles de mecánica estructural de dichos asientos, el hermetismo aumenta.

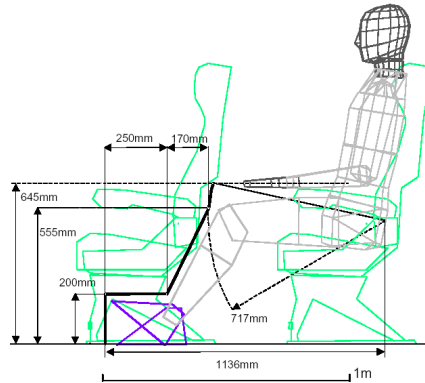
Este trabajo surge desde el estudio realizado en [2] el cual propone un diseño de un asiento de pasajeros para la clase turista de vuelos de larga distancia (más de 4 horas), teniendo en cuenta las normas y reglamentos vigentes. Dicho diseño intentará aumentar el confort mejorando entre otros aspectos las características físicas y los aspectos psicológicos. En cuanto a características físicas se considera Dimensiones de asientos, Distancia entre ellos, Formas, materiales, etc. Asimismo es necesario la consideración de aspectos psicológicos del diseño, como por ejemplo colores, entorno del pasajero, distancias. Asimismo, se complementa el trabajo con un estudio analítico y numérico sencillo por Elementos Finitos que permite simular el asiento en condiciones de funcionamiento y considerando materiales de fabricación apropiados.

## 2. Antecedentes en el diseño de asientos para avión. Aspectos ergonómicos

Existe una reglamentación mínima sobre la distancia que deben tener las butacas. La distancia mínima reglamentada por la CAA británica -Autoridad de Aviación Civil- es de 66 cm. Esta distancia es determinada por el espacio que existe entre el respaldo del asiento de apoyo de un pasajero y el respaldo que tiene delante. Esta distancia es absurda y va en contra de la prevención de riesgo. Por ejemplo, dicha medida le impide flexionar las rodillas a un pasajero de talla media, Figura 2. Esto, sin tener en cuenta si el pasajero de delante decide inclinar el asiento hasta un máximo de 25°. La movilidad y la posibilidad de realizar algún ejercicio sería nula y los riesgos de problemas circulatorios, muy grandes. Pero no existe ninguna compañía aérea que tenga estas medidas, y si alguna la tuviese, convendría cambiar el billete, siempre y cuando sea un viaje de larga duración (más de cuatro horas). Las siguientes imágenes muestran el espacio insuficiente entre asientos, lo cual provoca problemas y lesiones a los pasajeros:



*Figura 1: Problemática existente de falta de espacio*



*Figura 2: La línea gruesa indica el límite de espacio recomendado para que el pasajero pueda mover las piernas.*

### 3. Solución adoptada

La solución adoptada para el diseño propuesto consiste en un asiento el cual pasa de la posición sedente normal a una posición recostada. Dicho asiento permite que el pasajero pueda acostarse a partir de un conjunto de movimientos. El mecanismo que hace posible que el asiento se pueda desplegar, también permitirá al ocupante que adopte cualquier posición intermedia entre la sedente y la recostada, pudiéndolo inmovilizar en el punto que desee. Destacar también que el movimiento de una de las piezas que actúan sobre dicho movimiento provocará que se muevan el resto de las mismas, es decir, es una cadena de movimientos (cuando se mueve una se mueven todas).

El asiento posee unas partes fijas (las cuales permanecen inmóviles en todo momento y sirven como estructura de apoyo), estas partes son las patas, el arco del respaldo que sirve como estructura de apoyo a la carcasa trasera y la corredera que está unida al arco del respaldo por la cual se deslizará el respaldo. El resto de los elementos son los elementos móviles.

En cuanto a materiales de fabricación se resumen en la Tabla 1 los principales componentes.

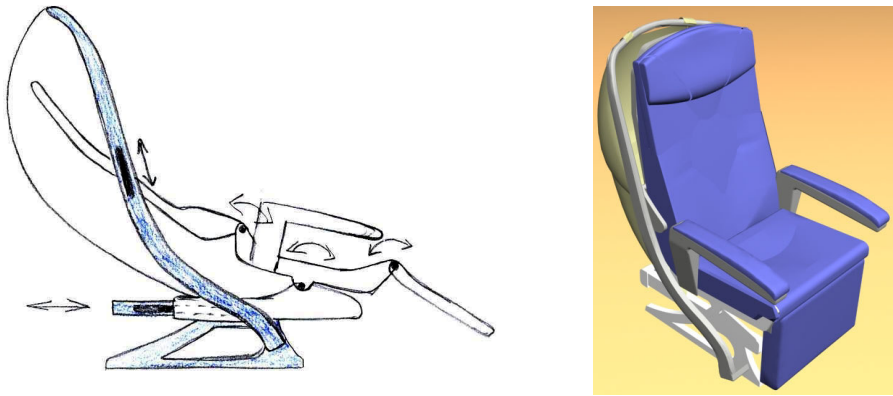
Estructura	Aluminio 2024-O, Aluminio 2024-O, ISO AlCu4Mg1, Din AlCuMg2
Cojines	Confor Foam (CF-45)
Carcasas	Policarbonato (PC)

*Tabla 1:Lista de materiales de fabricación propuestos*

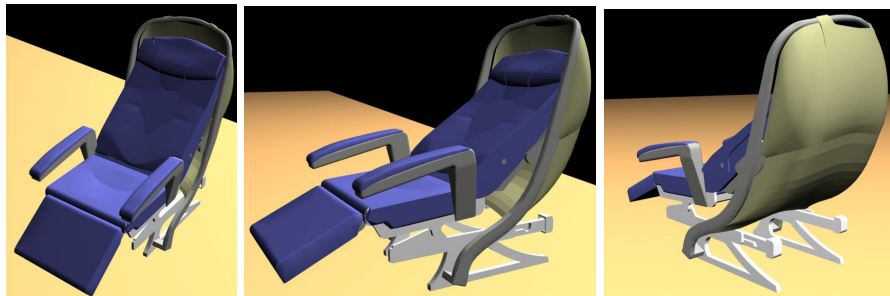
### 3.1 El modelado de las formas

La búsqueda del modelo para las formas del asiento y elementos como carcassas cojines, etc, ha sido considerada también en base a las medidas antropométricas del cuerpo humano, [1,3]. Por otro lado, se opta por formas redondeadas para el conjunto de los elementos, entre ellos la carcass trassera ya que dicha carcass podría estar en contacto con los pasajeros y se tiene que evitar en todo momento que pudiera herir a los mismos en caso de accidente, ver Figura 3.

Otro aspecto a destacar del diseño es la forma envolvente del mismo haciendo que el pasajero posea su propio espacio cuando está en dicho asiento. Una vez el pasajero ha abatido su asiento, la mitad superior de su cuerpo queda metida en la carcass, aportando intimidad frente al resto de los asientos y propiciando el que un asiento sea una máquina que satisfaga las necesidades de los pasajeros, Figuras 3 y 5.



*Figura 3: Formas gráficas del diseño propuesto*

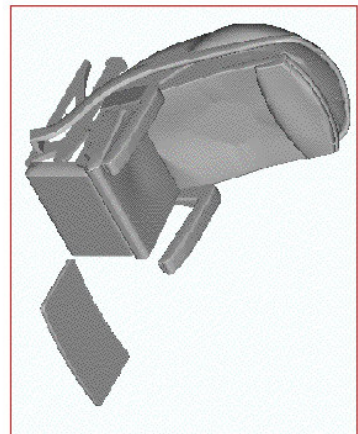
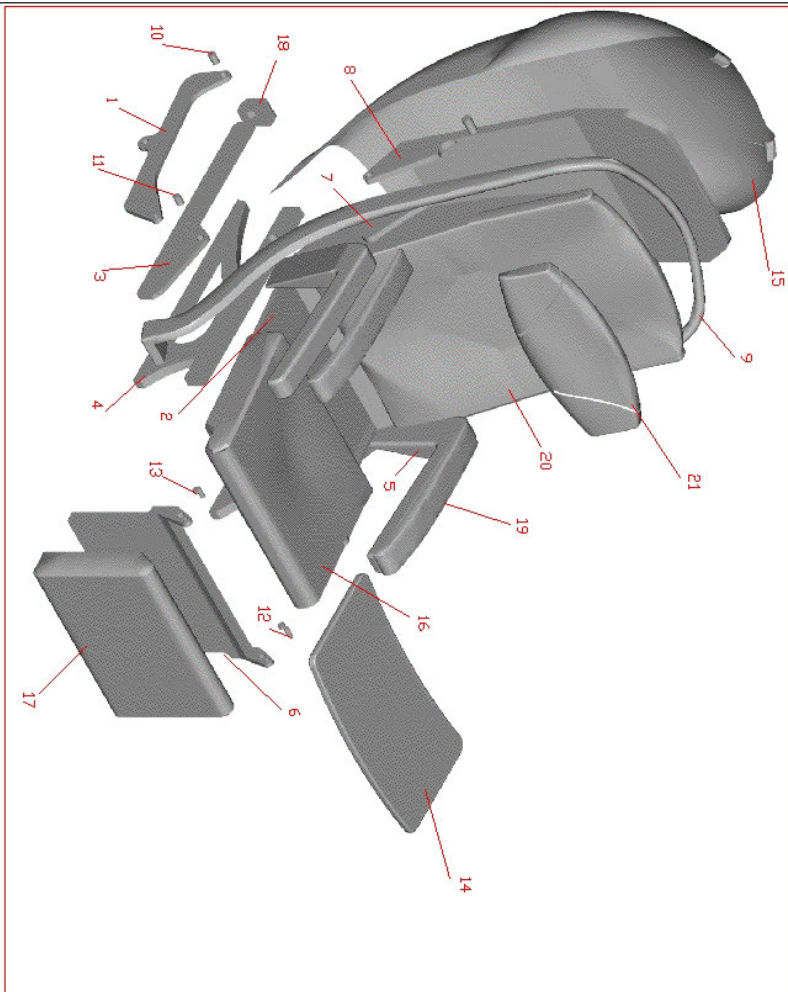


*Figura 4: Distintas posiciones capaces del asiento*

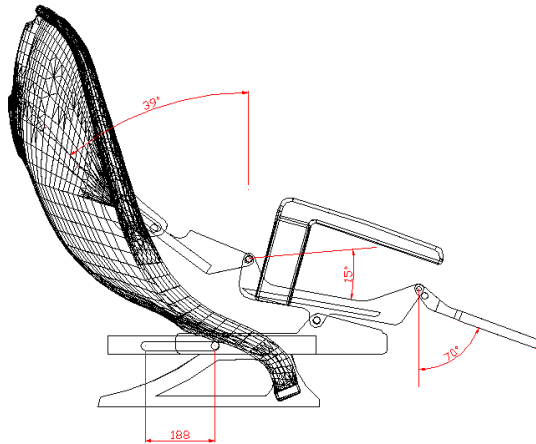
La Figura 5 muestra el plano de despiece del asiento.

La Figura 6 representa los ángulos y la distancia que el asiento se ha tenido que desplazar hasta conseguir la posición final.

*Figura 5: Plano de conjunto del diseño propuesto.*



1	COLON CHERAZA	21	CONCRE FLAM
2	COLON REPALALO	24	CONCRE FLAM
3	COLON REYESA BRAZOS	25	CONCRE FLAM
4	PROTECTOR	26	PULVERIZADOR (PC)
5	COLON REYESA PIES	37	CONCRE FLAM
6	COLON BASE	36	CONCRE FLAM
7	CONCRE	39	PULVERIZADOR (PC)
8	CONCRE	43	PULVERIZADOR (PC)
9	CONCRE	44	ALUMINO 2024
10	CONCRE	45	ALUMINO 2024
11	CONCRE	46	ALUMINO 2024
12	CONCRE	47	ALUMINO 2024
13	CONCRE	48	ALUMINO 2024
14	CONCRE	49	ALUMINO 2024
15	CONCRE	50	ALUMINO 2024
16	CONCRE	51	ALUMINO 2024
17	CONCRE	52	ALUMINO 2024
18	CONCRE	53	ALUMINO 2024
19	CONCRE	54	ALUMINO 2024
20	CONCRE	55	ALUMINO 2024
21	CONCRE	56	ALUMINO 2024
22	CONCRE	57	ALUMINO 2024
23	CONCRE	58	ALUMINO 2024
24	CONCRE	59	ALUMINO 2024
25	CONCRE	60	ALUMINO 2024
26	CONCRE	61	ALUMINO 2024
27	CONCRE	62	ALUMINO 2024
28	CONCRE	63	ALUMINO 2024
29	CONCRE	64	ALUMINO 2024
30	CONCRE	65	ALUMINO 2024
31	CONCRE	66	ALUMINO 2024
32	CONCRE	67	ALUMINO 2024
33	CONCRE	68	ALUMINO 2024
34	CONCRE	69	ALUMINO 2024
35	CONCRE	70	ALUMINO 2024
36	CONCRE	71	ALUMINO 2024
37	CONCRE	72	ALUMINO 2024
38	CONCRE	73	ALUMINO 2024
39	CONCRE	74	ALUMINO 2024
40	CONCRE	75	ALUMINO 2024
41	CONCRE	76	ALUMINO 2024
42	CONCRE	77	ALUMINO 2024
43	CONCRE	78	ALUMINO 2024
44	CONCRE	79	ALUMINO 2024
45	CONCRE	80	ALUMINO 2024
46	CONCRE	81	ALUMINO 2024
47	CONCRE	82	ALUMINO 2024
48	CONCRE	83	ALUMINO 2024
49	CONCRE	84	ALUMINO 2024
50	CONCRE	85	ALUMINO 2024
51	CONCRE	86	ALUMINO 2024
52	CONCRE	87	ALUMINO 2024
53	CONCRE	88	ALUMINO 2024
54	CONCRE	89	ALUMINO 2024
55	CONCRE	90	ALUMINO 2024
56	CONCRE	91	ALUMINO 2024
57	CONCRE	92	ALUMINO 2024
58	CONCRE	93	ALUMINO 2024
59	CONCRE	94	ALUMINO 2024
60	CONCRE	95	ALUMINO 2024
61	CONCRE	96	ALUMINO 2024
62	CONCRE	97	ALUMINO 2024
63	CONCRE	98	ALUMINO 2024
64	CONCRE	99	ALUMINO 2024
65	CONCRE	100	ALUMINO 2024
66	CONCRE	101	ALUMINO 2024
67	CONCRE	102	ALUMINO 2024
68	CONCRE	103	ALUMINO 2024
69	CONCRE	104	ALUMINO 2024
70	CONCRE	105	ALUMINO 2024
71	CONCRE	106	ALUMINO 2024
72	CONCRE	107	ALUMINO 2024
73	CONCRE	108	ALUMINO 2024
74	CONCRE	109	ALUMINO 2024
75	CONCRE	110	ALUMINO 2024
76	CONCRE	111	ALUMINO 2024
77	CONCRE	112	ALUMINO 2024
78	CONCRE	113	ALUMINO 2024
79	CONCRE	114	ALUMINO 2024
80	CONCRE	115	ALUMINO 2024
81	CONCRE	116	ALUMINO 2024
82	CONCRE	117	ALUMINO 2024
83	CONCRE	118	ALUMINO 2024
84	CONCRE	119	ALUMINO 2024
85	CONCRE	120	ALUMINO 2024
86	CONCRE	121	ALUMINO 2024
87	CONCRE	122	ALUMINO 2024
88	CONCRE	123	ALUMINO 2024
89	CONCRE	124	ALUMINO 2024
90	CONCRE	125	ALUMINO 2024
91	CONCRE	126	ALUMINO 2024
92	CONCRE	127	ALUMINO 2024
93	CONCRE	128	ALUMINO 2024
94	CONCRE	129	ALUMINO 2024
95	CONCRE	130	ALUMINO 2024
96	CONCRE	131	ALUMINO 2024
97	CONCRE	132	ALUMINO 2024
98	CONCRE	133	ALUMINO 2024
99	CONCRE	134	ALUMINO 2024
100	CONCRE	135	ALUMINO 2024
101	CONCRE	136	ALUMINO 2024
102	CONCRE	137	ALUMINO 2024
103	CONCRE	138	ALUMINO 2024
104	CONCRE	139	ALUMINO 2024
105	CONCRE	140	ALUMINO 2024
106	CONCRE	141	ALUMINO 2024
107	CONCRE	142	ALUMINO 2024
108	CONCRE	143	ALUMINO 2024
109	CONCRE	144	ALUMINO 2024
110	CONCRE	145	ALUMINO 2024
111	CONCRE	146	ALUMINO 2024
112	CONCRE	147	ALUMINO 2024
113	CONCRE	148	ALUMINO 2024
114	CONCRE	149	ALUMINO 2024
115	CONCRE	150	ALUMINO 2024
116	CONCRE	151	ALUMINO 2024
117	CONCRE	152	ALUMINO 2024
118	CONCRE	153	ALUMINO 2024
119	CONCRE	154	ALUMINO 2024
120	CONCRE	155	ALUMINO 2024
121	CONCRE	156	ALUMINO 2024
122	CONCRE	157	ALUMINO 2024
123	CONCRE	158	ALUMINO 2024
124	CONCRE	159	ALUMINO 2024
125	CONCRE	160	ALUMINO 2024
126	CONCRE	161	ALUMINO 2024
127	CONCRE	162	ALUMINO 2024
128	CONCRE	163	ALUMINO 2024
129	CONCRE	164	ALUMINO 2024
130	CONCRE	165	ALUMINO 2024
131	CONCRE	166	ALUMINO 2024
132	CONCRE	167	ALUMINO 2024
133	CONCRE	168	ALUMINO 2024
134	CONCRE	169	ALUMINO 2024
135	CONCRE	170	ALUMINO 2024
136	CONCRE	171	ALUMINO 2024
137	CONCRE	172	ALUMINO 2024
138	CONCRE	173	ALUMINO 2024
139	CONCRE	174	ALUMINO 2024
140	CONCRE	175	ALUMINO 2024
141	CONCRE	176	ALUMINO 2024
142	CONCRE	177	ALUMINO 2024
143	CONCRE	178	ALUMINO 2024
144	CONCRE	179	ALUMINO 2024
145	CONCRE	180	ALUMINO 2024
146	CONCRE	181	ALUMINO 2024
147	CONCRE	182	ALUMINO 2024
148	CONCRE	183	ALUMINO 2024
149	CONCRE	184	ALUMINO 2024
150	CONCRE	185	ALUMINO 2024
151	CONCRE	186	ALUMINO 2024
152	CONCRE	187	ALUMINO 2024
153	CONCRE	188	ALUMINO 2024
154	CONCRE	189	ALUMINO 2024
155	CONCRE	190	ALUMINO 2024
156	CONCRE	191	ALUMINO 2024
157	CONCRE	192	ALUMINO 2024
158	CONCRE	193	ALUMINO 2024
159	CONCRE	194	ALUMINO 2024
160	CONCRE	195	ALUMINO 2024
161	CONCRE	196	ALUMINO 2024
162	CONCRE	197	ALUMINO 2024
163	CONCRE	198	ALUMINO 2024
164	CONCRE	199	ALUMINO 2024
165	CONCRE	200	ALUMINO 2024
166	CONCRE	201	ALUMINO 2024
167	CONCRE	202	ALUMINO 2024
168	CONCRE	203	ALUMINO 2024
169	CONCRE	204	ALUMINO 2024
170	CONCRE	205	ALUMINO 2024
171	CONCRE	206	ALUMINO 2024
172	CONCRE	207	ALUMINO 2024
173	CONCRE	208	ALUMINO 2024
174	CONCRE	209	ALUMINO 2024
175	CONCRE	210	ALUMINO 2024
176	CONCRE	211	ALUMINO 2024
177	CONCRE	212	ALUMINO 2024
178	CONCRE	213	ALUMINO 2024
179	CONCRE	214	ALUMINO 2024
180	CONCRE	215	ALUMINO 2024
181	CONCRE	216	ALUMINO 2024
182	CONCRE	217	ALUMINO 2024
183	CONCRE	218	ALUMINO 2024
184	CONCRE	219	ALUMINO 2024
185	CONCRE	220	ALUMINO 2024
186	CONCRE	221	ALUMINO 2024
187	CONCRE	222	ALUMINO 2024
188	CONCRE	223	ALUMINO 2024
189	CONCRE	224	ALUMINO 2024
190	CONCRE	225	ALUMINO 2024
191	CONCRE	226	ALUMINO 2024
192	CONCRE	227	ALUMINO 2024
193	CONCRE	228	ALUMINO 2024
194	CONCRE	229	ALUMINO 2024
195	CONCRE	230	ALUMINO 2024
196	CONCRE	231	ALUMINO 2024
197	CONCRE	232	ALUMINO 2024
198	CONCRE	233	ALUMINO 2024
199	CONCRE	234	ALUMINO 2024
200	CONCRE	235	ALUMINO 2024
201	CONCRE	236	ALUMINO 2024
202	CONCRE	237	ALUMINO 2024
203	CONCRE	238	ALUMINO 2024
204	CONCRE	239	ALUMINO 2024
205	CONCRE	240	ALUMINO 2024
206	CONCRE	241	ALUMINO 2024
207	CONCRE	242	ALUMINO 2024
208	CONCRE	243	ALUMINO 2024
209	CONCRE	244	ALUMINO 2024
210	CONCRE	245	ALUMINO 2024
211	CONCRE	246	ALUMINO 2024
212	CONCRE	247	ALUMINO 2024
213	CONCRE	248	ALUMINO 2024
214	CONCRE	249	ALUMINO 2024
215	CONCRE	250	ALUMINO 2024
216	CONCRE	251	ALUMINO 2024
217	CONCRE	252	ALUMINO 2024
218	CONCRE	253	ALUMINO 2024
219	CONCRE	254	ALUMINO 2024
220	CONCRE	255	ALUMINO 2024
221	CONCRE	256	ALUMINO 2024
222	CONCRE	257	ALUMINO 2024
223	CONCRE	258	ALUMINO 2024
224	CONCRE	259	ALUMINO 2024
225	CONCRE	260	ALUMINO 2024
226	CONCRE	261	ALUMINO 2024
227	CONCRE	262	ALUMINO 2024
228	CONCRE	263	ALUMINO 2024
229	CONCRE	264	ALUMINO 2024
230	CONCRE	265	ALUMINO 2024
231	CONCRE	266	ALUMINO 2024
232	CONCRE	267	ALUMINO 2024
233	CONCRE	268	ALUMINO 2024
234	CONCRE	269	ALUMINO 2024
235	CONCRE	270	ALUMINO 2024
236	CONCRE	271	ALUMINO 2024
237	CONCRE	272	ALUMINO 2024
238	CONCRE	273	ALUMINO 2024
239	CONCRE	274	ALUMINO 2024
240	CONCRE	275	ALUMINO 2024
241	CONCRE	276	ALUMINO 2024
242	CONCRE	277	ALUMINO 2024
243	CONCRE	278	ALUMINO 2024
244	CONCRE	279	ALUMINO 2024
245	CONCRE	280	ALUMINO 2024
246	CONCRE	281	ALUMINO 2024
247	CONCRE	282	ALUMINO 2024
248	CONCRE	283	ALUMINO 2024
249	CONCRE	284	ALUMINO 2024
250	CONCRE	285	ALUMINO 2024
251	CONCRE	286	ALUMINO 2024
252	CONCRE	287	ALUMINO 2024
253	CONCRE	288	ALUMINO 2024
254	CONCRE	289	ALUMINO 2024
255	CONCRE	290	ALUMINO 2024
256	CONCRE	291	ALUMINO 2024
257	CONCRE	292	ALUMINO 2024
258	CONCRE	293	ALUMINO 2024
259	CONCRE	294	ALUMINO 2024
260	CONCRE	295	ALUMINO 2024
261	CONCRE	296	ALUMINO 2024
262	CONCRE	297	ALUMINO 2024
263	CONCRE	298	ALUMINO 2024
264	CONCRE	299	ALUMINO 2024
265	CONCRE	300	ALUMINO 2024
266	CONCRE	301	ALUMINO 2024
267	CONCRE	302	ALUMINO 2024
268	CONCRE	303	ALUMINO 2024
269	CONCRE	304	ALUMINO 2024
270	CONCRE	305	ALUMINO 2024
271	CONCRE	306	ALUMINO 2024
272	CONCRE	307	ALUMINO 2024
273	CONCRE	308	ALUMINO 2024
274	CONCRE	309	ALUMINO 2024
275	CONCRE	310	ALUMINO 2024
276	CONCRE	311	ALUMINO 2024
277	CONCRE	312	ALUMINO 2024
278	CONCRE	313	ALUMINO 2024
279	CONCRE	314	ALUMINO 2024
280	CONCRE	315	ALUMINO 2024
281	CONCRE	316	ALUMINO 2024
282	CONCRE	317	ALUMINO 2024
283	CONCRE	318	ALUMINO 2024
284	CONCRE	319	ALUMINO 2024
285	CONCRE	320	ALUMINO 2024
286	CONCRE	321	ALUMINO 2024
287	CONCRE	322	ALUMINO 2024
288	CONCRE	323	ALUMINO 2024
289	CONCRE	324	ALUMINO 2024
290	CONCRE	325	ALUMINO 2024
291	CONCRE	326	ALUMINO 2024
292	CONCRE	327	ALUMINO 2024
293	CONCRE	328	ALUMINO 2024
294	CONCRE	329	ALUMINO 2024
295	CONCRE	330	ALUMINO 2024
296	CONCRE	331	ALUMINO 2024
297	CONCRE	332	ALUMINO 2024
298	CONCRE	333	ALUMINO 2024
299	CONCRE	334	ALUMINO 2024
300	CONCRE	335	ALUMINO 2024
301	CONCRE	336	ALUMINO 2024
302	CONCRE	337	ALUMINO 2024
303	CONCRE	338	ALUMINO 2024
304	CONCRE	339	ALUMINO 2024
305	CONCRE	340	ALUMINO 2024
306	CONCRE	341	ALUMINO 2024
307	CONCRE	342	ALUMINO 2024
308	CONCRE	343	ALUMINO 2024
309	CONCRE	344	ALUMINO 2024
310	CONCRE	345	ALUMINO 2024
311	CONCRE	346	ALUMINO 2024
312	CONCRE	347	ALUMINO 2024
313	CONCRE	348	ALUMINO 2024
314	CONCRE	349	ALUMINO 2024



*Figura 6: Tolerancia de ángulos y desplazamientos del asiento.*

#### 4. Análisis numérico del diseño propuesto

Todos los asientos adaptados para ser utilizados durante el aterrizaje y despegue deben ser capaces de resistir las cargas aplicadas estática y dinámicas, [4].

A continuación se hace un estudio estático de cargas aplicada a una simplificación del modelo propuesto. El estudio lo realizaremos con el método de Elementos Finitos (FEM) el cual es un método numérico que permite hacer un análisis y simulación en condiciones reales de un diseño. Pasos del Método: (1) Modelado geométrico (2) Generación de Mallas (3) Formulación del modelo (4) Solución (5) Postproceso y optimización.

Como herramienta de apoyo en cálculos hemos utilizado el software FEMLAB para desarrollar la simulación.

Una clase importante de problemas que aparecen en física e ingeniería se puede encuadrar en el siguiente marco variacional abstracto:

$$''\text{Hallar } u \in V \text{ tal que : } a(u, v) = f(v) \quad \forall v \in V''$$

donde  $V$  es un espacio de Hilbert,  $a : V \times V \Rightarrow \mathbb{R}$  es una forma bilineal continua y elíptica, y  $f : V \Rightarrow \mathbb{R}$  es una forma lineal y continua. La aproximación general de Galerkin consiste en construir subespacios  $V_h$  de  $V$  de dimensión finita y resolver el siguiente problema aproximado:

$$''\text{Hallar } u_h \in V_h \text{ tal que : } a(u_h, v_h) = f(v_h) \quad \forall v_h \in V_h''$$

que equivale a la resolución de un sistema algebraico lineal de ecuaciones.

El modelo utilizado en la simulación del asiento siguen las ecuaciones de Navier las cuales son ampliamente conocidas en Mecánica Estructural para afrontar el balance entre fuerzas según la deformación de componentes:

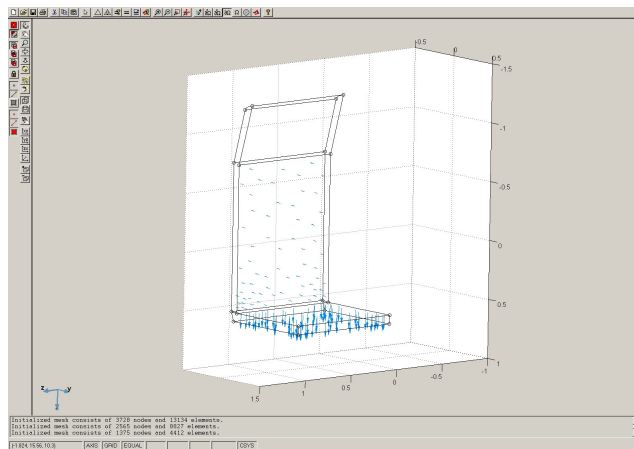
$$-\sum_j \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} G \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) \right] = K_i$$

donde  $X_{i,j}$  representa el espacio de coordenadas, y  $U_{i,j}$  las componentes de deformación. De forma simplificada la ecuación llega a ser:

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} - \nabla \cdot \mathbf{c} \nabla \mathbf{u} = \mathbf{K}$$

El anterior modelo es de utilidad en el estudio de problemas no acoplados o bien de problemas acoplados. Los parámetros de respuesta de dicha simulación permitirán evaluar la resistencia y rotura del asiento así como detectar partes de sobrecalentamiento que puedan afectar a la ergonomía y a problemas estructurales del producto. Será fundamental en el diseño de la simulación, la consideración de materiales apropiados así como el diseño de experimentos para la simulación (puesta en escena del uso, análisis de fatiga etc.).

En particular, se ha realizado la siguiente simulación: se ha supuesto que una persona de media de 80 Kg de peso se encuentra sentada en el asiento, en estado libre de tensión. Las fuerzas aplicadas al dominio del asiento son de 800N en la dirección  $y$ , así como de  $(1/3)800N$ , en la dirección  $x$ . La figura 7 muestra el diagrama de fuerzas en relación con el dominio de aplicación en el asiento.



*Figura 7: Aplicación de cargas correspondientes a una persona de 80 Kg.  $F_y=800N$ ;  
 $F_x \approx 1/3 F_y = 250 N$*

A continuación se procede a la ejecución del modelo de Navier de Mecánica Estructural, para lo cual se ha diferenciado tres dominios de aplicación o estudio de tensiones según la Figura 8, correspondiendo al reposacabezas (zona A), espaldar (zona B) y asiento (zona C). Las gráficas presentadas en la Figura 8 detallan las tensiones producidas en las zonas A, B y C. La lectura de dichas graficas hay que hacerlas atendiendo al recorrido izquierda-derecha del camino sobre el asiento ABC, de forma que el eje de las x en las gráficas detalla la tensión calculada en el camino ABC del asiento. Se hace notar cómo en el punto de unión del camino A y B se maximiza la tensión, por lo que un cuidado especial en la fabricación de esta zona ha de ser tenida en cuenta. Asimismo, la zona del asiento en C posee un pico que coincide con el centro de gravedad del soporte del asiento.

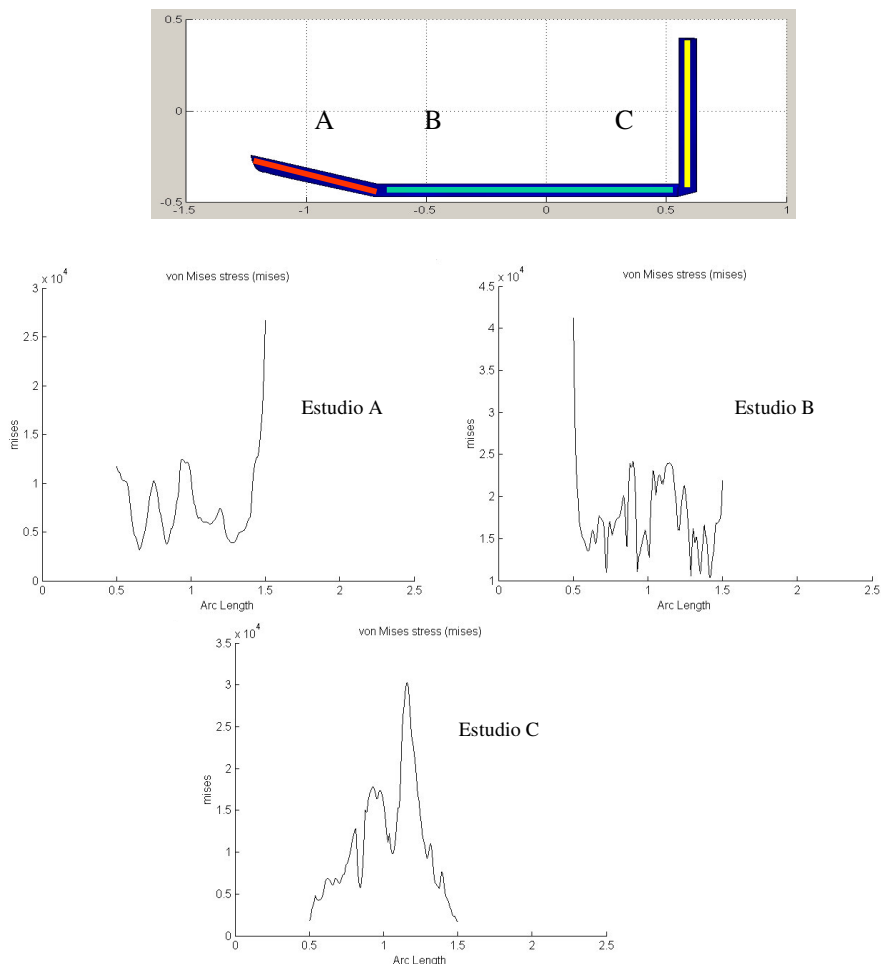


Figura 8: Gráficas de la evolución de las tensiones en las franjas A, B y C del asiento



## 2. Conclusiones

En esta comunicación se ha presentado aspectos básicos del diseño de un asiento para avión comercial, enfatizando el modelado de las formas, el cual le otorga unas cualidades ergonómicas adaptables al usuario. Asimismo, se proporciona un estudio numérico sencillo por Elementos Finitos que permite dar respuesta a detalles de fabricación y uso del asiento en condiciones reales. El estudio, aunque es de características estáticas, despeja dudas de los puntos de tensión máximo que soporta el asiento considerando pasajeros de peso medio. El conjunto de herramientas utilizadas así como la metodología sencilla propuesta permite la aplicación a otras áreas de la ingeniería como la transmisión de calor, fluidos etc.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto PI2003/35 del Gobierno de Canarias.

## Referencias

- [1] FARRER FRANCISCO, Manual de ergonomía – (1995).
- [2] HERNÁNDEZ, Victor. *Diseño de un asiento para avión comercial*. Memoria del Proyecto Fin de Carrera de la titulación I.T. Diseño Industrial, Universidad de Las Palmas de Gran canaria.
- [3] SHEN, W Y VERTIZ, A.M.- *Redefining seat comfort*” SAE Paper 970597, 1997.
- [4] REINOLDS, H.M.- *Automotive seat design for Sitting Comfort*, Automotive ergonomics, 1993.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### TÉCNICAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO

SÁNCHEZ JIMÉNEZ, F. Javier; FERNÁNDEZ DE LA PUENTE, Arturo; LLORENTE  
GENIZ, Julian

Universidad de Sevilla, España  
Escuela Universitaria Politécnica  
jsanchez@us.es

### RESUMEN

El prototipado rápido, podemos definirlo como la manera más rápida de obtener una réplica exacta tridimensional de un diseño generado mediante aplicación CAD en 3D.

Estos modelos físicos pueden ser únicamente estéticos y útiles para el estudio del mercado potencial al que van dirigidos, o pueden cumplir con algunas o buena parte de los requerimientos mecánicos que tendría la pieza definitiva, ofreciendo en este caso la posibilidad de realizar pruebas funcionales y de homologación antes de que existan ni siquiera los moldes preliminares.

En esta comunicación se pretende exponer las técnicas y tecnologías más actuales para la realización de dichos prototipos.

**Palabras clave:** Prototipo, diseño asistido por ordenador.

### ABSTRACT

In that paper we offer a description of the new techniques and technologies to make rapid prototyping.

**Key words:** Prototyping, Computer aided design.

## 1. Introducción

Desde el principio existió la voluntad de reproducir, de crear a imagen y semejanza la forma ideada. Desde el concepto a la forma existió un proceso laborioso en mayor o menor medida.

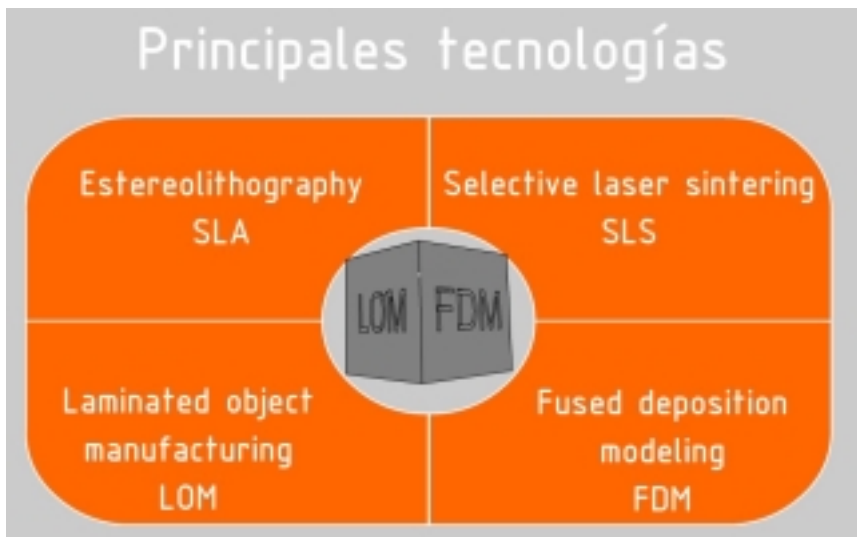
Para eso el hombre hizo de sus manos el medio que daría forma a los objetos que determinarían su evolución, el objeto ideado, el objeto diseñado: herramientas, utensilios, arte, belleza, ...

Hizo uso de la ciencia para crear los elementos que diesen materia y armonía a sus creaciones.

El prototipado rápido es un procedimiento mediante el cual se introducen coordenadas matemáticas, creadas mediante técnicas CAD/CAM, que son procesadas para realizar modelos a escala de forma rápida.

## 2. Principales tecnologías

Las principales tecnologías y técnicas utilizadas en la realización de prototipado rápido pueden agruparse en cuatro grandes grupos, que pueden apreciarse en la figura 1 adjunta.



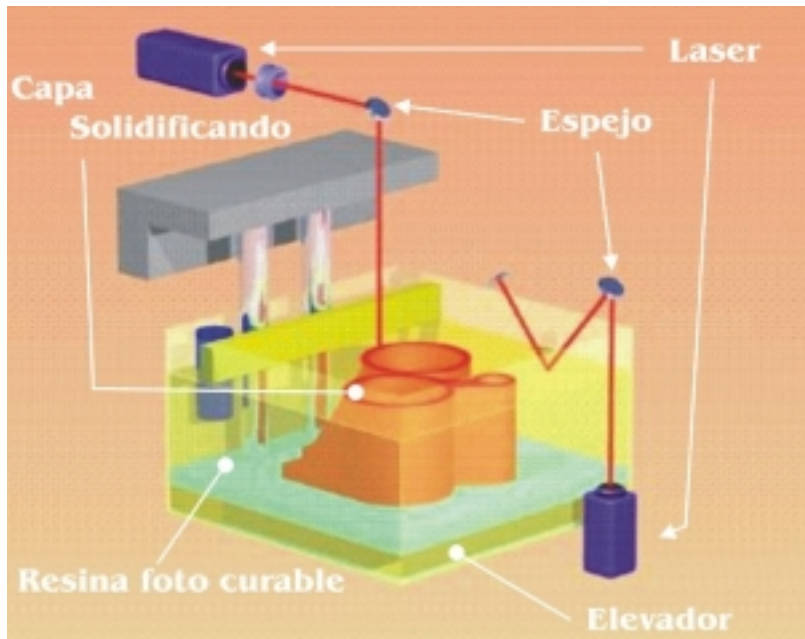
*Figura 1: Principales tecnologías de prototipado rápido .*

## 3. Estereolitografía

La estereolitografía (Estereolithography, SLA) es un procedimiento en el cual se solidifica una resina fotocurable (resinas Epoxi y resinas acrílicas) en estado líquido mediante la acción de un láser ultravioleta. Esta solidificación se va realizando por capas hasta completar la pieza.

La máquina utilizada para su realización está compuesta, fundamentalmente, por:

- Un láser ultravioleta
- Un recipiente con resina fotocurable en estado líquido
- Un elevador dentro del recipiente



*Figura 2: Esquema de Estereolitografía .*

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Al introducir el archivo del modelo en el ordenador, la máquina lo divide en secciones transversales de 0,003”.
- Una vez procesados los datos, el elevador se sitúa a 0,003” por debajo de la superficie de la resina líquida.
- El láser ultravioleta dibuja una sección transversal sobre la superficie del tanque de resina fotocurable, solidificando así la primera capa.
- Una vez que el láser termina de solidificar la primera capa, el elevador baja el espesor indicado por la sección transversal y se solidifica otra nueva capa.
- Este proceso se repite capa por capa hasta que el prototipo esté terminado.

#### 4. Sinterización selectiva por láser

La sinterización selectiva por láser (Selective laser sintering, SLS) es un procedimiento prácticamente similar al anterior, pero con diferencias en cuanto al tipo de material utilizado. En este caso se utiliza un material en polvo, en lugar de utilizar líquido.

La maquina utilizada en este caso consta de:

- Un láser de CO<sub>2</sub>
- Un rodillo
- Un elevador
- Dos tanques de polvo



*Figura 3: Esquema de Sinterización selectiva por láser.*

Respecto al procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Se parte del archivo STL de los datos 3D obtenidos en el modelado CAD.
- Se introduce en el ordenador y este lo procesa.
- Se esparce una capa de material SLS en polvo por la superficie de construcción.
- Se sinteriza una sección del archivo CAD.

- Usando la información del archivo, un láser de  $O_2$  dibuja selectivamente una sección transversal del objeto sobre la capa de polvo. A medida que el láser dibuja la sección, el material se sinteriza (calienta y funde) creando una masa sólida que representa una sección transversal del objeto.
- Se repite el proceso, es decir, se vuelve a esparcir otra capa de polvo y el láser la vuelve a sinterizar, hasta terminar la pieza.

## 5. Fabricación por corte y laminado

La técnica de fabricación por corte y laminado (Laminated object manufacturing, LOM) está basada en la creación de prototipos rápidos a través de la superposición y pegado sucesivo de láminas de papel cortadas por láser.

La máquina utilizada para su realización está compuesta, fundamentalmente, por:

- Un láser
- Dos rodillos mediante los cuales el papel se va renovando
- Un rodillo que presiona cada capa de papel antes de ser cortado por el láser
- Una plataforma móvil



*Figura 4: Esquema de Fabricación por corte y laminado.*

En cuanto al procedimiento que se sigue, es el siguiente:

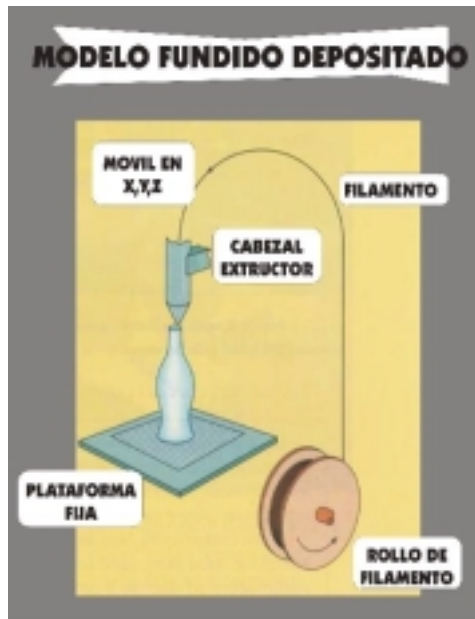
- El láser corta los contornos de la pieza sobre un papel de 0,1 mm de espesor que se corresponde a la altura de la capa en el eje XY.
- Los sectores de papel sobrante, son cortados en cuadrículas para facilitar su remoción. Siempre se recorta el mismo contorno cuadrado
- Posteriormente, los rodillos depositan una nueva capa de papel y se repite el proceso hasta terminar todas las capas

## 6. Deposición por hilo fundido

En el método de deposición por hilo fundido (Fused deposition modeling, FDM) se opera extruyendo una pequeña cantidad de un termoplástico (poliéster), a través de una diminuta boquilla, formando cada sección y a su vez el objeto tridimensional.

La máquina utilizada para su realización está compuesta, fundamentalmente, por:

- Un cabezal móvil, el cual vierte el filamento de poliéster
- Una plataforma fija
- Rollo de poliéster



*Figura 5: Esquema de Deposición por hilo fundido.*

El procedimiento que se sigue consta de los siguientes pasos:

- El material sale del cabezal extractor en un estado semilíquido. El movimiento del cabezal en X e Y define cada sección o capa
- Posteriormente, la plataforma desciende en eje Z dando lugar a una nueva capa sobre la anterior.

## **7. Conclusiones**

Hemos analizado en esta comunicación las técnicas usualmente utilizadas en la obtención de prototipos rápidos de productos, las cuales se han clasificado en cuatro grandes grupos.

Como conclusión podemos enumerar las principales ventajas que presentan cada una de estas técnicas:

Esterolitografía:

- Método económico y rápido.
- Su finalidad es proporcionar una visión física y funcional del diseño.
- Posibles aplicaciones: modelos conceptuales y estética, detalles de partes y exactitud, patrones maestros para procesos secundarios.

Sinterización selectiva por láser:

- Permite hacer ensayos de resistencia y durabilidad.
- Posibilidad de manejar diferentes materiales
- Piezas muy resistentes.
- Posibles aplicaciones: prototipos y patrones de plástico y metal, mecanizados complejos, partes de alta durabilidad, partes con pequeños rasgos, pequeños lotes de piezas metálicas o plásticas.

Fabricación por corte y laminado:

- Materia prima muy económica. A mayor tamaño de pieza, mayor ahorro.
- Precisión de 0,1 mm (altura de la capa).
- La materia prima no se transforma en el proceso, por lo que obtenemos una pieza estable.
- No existe postproceso de curado de la pieza.



Deposición por hilo fundido:

- Gran rapidez (101 mm/seg).
- Tamaño de la pieza a crear sin límite, únicamente los de la máquina (ej.: 304x203x203 mm).
- Pieza obtenida resistente y que no necesita ser mecanizada.
- Material dúctil como cualquier polímero.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### SEGMENTACIÓN DE ELEMENTOS LINEALES DE COMUNICACIÓN PARA SU GENERALIZACIÓN EN CARTOGRAFÍA.

REINOSO, J. F. (1); PASADAS, M. (1); ARIZA, F. J. (2); GARCÍA, J. L. (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de GRANADA, País ESPAÑA  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.  
Correo electrónico: jreinoso@ugr.es; mpasadas@ugr.es

<sup>(2)</sup>Universidad de JAÉN, País ESPAÑA  
Escuela Politécnica Superior  
Correo electrónico: fjariza@ujaen.es; jlbalboa@ujaen.es

### RESUMEN

Uno de los elementos más abundantes en toda cartografía son las vías de comunicación. Cualquier procedimiento de generalización para pasar de una escala mayor a otra menor, deberá enfrentarse a una identificación de formas características que componen dichas vías de comunicación; ya que investigaciones previas demostraron que, intentar abordar la generalización de una vía de comunicación como un solo objeto, producía resultados no deseados. Con estos antecedentes, se ha procedido a identificar las formas que se sabe se hallan presentes en carreteras de jerarquía superior, como pueden ser autovías y carreteras nacionales. Tales formas son: rectas, circulares y clotoides. Con el método elegido, una de estas carreteras, extraída de una cartografía a escala 1:25.000, quedará segmentada en sus elementos componentes. Dicho método consiste en ajustar una spline a los datos cartográficos (poligonal), para mediante su correspondiente diagrama de curvaturas, clasificar los distintos tramos que han resultado de la segmentación. Posteriormente se compara dicha segmentación con los datos del proyecto con los que se diseñó. De tal comparación se observa que, el método elegido es bastante adecuado para detectar elementos componentes (recta, circular, clotoide) de las vías de comunicación a partir de la cartografía.

**Palabras clave:** generalización cartográfica, base de datos geográfica, vías de comunicación, detección de formas, segmentación, ajuste, spline, clotoide.

### ABSTRACT

The roads are the most profuse elements in cartography. Identification of proper shapes of roads is necessary for any generalization process, to obtain a smaller scale map from the original map. Previous researches proved that the better method is to break the lines. This research identify the inner shapes are present in highway. A such shapes are: straight, circle and spiral. The method is used here employ both cartography data and project data. The cartography data proceed 1:25.000 geographical database. The method consist to fit a spline to data. The identification of shapes is detect from curvature diagram. The comparison of curvature diagrams demonstrate the method is appropriate to recognize the shapes.

**Key words:** cartographic generalization, geographical database, road, shape detection, line segmentation, adjust, spline, spiral.

## 1. Introducción

La generalización cartográfica es un proceso por el cual, a partir de un mapa a una determinada escala, se genera otro de escala menor. Otro condicionante de la generalización es el cambio de uso o propósito del mapa [11]. Debido a estos cambios existe competencia de los elementos por aparecer en el espacio de representación lo que lleva a procesos de selección/eliminación y transformación estructural de los elementos [5]. La misión fundamental de la generalización es la conservación de la mayor cantidad de información posible, destacando aquella que más interese al usuario al que se destine el producto cartográfico final. Todo ello respetando los principios de legibilidad y claridad cartográfica.

La generalización ha sido una etapa necesaria en cualquier proceso de obtención de cartografía analógica derivada [1]. Y lo es también en la formación de la cartografía digital que emplean los SIG [4] [10] La generalización aplicada a las bases de datos geográficas tiene beneficios inmediatos tanto económicos como de disponibilidad del producto en un tiempo relativamente corto de tiempo. Si se dispone de un buen método de generalización, sólo es necesaria la existencia de una única base de datos de gran resolución, a partir de la cual se podrán derivar los distintos productos cartográficos con sus características de escala, objetivo cartográfico y usuario [6]. Esto evita tener que tomar datos cada vez que se necesitase confeccionar una determinada cartografía. A este tipo de bases de datos se las conoce con el nombre de base de datos independiente de la escala.

Sería deseable que la generalización estuviese completamente automatizada, mas hasta el momento se necesita de la interacción de un operador para obtener un resultado final aceptable/aceptado [2]. La mayor dificultad radica en la variedad de elementos que aparecen en una base de datos geográfica (BDG), llegando a ser casi ilimitadas las formas de aquellos que pertenecen a la misma tipología, como pueden ser las carreteras. Siendo imposible introducir en la computadora todos los casos posibles que se pueden encontrar al generalizar.

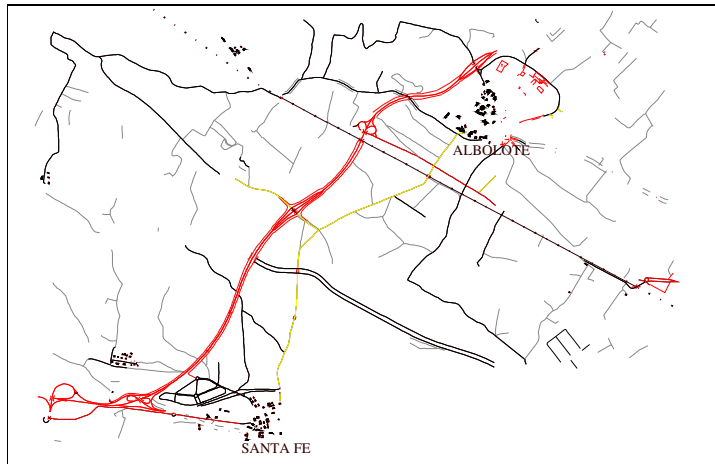
La complejidad del problema es tan grande que sugiere subdividirlo, para abordarlo por parcelas. En la mayoría de las investigaciones la subdivisión considera los siguientes ámbitos: vías de comunicación, cascos urbanos, toponimia y relieve [12]. La presente comunicación se enmarca en el primero de dichos ámbitos.

Un indicador de la importancia de los elementos lineales en las BDG es el hecho de que sumen el 80% de los mismos [5]. Y dentro de esta categoría lineal, los elementos que cobran mayor protagonismo son las vías de comunicación.

Estudios realizados han demostrado que la mejor manera de abordar la generalización de vías de comunicación se consigue mediante la segmentación del elemento en sus formas componentes [8], por lo que el primer paso es identificar esas formas. Como se ha indicado las vías de comunicación pueden tomar formas casi ilimitadas, y por ello es lógico intentar constituir grupos con elementos de comportamiento similar. En la búsqueda de estas semejanzas surge de manera inmediata el grupo compuesto por autovías, autopistas, vías rápidas y carreteras nacionales. El diseño de este conjunto se realiza únicamente con los elementos recta, circular y clotoide. En la línea de todo lo anterior, y centrados sobre los elementos lineales de las comunicaciones de mayor jerarquía (autopistas, autovías, etc.), el objetivo que nos planteamos para este trabajo es encontrar un método que segmente carreteras procedentes de cartografía en los tres elementos componentes citados.

## 2. Desarrollo del Trabajo

La experimentación se ha realizado sobre un tramo de aproximadamente 11 kms de la Autovía A-92 en la provincia de Granada, entre las localidades de Albolote y Santa Fe (Figura 1).



**Figura 1: Autovía A-92. Tramo Albolote-Santa Fe**

Para la contrastación del método se han utilizado dos conjuntos diferentes de datos:

- Datos procedentes del proyecto de diseño y ejecución de la infraestructura (DP, en adelante); del cual se conocen exactamente los parámetros que definen el trazado geométrico de la obra.
- Datos procedentes del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000, (DC en adelante), los cuales proceden de un flujo de procesos puramente cartográficos (restitución, edición, etc.).

Cada uno de estos conjuntos representa el mismo objeto del mundo real mediante una poligonal que define el eje de la carretera.

**Tabla 1: Características de la línea tramo de Autovía A-92**

DATOS DE PROYECTO	DATOS CARTOGRÁFICOS
Nº de puntos a ajustar: 472	Nº de puntos a ajustar: 445
P.K. Aproximados: 230+100 á 241+900	P.K. Aproximados: 230+100 á 241+900
Longitud de la línea: 11882.75 m	Longitud de la línea: 11850.33 m

Además se utilizará la línea de carretera N-323 de la que sólo se poseen datos cartográficos para análisis adicionales sobre algunos parámetros. Figura 2 y Anejo I.

Según los objetivos marcados, en este trabajo se pretende detectar las formas componentes (recta, circular y clotoide) de un tramo de carretera, en nuestro caso de tipo autovía, a partir de datos exclusivamente cartográficos (DC). Indudablemente, la detección implica, al mismo tiempo, la segmentación del objeto en sus formas o elementos componentes.

Para desarrollar este trabajo se propone el uso de los diagramas de curvatura como medio de comparación de los resultados de la extracción de formas sobre los conjuntos DP y DC. Se tomarán como verdad o patrón los resultados que se extraen sobre el conjunto DP, dado que proceden del diseño geométrico de la infraestructura.

No obstante, antes de comenzar, se puede intuir la presencia de algunos problemas derivados de los datos, que pueden afectar al método, pero que van a ser obviados:

- Discrepancias entre el proyecto diseñado y el que posteriormente se ejecuta sobre el terreno, el cual ha podido ser objeto de *modificados*. Las modificaciones también se han podido realizar como consecuencias de obras de mejora o conservación. En este estudio se han utilizado los datos del proyecto diseñado (DP) (año 1991). Por otra parte los DC se han recogido en fechas posteriores (año 1995) al diseño del proyecto. Por todo ello es de prever que existirán diferencias en el posicionamiento espacial entre DP y DC. De hecho al comparar ambos se ha detectado una separación máxima de 5 m.
- Los DC proceden de restitución fotogramétrica, por lo que su captura se ha realizado punto a punto. Por esta razón en los mismos no existirán puntos

singulares, que son aquellos en los que se produce la unión de tangencia entre dos elementos diferentes (recta, circular y clotoide). La no existencia de dichos puntos singulares dará lugar a una pérdida de sensibilidad por parte del método de ajuste. De tal forma que si los elementos componentes no tienen suficiente longitud terminen por ser asimilados por los adyacentes.

Dado que los conjuntos DC y DP almacenan sus elementos lineales según una representación poligonal y que se pretende la comparación con un diagrama de curvaturas, surge la necesidad de derivar este valor de curvatura. Como se sabe la curvatura de una recta valdrá cero, la de una circunferencia será constante y la de una clotoide se representa en el diagrama de curvaturas por una recta de pendiente no nula.

La clave en el desarrollo del trabajo es la elección de un método de ajuste sobre ambos conjuntos de datos. Se opta por ajustar una spline mediante el método de mínimos cuadrados [9]. En concreto se trata de minimizar el valor

$$\sum_{i=1}^N (s(x_i) - y_i)^2 + \varepsilon \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} s''(x)^2 dx$$

en el espacio de funciones splines cúbicas con derivada continua construidas a partir de una base hermítica y cierto número de nodos (Nnod) distribuidos uniformemente en el intervalo  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , siendo  $\{(x_i, y_i), i=1, \dots, N\}$  el conjunto de puntos de ajuste, ordenado por sus abscisas,  $x_{\min}$  y  $x_{\max}$  el mínimo y el máximo de estas abscisas, y  $\varepsilon$  un parámetro real prefijado.

Por tanto, en este método [7] los parámetros que permiten modificar el resultado de la aproximación, fijado el conjunto de datos de ajuste, son dos:

- el valor de  $\varepsilon$ , que tiene una importante interpretación geométrica, en cuanto que es un indicador de lo cerca que pasa la curva spline de ajuste al conjunto de datos. Cuanto menor sea el valor de  $\varepsilon$  más se ajusta la spline a los puntos componentes de la poligonal. El significado físico hace referencia al grado de suavidad o de tensión de la spline. A menor valor de  $\varepsilon$  mayor tensión y menor suavidad de la misma.
- el número de nodos (Nnod) necesarios para construir la spline. Existen dos posibilidades: introducir un número de nodos arbitrarios entre los que la longitud o intervalo sea constante (nodos equidistantes, NE), o especificar algún criterio para indicar el número de nodos y la longitud entre los mismos (nodos no equidistantes NNE). Se han estudiado los dos casos y la influencia del número de nodos en la aproximación.

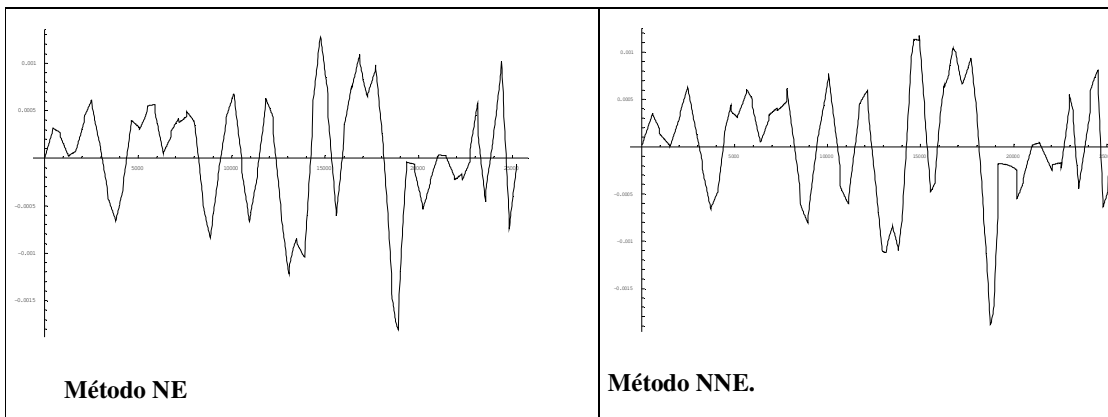
El método NNE consiste en calcular aproximadamente el valor de la separación entre dos nodos consecutivos de forma proporcional a una longitud de arco. La longitud de este arco se logra de la siguiente forma:

1. Se define una tolerancia, que será la máxima distancia de separación entre un punto cualquiera del conjunto de datos que define una línea (poligonal) y su correspondiente arco ajustado (aproximación).
2. Se toman los tres primeros puntos y se les ajusta un arco cúbico. En este caso se consigue una interpolación.
3. se añade un nuevo punto al conjunto y se ajusta por mínimos cuadrados un arco cúbico.
4. Si todos los puntos cumplen con la tolerancia se incorpora un nuevo punto y se repite desde el paso 3.
5. Si algún punto no cumple la tolerancia se considera como arco ajustado el arco formado en el paso inmediatamente anterior al del paso 4. La formación del siguiente arco comenzará tomando nuevamente 3 puntos comenzando a partir del último punto del arco anterior.

El proceso descrito es bastante similar en su funcionamiento al que se ejecuta en otros algoritmos de generalización como el de Thapa [3].

## 2.1 Resultados

Es de destacar que, tanto si se emplea el método NE como el NNE, el diagrama de curvaturas apenas sufre modificaciones de importancia. Figura 2. Se identifican el mismo número de elementos en el mismo orden y casi con los mismos parámetros.



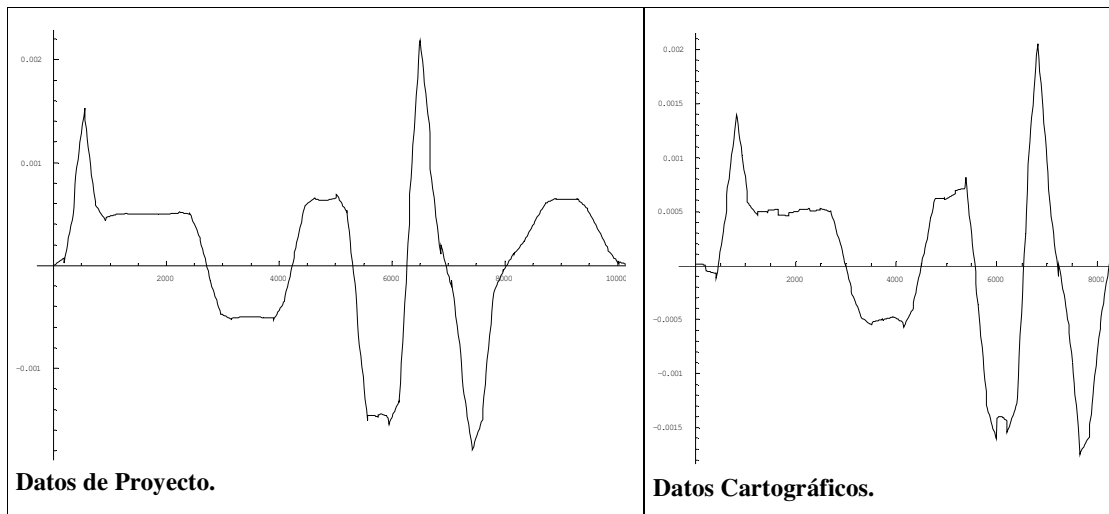
**Figura 2: Autovía N-323. Datos cartográficos. Nnod=65**

Dada la semejanza de los diagramas de curvaturas obtenidos al usar ambos métodos se decide emplear el de NE, puesto que consume un menor tiempo de cálculo.

En el anejo I se puede encontrar una comparativa de la influencia del valor del parámetro  $\epsilon$  en la forma del diagrama de curvaturas. En el mismo se observa que la mayor influencia sobre dicho diagrama la ejerce la variación del valor del parámetro  $\epsilon$ . Mientras que la variación de Nnod genera pequeñas diferencias a pesar de ser grande la diferencia de Nnod para cada caso. Compárese para ello las gráficas de la segunda

fila, en la que Nnod es igual a 65 y 45 respectivamente con lo que en la primera gráfica se emplean 19 arcos más que en la segunda para conseguir el ajuste de la spline.

Empleando el método de ajuste de nodos equidistantes y el mismo valor de parámetro  $\varepsilon$  sobre los datos de proyecto y cartográficos de la Tabla 1 se obtienen los diagramas de la Figura 3:



**Figura 3: Autovía A-92. Diagrama de curvaturas de spline ajustada. Nnod=65.  $\varepsilon=0.000001$**

Entre los elementos que se identifican en las gráficas de la Figura 3 se puede establecer una correspondencia biunívoca. Queda por ver si ocurre lo mismo entre el diagrama procedente de DC y el diagrama de curvaturas exacto procedente de DP. Tal diagrama de curvaturas junto con la definición del trazado en planta se puede observar en la Figura 4.

**Tabla 2: Precisión del ajuste de la spline sobre DC**

Separación media entre la spline y la línea original: 0.863 m

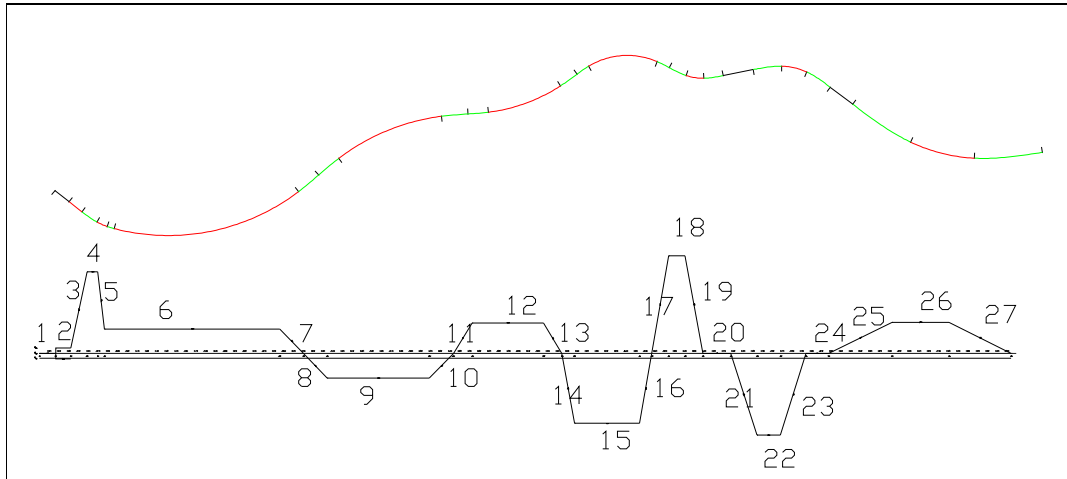
Separación total o acumulada entre la spline y la línea original: 13731.518 m

Comparando los diagramas de curvatura de DC (Figura 3) y DP (Figura 4) se observa lo siguiente:

- Las rectas, elementos 1, 20 y 24 (Figura 4), que en este caso tienen poca longitud, no se detectan sobre DC.
- Las circulares con pequeño radio de curvatura (elementos 15, 18 y 22) y poca longitud que deberían quedar representadas por rectas de pendiente nula, aparecen en DC formando pico; o produciendo entrante en el vértice (elemento 15).



- Por lo demás el resto de elementos sobre DC son perfectamente identificables, apareciendo en el mismo orden y posición, habiéndose constatado que los valores de curvatura son del mismo orden que los procedentes de DP.



**Figura 4: Autovía A-92. Planta y diagrama de curvaturas. Identificación de elementos componentes a partir de DP.**

### 3. Conclusiones

En líneas generales el diagrama de curvaturas extraído del ajuste de una spline sobre datos cartográficos se asemeja bastante al diagrama original. Con lo que practicar una segmentación de formas elementales (recta, circular y clotoide) parece factible.

No obstante, hay que tener en cuenta la pérdida que se ha producido de aquellos elementos componentes que tenían una longitud pequeña a la escala de representación de los datos cartográficos, coincidiendo en este caso con rectas y algunas circulares. Este hecho, que se presenta a priori como un inconveniente, podría ser del máximo interés con vistas a obtener la generalización de la carretera de que se trate. Ya que, por una parte, podría estar indicando qué elementos no tienen representación a una escala más pequeña (rectas y circulares de poca longitud) y, por otra, una posible generalización de dichos elementos en términos de su curvatura o en el espacio de representación curvatura; es decir, se podría tomar como diagrama de curvatura de la línea generalizada el mismo procedente de DC con algún grado de suavizado.

Queda como trabajo pendiente por resolver el determinar con precisión en qué puntos exactamente se producen las tangencias de los elementos. Hecho que quizás podría resolverse con algún algoritmo de tipo inercial tal como el experimentado por García [3].

Además de la evidente aplicación en generalización cartográfica, consideramos que esta metodología podría ser de interés para la actualización cartográfica de vías de comunicación. Se podría obtener de las mismas los parámetros, no ya con los que se diseñó la vía, si no los parámetros reales con los que se replanteó en el terreno. Ya que como es sabido, debido a los modificados pueden existir discrepancias entre lo proyectado y lo posteriormente ejecutado.

## Referencias

[1]CUENIN, R.(1972). *Cartographie Générale, notions générales et principes d'élaborations*. Eyrolles. París.

[2]DUCHÊNE, C. (2001). *Road generalisation using agents*. Proc of 9<sup>th</sup> Annual Conference on GIS Research in United Kingdom, Glamoran.

[3]GARCIA, J.L. et al. (2001). *El algoritmo de Thapa bidireccional recursivo en el filtrado de elementos lineales en la generalización cartográfica*. Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz.

[4]JOAO, E. M. (1998). *Causes and Consequences of Map Generalisation*. Taylor & Francis. London.

[5]McMASTER, R. y SHEA, K. (1992). *Generalization in digital Cartography*. AGG. Nueva York.

[6]MUSTIÈRE, S. (2001). *Apprentissage Supervisé pour la Généralisation Cartographique*. Tesis doctoral, Universidad Pierre et Marie Curie (París VI).

[7]PASADAS, M.; LÓPEZ DE SILARES, M.C.; TORRENS, J.J. (1993) *Aproximación de curvas paramétricas  $D^m$ -splines discretos con condiciones de tangencia*. En Métodos Numéricos en Ingeniería, F. Navarrina y M. Casteleiro (eds.). SEMNI. Barcelona.

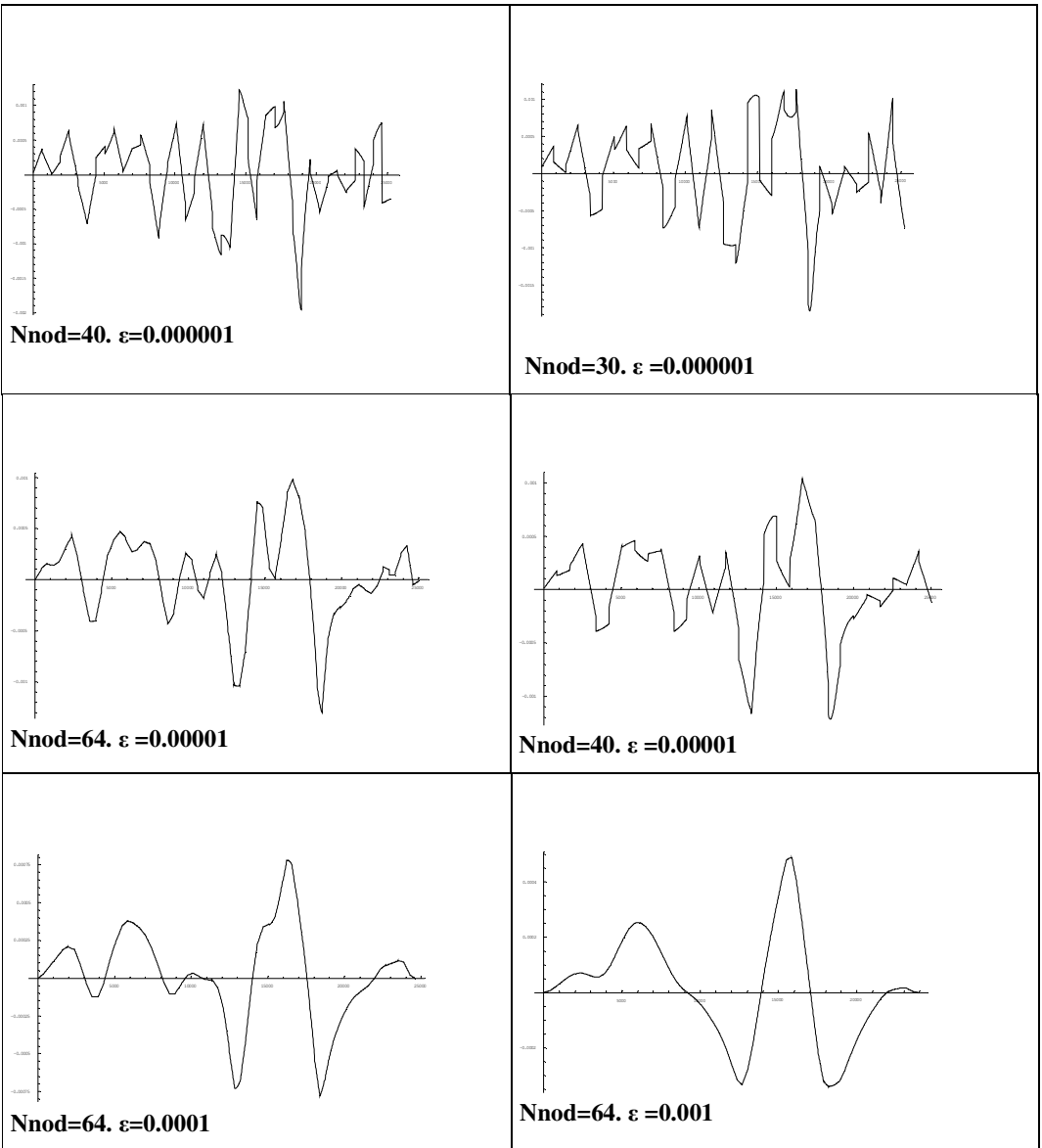
[8]PLAZANET, C., AFFHOLDER, J.G., FRITSCH, E. (1995). *The importance of geometric modelling in linear feature generalization*. Cartography and Geographic Information Systems 22 (4), 291-305.

[9]PRENTER, P.M. (1975). *Splines and Variational Methods*. John Wiley and Sons. New York.

[10]REINOSO, J. F.; ARIZA, F. J. (1998). *La Generalización Cartográfica en el ámbito de Sistemas Vectoriales. Experiencias sobre mantenimiento de las propiedades geométricas de las líneas al aplicar algoritmos de simplificación*. Actas del Primer Congreso Nacional de Información Geográfica. Valladolid.

[11]ROBINSON, A. H. et al. (1987). *Elementos de Cartografía*. Omega. Barcelona

**Anejo I:N-323. Método nodos equidistantes.**





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### SEMIÓTICA APLICADA A LA CREACIÓN DE INTERFACES USUARIO-PRODUCTO EN EL DISEÑO INDUSTRIAL

GARCÍA HERNÁNDEZ, César (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, España

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico: cesarg@unizar.es

### RESUMEN

El uso de máquinas en la actualidad es algo completamente natural en las sociedades más dispares, a pesar de que el lenguaje que éstas utilizan tiene poco que ver con el empleado por las personas que las manejan.

La creación de interfaces bien desarrolladas ha contribuido notablemente a esta aceptación, permitiendo a cuantos utilizan un teléfono móvil, un horno o un ordenador desempeñar cualquiera de sus funciones de una manera sencilla y con unas mínimas probabilidades de error.

A lo largo de este artículo se pretenden mostrar algunas de las pautas a seguir a lo largo del desarrollo de una interfaz usuario-producto. Para ello se expondrán algunos fundamentos basados en estudios de semiótica y aplicados a la creación de estas interfaces.

**Palabras clave:** interfaz, desarrollo, producto, usuario, prototipo, diseño, industrial, usabilidad, producción.

# ABSTRACT

Using machines nowadays is something completely natural in the most different societies. The language of these machines is not similar at all to their users way of communication.

Well developed interfaces has contributed to accept the so general use of machines, making possible a clear and easy control of a mobile phone, a sophisticated oven or a new computer with very low probabilities of error.

In this paper are shown some ideas to follow in the user-product interface development process, paying attention to semiotic fundamentals applied to these interfaces creation.

**Key words:** interface, development, product, user, prototype, design, industrial, usability, production.

## 1. Introducción

Cuando se habla con alguien de un país con un idioma distinto se intenta utilizar un lenguaje que permita la comprensión mutua. Normalmente una de las dos personas deberá conocer, en mayor o menor medida, la lengua de la otra y la comunicación podrá desarrollarse sin demasiados problemas. Puede suceder que ninguna de las dos sea capaz de hablar el idioma de la otra, pero sea necesaria una comunicación.

Con las máquinas suele suceder lo descrito anteriormente. Los seres humanos no acostumbran a hablar como ellas (por ejemplo con 'ceros' y 'unos', como en el caso de los dispositivos digitales) y, a pesar de ello, cada día se utilizan máquinas más complejas y de un modo más sencillo. Para ello las máquinas son capaces de mostrar la información necesaria de forma fácilmente comprensible y, además, de admitir instrucciones introducidas de la forma que una mente humana es capaz de transmitir. Para ello se han desarrollado mecanismos que simplifican y hacen posible esta comunicación que, de otro modo, sería muy complicada.

## 2. Desarrollo del Trabajo

De acuerdo con Robert Stone (1998), una interfaz intuitiva entre el hombre y la máquina es una que requiere poco entrenamiento y brinda un estilo de trabajo muy similar al usado por el ser humano cuando interactúa con ambientes y objetos de su vida diaria. En otras palabras, el humano interactúa con elementos de su tarea mirando, sosteniendo, manipulando, hablando, escuchando, y moviendo, usando mucho de sus habilidades naturales como le son apropiadas, o puede razonablemente ser esperado a ser aplicable a la tarea.

La interacción entre el usuario y la máquina es un conjunto de acciones realizadas por la persona y por el objeto, siendo unas respuestas de otras.

En el desarrollo de cualquier interfaz deben tenerse muy en cuenta factores como el entorno en que se utilizará y la experiencia de los usuarios. El entorno de utilización hace referencia a todas las condiciones bajo las que interactúan el usuario y el producto. A continuación se muestran algunos ejemplos:

La cantidad de luz determinará la posibilidad de utilizar unos colores con mayor o menor contraste o incluso la necesidad de utilizar pigmentos que puedan ser observados bajo una ausencia total de luz.

Si el producto se va a utilizar en condiciones de gran humedad o bajo el agua, éste deberá ser diseñado de forma que el usuario pueda manejarlo correctamente, teniendo en cuenta que puede ser más fácil que algunos mandos resbalen o no puedan ser movidos con gran rapidez. En casos así los tamaños han de ser estudiados cuidadosamente y han de plantearse superficies rugosas, de forma que se incremente el rozamiento si es preciso.

La experiencia y la cultura de los usuarios son factores claves a la hora de crear interfaces, ya que se tendrán en cuenta aquellos conocimientos que resultan fundamentales para el uso correcto de algunos productos. En culturas como la occidental el color rojo se asocia frecuentemente con el peligro y la inmediatez y puede observarse en dispositivos de paro de emergencia, por ejemplo. Pero, ¿qué sucedería si un niño tuviese que detener una máquina de forma urgente? No se puede suponer que sería capaz de buscar uno de estos dispositivos, ya que ese tipo de asociaciones han de ser aprendidas.

Es posible observar una gran cantidad de factores que influyen en un mejor o peor funcionamiento de una interfaz de usuario y, si no se tiene una especial atención, es fácil olvidar alguno de ellos. Para ello es muy aconsejable tratar de cuantificarlos y de aplicarlos de manera metódica. A continuación se muestra una de las muchas formas posibles de ordenarlos y que se considera adecuada para la aplicación práctica en diseños de interfaces.

#### Características del entorno:

- *Culturales*: existen metáforas perfectamente comprensibles en nuestra sociedad, como la que se utiliza en algunos sistemas operativos de ordenadores personales, basada en el uso de un escritorio con carpetas, documentos, papelera, etc. Sin embargo hay culturas en las que una metáfora así sería difícil de entender y debería ser adaptada correctamente, por ejemplo, pensando en una biblioteca con estanterías, libros, capítulos, etc.

- *Espaciales*: las dimensiones y el emplazamiento físico del lugar en el que se usará el producto son determinantes a la hora de desarrollar su interfaz. Si se pasan por alto estos factores puede suceder que el producto no pueda ser utilizado por falta de espacio o unas condiciones físicas adversas.

· *Temporales*: pueden influir de distinta forma en el uso del producto. Por ejemplo muchos productos son imposibles de utilizar en determinadas épocas del año o a determinadas horas del día.

· *Tecnología disponible*: muchos productos pierden su utilidad si no se cuenta con una determinada tecnología. Por ejemplo, no deberían desarrollarse unos auriculares con un conector distinto al disponible en el reproductor de audio con el que cuenta el usuario. En este sentido se han de tener siempre en cuenta los formatos, conectores, tensiones eléctricas,... de las que van a disponer los usuarios finales de diferentes países.

· *Interacción con otros usuarios*: algunos productos han de permitir la posibilidad de ser utilizados por un grupo de usuarios. De ese modo se ha de tener en cuenta si existe la necesidad de personalización del producto, para que usuarios muy diferentes puedan utilizarlo sin problemas. También se ha de tener en cuenta la posibilidad de utilización simultánea del producto, adecuando su interfaz como sea necesario para hacerlo posible.

### Características del usuario:

· *Características generales*: dependiendo del tipo de producto serán más o menos determinantes. Hay que tener en cuenta el sexo y la edad de los usuarios de forma especial y, en algunos casos, la etnia a la que pertenecen.

· *Características individuales*: el entorno en el que han crecido los usuarios, su grado de alfabetización y su facilidad de aprendizaje determinarán la complejidad máxima que puede adquirir una interfaz de usuario. También influyen en el aprendizaje necesario para la utilización de cualquier interfaz las aficiones de los usuarios, sus destrezas y sus dificultades.

· *Funcionamiento subjetivo de los sentidos*: por lo general no se debe contar con que los sentidos de los usuarios funcionen siempre de un mismo modo. Una gran parte de la población tiene algún tipo de problema visual o auditivo. Por ello, por ejemplo, no se puede confiar en el uso del color únicamente en muchos casos. Al desarrollar interfaces se ha de tener en cuenta esta cuestión y reforzar según qué informaciones si es preciso. Si se desarrolla un producto para personas con problemas sensoriales hay que tenerlo más en cuenta. Así, en la elaboración de un recipiente para guardar lentes de contacto se suelen usar de forma simultánea códigos visuales y táctiles.

· *Percepción de la información*: una misma información siempre es percibida de modo más o menos diferente entre distintos usuarios. En ello influyen aspectos sensoriales, entre otros. Para no descuidar este aspecto deberán ensayarse los prototipos con todos los usuarios representativos posibles.

· *Interpretación de la información percibida*: del mismo modo que la percepción no es exactamente igual en distintos usuarios, la interpretación de los datos también es distinta. Los distintos aspectos culturales de cada usuario hacen que la información se

interprete de un modo u otro y por lo tanto los ensayos con diferentes tipos de usuarios posibles se hacen imprescindibles.

- *Tamaño de las partes del cuerpo*: los productos manipulados por usuarios han de tener formas y tamaños que no obliguen a quienes los utilicen a adoptar posturas incorrectas o incluso imposibles. De acuerdo con lo anterior se deben de realizar estudios ergonómicos y, en algunos casos, desaconsejar el uso del producto a determinados usuarios potenciales en función de la estatura, peso u otros factores.

### Características del producto:

- *Funciones características*: se han de definir con precisión las funciones del producto desarrollado, con el fin de no descuidar ningún aspecto importante ni perder tiempo en cuestiones innecesarias.

- *Tareas desarrolladas*: hay que estudiar meticulosamente las tareas que el usuario ha de desarrollar en el uso del producto. Se han de tratar de simplificar en lo posible estas tareas, en especial las que entrañen algún tipo de peligro o dificultad. En muchas ocasiones una tarea compleja se puede descomponer en varias que simplifican el uso del producto.

- *Grado de interacción*: ha de ser el adecuado, ya que un grado de interacción demasiado elevado puede ser complejo o incluso peligroso para el usuario. De este modo algunas funciones pueden ser deshabilitadas para todos o algunos de los usuarios. Por el contrario un grado de interacción demasiado bajo puede limitar la utilidad del producto. Se ha de concretar el grado de interacción para satisfacer las necesidades exigibles al producto y, en ciertos casos, el grado de interacción ha de ser variable dependiendo de cada usuario.

Tras haber evaluado correctamente los factores que afectan a la interfaz que se pretende elaborar puede aplicarse un proceso de diseño similar al que se expone a continuación.

### Fase conceptual:

- *Idea clara de producto*: la definición precisa del producto hace posible conocer exactamente las necesidades y los condicionantes de su interfaz, además de los usuarios a los que se enfoca el producto.

- *Crear un plan de elaboración de interfaz*: se fijan los pasos que se pretenden seguir y los tiempos estimados para cada uno de ellos. La estimación de estos tiempos es compleja y se han de tener en cuenta los posibles retrasos ocasionados por problemas e inexactitudes del plan de desarrollo.



### Fase de diseño:

- *Definición del usuario:* conociendo a los usuarios de un producto se pueden tomar como válidas unas u otras dimensiones, condiciones de uso, campos de aplicación, etc. Cuanto más amplio sea el espectro de usuarios más complejo será el desarrollo de una interfaz. Por ejemplo, si los usuarios hablan distintos idiomas, deberán utilizarse pictogramas adecuados en lugar de palabras escritas.

- *Diseño del producto:* en esta fase se crea un concepto de interfaz, pensando en todos los posibles usos del producto. Hay que tener en cuenta la posible dificultad excesiva de algunas tareas y su necesidad de simplificación. Si fuese necesario, debido a la complejidad, se podrá recurrir al uso de metáforas que simplifiquen el uso del producto.

- *Prototipado:* el desarrollo de un prototipo permite la observación del producto y de su interfaz. El prototipo puede ser mostrado para una evaluación adecuada y permite tener en cuenta posibles mejoras que de otro modo serían difíciles de encontrar.

- *Evaluación y ajustes:* la evaluación ha de ser metódica, realizando pruebas con distintos usuarios y registrando los resultados para su estudio detenido. Tras las pruebas se procede a la realización de los ajustes necesarios a la vista de los resultados obtenidos. Los ajustes realizados se evaluarán y darán lugar a nuevos ajustes, siguiendo un proceso iterativo hasta alcanzar los objetivos propuestos inicialmente en el desarrollo de la interfaz.

### Fase de implementación:

- *Diseño detallado:* tras los primeros prototipos, ya evaluados y ajustados convenientemente, se lleva a cabo un diseño absolutamente detallado, necesario para comenzar la producción.

- *Producción:* en esta fase se convierte en realidad la interfaz desarrollada con mayor o menor acierto a lo largo de las etapas anteriores. Los productos obtenidos acabarán siendo utilizados por los usuarios correspondientes.

- *Evaluación de productos:* se ha de valorar objetivamente el grado de acierto en el desarrollo de la interfaz. Para ello se puede evaluar el uso que se le está dando al producto, con la intención de encontrar posibles fallos y aspectos que puedan conducir a error o confusión.

### Fase de lanzamiento:

- *Comienzo del lanzamiento:* el producto creado se distribuye de un modo u otro, teniendo claro el usuario para el que su interfaz ha sido desarrollada. En esta fase se observarán las primeras reacciones de los usuarios finales.

- *Seguimiento evaluativo:* tras lanzar el producto ha de medirse el grado de aceptación o rechazo del mismo y la influencia que tiene la interfaz desarrollada. En

productos con una buena aceptación se puede intentar mejorar la interfaz, de modo que los usuarios potenciales aumenten (haciendo posible su uso en otras culturas, por ejemplo). Cuando los productos lanzados tienen una aceptación inadecuada se ha de valorar si la interfaz puede ser uno de los aspectos a mejorar.

· *Planificación*: el producto sigue una evolución y se ha de planificar el desarrollo de futuras versiones. En ellas la interfaz puede ser muy distinta a la inicial, tras las observaciones de los usuarios. Las nuevas versiones del producto pueden satisfacer las necesidades de usuarios en los que no se había pensado en las fases iniciales de desarrollo del producto original.

### **3. Conclusiones o Consideraciones Finales**

El desarrollo de interfaces de usuario ha de tener siempre en cuenta el producto desarrollado, el usuario final y el entorno. Bajo esa idea pueden seguirse unas pautas para la elaboración de la interfaz final, probando y mejorando los resultados obtenidos hasta cumplir las exigencias marcadas inicialmente. Por último hay que tener en cuenta que el desarrollo global de una buena interfaz suele ser el resultado del trabajo conjunto de los miembros de un equipo multidisciplinar.

### **Referencias**

LEWIS, C.; RIEMAN, J. (1994) *Task-centered user interface design. A practical introduction*. Colorado University.

MERCOVICH, E. (1999) *Diseño centrado en el usuario: interacción, interfaces y usabilidad*. SIGGRAPH, Buenos Aires.

STONE, R. J. (1993) *Virtual Reality Systems*. London, Academic Press.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### LA CARTOGRAFÍA APLICADA A LA REPRESENTACIÓN DE LAS OBRAS PÚBLICAS ESPAÑOLAS EN EL SIGLO XVIII.

SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de (1), GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio (2), LEÓN CASAS,  
Miguel Ángel (3)

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Madrid, España  
E.T.S.I. Agrónomos, Departamento de Ingeniería Cartográfica-Expresión Gráfica  
Correo electrónico: [csanantonio@ica.etsia.upm.es](mailto:csanantonio@ica.etsia.upm.es)

<sup>(2)</sup> y <sup>(3)</sup>Universidad de Granada, España  
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Correo electrónico: <sup>(2)</sup> [fundacion@juaneloturriano.com](mailto:fundacion@juaneloturriano.com), <sup>(3)</sup> [maleon@ugr.es](mailto:maleon@ugr.es)

### RESUMEN

En el XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica celebrado en Santander en 2002, presentamos en una Comunicación las diferentes maneras de representar, en los siglos XVI y XVII, la orografía del terreno en los planos que los ingenieros elaboraron para la construcción de las diversas obras públicas civiles y militares. En esta ocasión, siguiendo la misma metodología, ampliamos la investigación al siglo XVIII, estudiando la aplicación de los procedimientos más intuitivos como son los perfiles abatidos, la perspectiva paralela (posteriormente caballera), los puntos acotados y el sombreado. Veremos como esos modos de representar son habituales en el quehacer proyectivo de los ingenieros españoles, especialmente los militares, de este siglo.

Es nuestra intención considerar este proceso de la representación de la cartografía histórica aplicada a la representación de las obras públicas, desde la óptica de la propia representación gráfica de los documentos planimétricos.

**Palabras clave:** Historia de la cartografía. Historia de la representación gráfica. Aportación española a la ciencia cartográfica. Historia de las obras públicas.

### ABSTRACT

In the XIV International Congress of Graphic Engineering taken place in Santander in 2002, we presented in a Communication the different ways to represent, in the XVI and XVII centuries, the orography of the land in the plans that the engineers prepared for the construction

of the diverse civil and military public works. In this occasion, following the same methodology, we enlarge the investigation to the XVIII century, studying the application of the most intuitive procedures as the turned profiles, the parallel perspective (later on isometric oblique view), the spot points and the shading. We will see as those ways of representing are common in the work proyectivo of the Spanish engineers, especially the military ones, of this century.

It is our intention to analyze the application of the drawing techniques of historical cartography to the drawing of plans for public works projects in that era.

**Key words:** History of cartography. History of design. Spanish contribution to science of cartography. History of public works.

## 1. Introducción

La representación del relieve del terreno en sus formas intuitiva y científica y su evolución a lo largo de los siglos, es el contexto en el que enmarcamos esta comunicación que sigue la línea de investigación que venimos desarrollando en los últimos años sobre distintos aspectos de la historia de la representación gráfica. Es un eslabón más de la cadena de trabajos que hemos realizado para dar cuerpo a una posible Historiografía de la Expresión Gráfica en la Ingeniería, disciplina que sería aneja a la Historia de la Ingeniería, que no existe en el perfil de los actuales planes de estudio de marcado carácter utilitarista, donde la referencia a la historia no encuentra lugar al contrario que en otras disciplinas técnicas como la arquitectura, las ciencias exactas o la medicina, que han valorado más su herencia histórica. Por fortuna, en los últimos años, abundan investigaciones paralelas sobre la llamada arqueología industrial, un aspecto más de la Historia de la Ingeniería que, poco a poco, va consolidándose como disciplina.

De la investigación que llevamos a cabo han surgido tesis doctorales, artículos y comunicaciones a congresos, por lo que nos remitimos a ellos con el objeto de no caer en reiteraciones. En el apartado Referencias citamos, entre otros textos, algunas comunicaciones presentadas a los congresos de Ingegraf, porque su consulta será más asequible para nuestra comunidad científica.

Por las limitaciones propias de este tipo de trabajos, nos vemos obligados a ser tremendamente escuetos tanto en el texto como en la reproducción de imágenes. Sentimos no poder presentar los muchos ejemplos que hemos localizado tanto en la península como en el conjunto de los territorios españoles de ultramar. Tampoco es posible analizar con profundidad cada uno de esos modelos.

## 2. Recursos gráficos para representar el relieve del terreno

Para facilitar la lectura de esta comunicación, mencionamos brevemente los procedimientos o ingenios gráficos más habituales en el siglo XVIII para representar la orografía del terreno. Se pueden distinguir diversos métodos: perfiles abatidos, perspectiva paralela (posteriormente caballera), puntos acotados, sombreado, líneas de

máxima pendiente y curvas de configuración horizontal. Cada uno marcó una época, aunque, a veces, algunos coexistieran simultáneamente durante un cierto tiempo.

**Perfiles abatidos:** Fue el primer método para representar el relieve del terreno por ser el más intuitivo. Se ha utilizado ininterrumpidamente desde las representaciones egipcias y babilónicas hasta el siglo XIX. Además de su falta de rigor geométrico, tenía el inconveniente de ocultar una gran parte del terreno. Con este método las montañas se dibujaban en alzado o perfil lateral y se denominaban “toperas”, “montículos” e “hileras de piedras”. Estas formas adoptaban disposiciones individuales, filas y aglomeraciones, con siluetas redondeadas, puntiagudas, rayadas a modo de sombra, para sugerir ilusión de realidad. A veces, las siluetas de cadenas montañosas o filas de montañas, se superponían transformándose en bandas marrones, verdes o rayadas, dando la impresión de sierras redondeadas.

**Perspectiva Caballera:** Es una representación más realista de las formas del terreno aunque tampoco es científica. El punto de vista se fue elevando y el relieve se representaba utilizando figuras cuyos contornos se asemejan a perspectivas superpuestas tomadas desde un punto elevado. Este modo de representar resulta bastante arbitrario y como en el anterior oculta una gran parte del terreno.

**Puntos Acotados:** Con este sistema la superficie del terreno está perfectamente definida desde el punto de vista geométrico, pero la representación no es clara ni expresiva porque es difícil interpretar una nube de puntos acotados. Cuando el terreno es accidentado su definición precisa no puede obtenerse sino es con una multitud de puntos acompañados de sus respectivas cotas, solución que es generalmente incompatible con la representación clara de la planimetría. Este procedimiento se usa, casi exclusivamente, en los mapas marítimos debido esencialmente al espacio disponible. En los planos topográficos, los puntos acotados tienen el papel de facilitar la identificación de las cotas de las curvas de nivel o hipsóisis, y de señalar la altitud de puntos destacables de la orografía (cimas, picos, etc.) y de la planimetría (pasos a nivel, encrucijadas, etc.).

**Sombreado:** El primer método con el que se obtenía una cierta sensación de relieve fue el sombreado, que ya se aplicaba en los mapas dibujados en perspectiva para provocar la ilusión óptica del relieve. En efecto, cualquier cuerpo expuesto a la luz presenta unas partes más o menos iluminadas y otras en sombra, lo cual contribuye a la percepción de su volumen. Durante el siglo XVIII se representó el relieve plásticamente por medio del sombreado. En los mapas y planos originales, por lo general iluminados en colores a la acuarela, se conseguían las sombras por manchas de color más o menos oscuras según la orientación y la pendiente estimada de las laderas.

**Líneas de máxima pendiente:** Este procedimiento empezó a utilizarse en la segunda mitad del siglo XVIII. Consistía en dibujar las líneas de máxima pendiente de las laderas desde las divisorias a las vaguadas. Permitía efectos de sombreado juntando más o menos las líneas o engrosando sus trazos, pero sin tener en cuenta las reglas de iluminación oblicua. El sistema no refleja las formas reales del terreno, ni las diferencias de altitud, ni el valor de las pendientes. No había ninguna regla para relacionar la intensidad de las sombras de las líneas con el valor de las pendientes.

Para dibujarlas, los topógrafos no tomaban ninguna medida de nivelación sobre el terreno ni determinaban cotas aisladas, sino que se limitaban a esbozar la dirección de las líneas en el momento del trazado, por lo que su representación sólo poseía un valor cualitativo, nunca cuantitativo. Era adecuado para representar terrenos montañosos y depresiones alargadas y estrechas, pero fallaba en los suelos ondulados -en los que el relieve quedaba exagerado- y en las llanuras con modestas elevaciones aisladas.

**Curvas de configuración horizontal del terreno:** Son el precedente de las curvas de nivel. Simulan la intersección del terreno con planos horizontales y manifiestan las inflexiones del suelo con sus entrantes y salientes. Se croquizaban sobre el propio terreno en el curso de los levantamientos y después, en el posterior dibujo del mapa se combinaban, a veces, con las líneas de máxima pendiente, con el sombreado, o con ambos a la vez.

### 3. Los proyectos de ingeniería civil en el siglo XVIII

En el siglo XVIII, cuando se redactaban proyectos de ingeniería civil o militar, se estudiaba la topografía del lugar. El proceso de los ingenieros militares para levantar fortalezas era un ejemplo de precisión y un modelo para las demás obras públicas. En su *Tratado de Fortificación*, Sánchez Taramás, lo describe:

“Quando el Soberano resuelva la construcción de una Fortaleza, es necesario que un ingeniero pase a examinar el Terreno donde se ha de establecer, levantando su correspondiente Plano con especial cuidado y exactitud, dándole proporcionada escala para que comprenda a lo menos hasta el alcance del Cañon sobre las Obras mas avanzadas; junto con varios Perfiles, que expresen bien las desigualdades, y naturaleza del Terreno. Asimismo, si hubiese en las inmediaciones de la Plaza algun Rio, Mar, o Lago, no solo se ha de marcar la extensión, y margenes del agua en todo lo que diga relacion al Mapa; sino tambien se ha de señalar el sondéo, o medicion de sus profundidades, a fin que se pueda hacer concepto de la clase de Embarcaciones que admitirá. Igualmente se ha de señalar con claridad y primor, así los Montes o Terrenos elevados que se encuentren, como las Cercas o Vallados, y Caminos hondos que se comprendan en aquel espacio; notando entrambas circunstancias en el Plano, y los Perfiles, para que la irregularidad del Terreno sea distintamente representada”.

Terminado el levantamiento topográfico con los planos y perfiles del terreno, los “presentará al Ingeniero al Gefe de quien haya recibido la comision; el qual nombrará otros tres, o quatro Ingenieros de los mas habiles, para que vuelvan a examinar, y reconocer el Terreno, confrontando con él, y sus particularidades, corrigiendo lo que no hallen bien representado y explicado: y quando todos estén perfectamente instruidos, formarán de comun acuerdo el Plano de las Fortificaciones. Despues que todos estén convencidos en un dictamen, deberán formar un nuevo Plano, y sus correspondientes Perfiles sobre escalas sensibles, para que se manifiesten, y perciban con claridad todas las circunstancias del Proyecto”.

A continuación, reproduciremos los planos de alguna de las obras de ingeniería española más significativas del siglo XVIII, agrupadas por especialidades, con el sistema utilizado para representar el relieve del terreno en el entorno de la obra.

### 3.1. Fortificaciones

En el siglo XVIII, con la creación de las Academias Militares, tuvo un gran auge el desarrollo de las fortificaciones. Se editaron numerosos tratados para el levantamiento de planos de los edificios civiles y militares. Para detallar estas construcciones se determinaban planos de perspectivas, alzados y secciones donde se definían las diferentes partes de la edificación, así como los taludes de terraplenes y desmontes. En la fig. 1, se muestra una lámina del tratado de Antonio Gabriel Fernández, Profesor en el Real Seminario de San Telmo, para el uso de los caballeros Guardias marinas, sobre la forma de levantar los planos para representar el terreno.

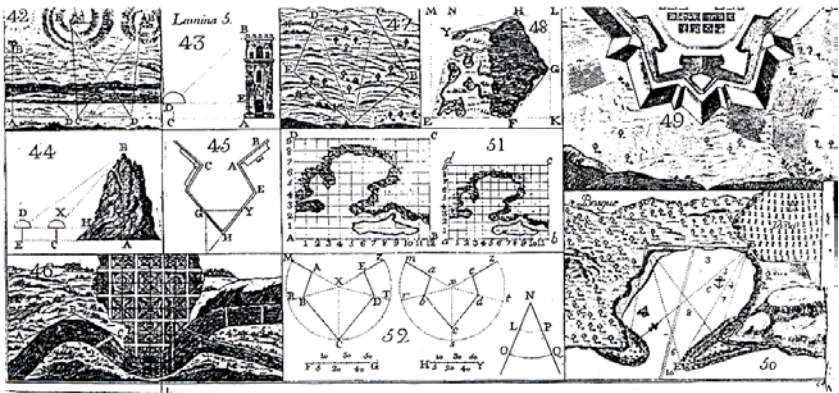


Figura 1.- Representación del terreno. Antonio Gabriel Fernández, 1778.

### 3.2. Puentes

En el segundo tomo del tratado de Sánchez Taramás, sobre los puentes de piedra, puertos, esclusas, canales de navegación, etc., incluye láminas con puentes de mampostería. Esos puentes aunque son anteriores al XVIII, se ponen como ejemplo de esbeltez y belleza, como el de Almaraz (fig. 2) en el que contrasta la exactitud en el dibujo de planta y alzado, con la imprecisión en la representación del terreno, algo común a los planos de la época ya que todavía no se conocía el Sistema Acotado. En la planta el relieve del terreno se representa con curvas de configuración horizontal.

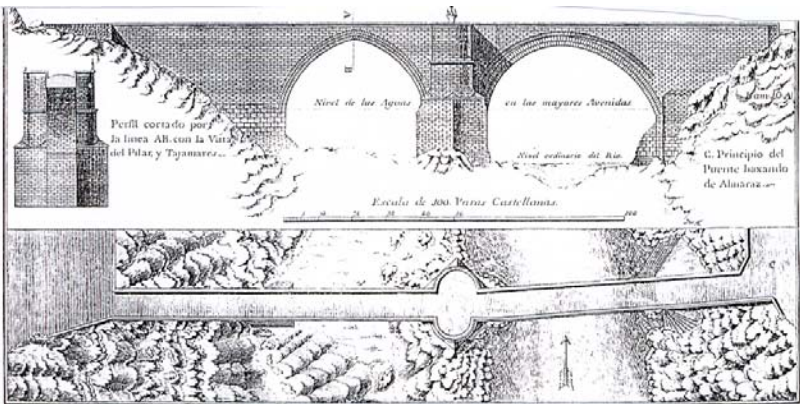


Figura 2: Puente de Almaraz. 1552. Sánchez Taramás, 1769.

### 3.3. Caminos

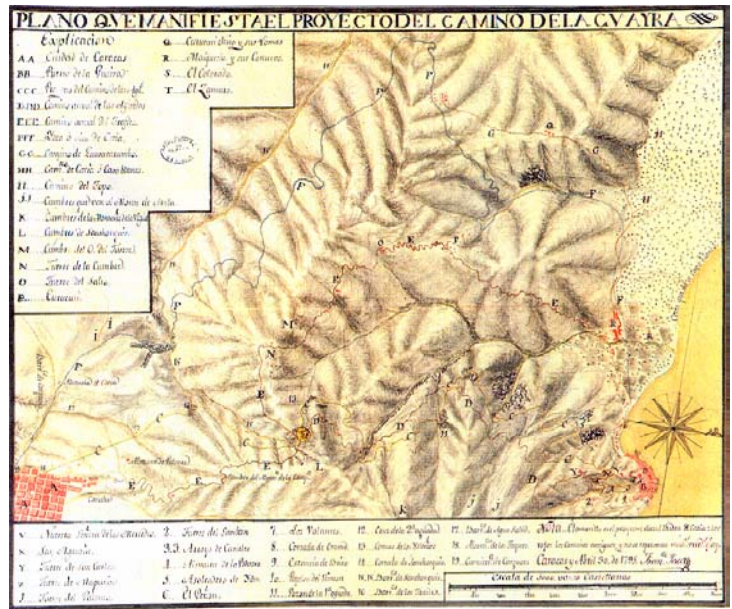


Figura 3: Camino entre La Guaira y Caracas. F. Jacot. 1795  
 Archivo General de Indias, Venezuela, n° 235.

### Camino entre La Guaira y Caracas

El “Camino Real” entre Caracas y La Guaira, principal puerto de exportación de cacao, fue un camino de gran importancia en la época colonial. Tenía cinco leguas y se podía recorrer, montando buenas mulas, en tres horas en sentido ascendente, desde La Guaira a Caracas, y tan sólo dos en sentido contrario. En un principio, fue un difícil camino con fuertes pendientes y pasos peligrosos que, a lo largo del virreinato, se amplió y se empedró para evitar el polvo y el barro, aunque no llegó a ser transitado por cuadrillas de carros. La pavimentación del camino se realizó a finales del XVIII bajo la dirección del ingeniero militar Francisco Jacot. El relieve del terreno se representa con líneas de máxima pendiente combinadas con sombreado e iluminación procedente del mediodía.

### 3.4. Puertos.

#### Arsenal de El Ferrol.

La elección, en el reinado de Felipe V, de la ría de El Ferrol para emplazar el Arsenal de la Armada, supuso la ubicación en la ciudad, en 1749, del Departamento Marítimo del Norte. Desde los años treinta del siglo se elaboraron diferentes proyectos para ubicar el astillero y el nuevo puerto, eligiéndose el frente de la ciudad como emplazamiento definitivo. En el plano, aparece dibujada la línea de litoral en verde y, en amarillo, el límite de navegación segura para no embarrancar. Aunque no aparecen puntos batimétricos, esa línea hubiera sido imposible de trazar sin haberlos tomado. El relieve del terreno se representa con sombreado con luz de poniente.



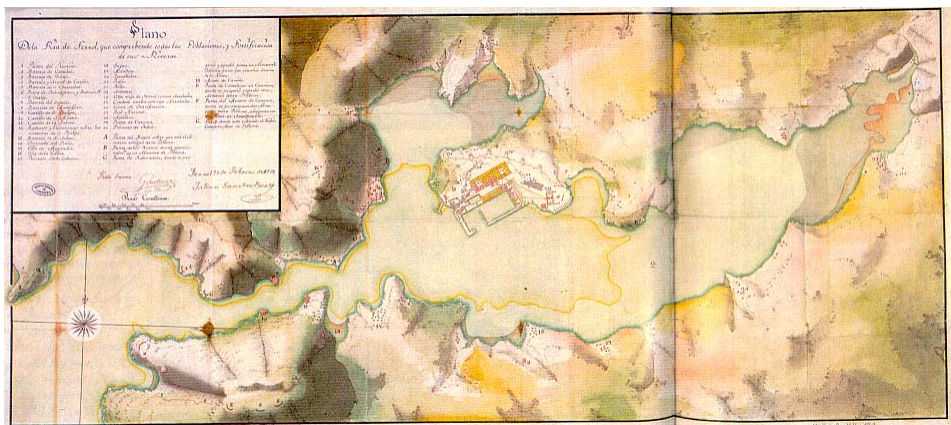


Figura 4: Planta Proyecto del Arsenal de El Ferrol. Julián Sánchez Bort. 1765. Archivo General de Simancas, M.P. y D., IV-92.

## Astillero de Mahón

La planimetría del astillero es rigurosa y la altimetría está limitada a algunas cotas batimétricas en las proximidades de la costa. El relieve del terreno se representa mediante curvas de configuración horizontal.

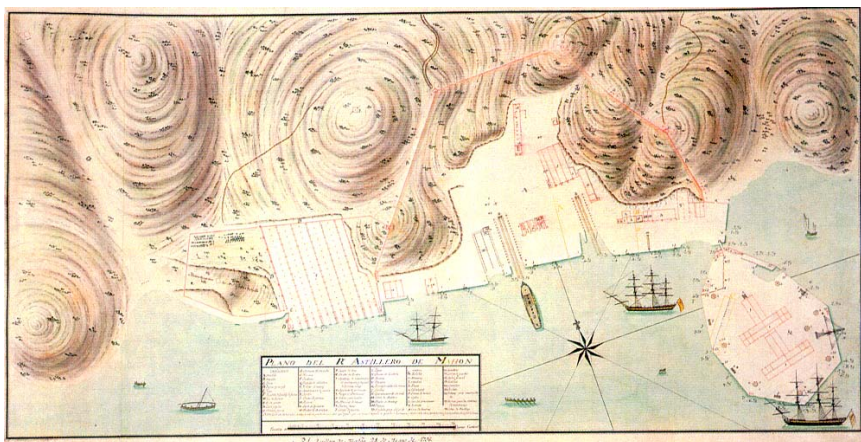


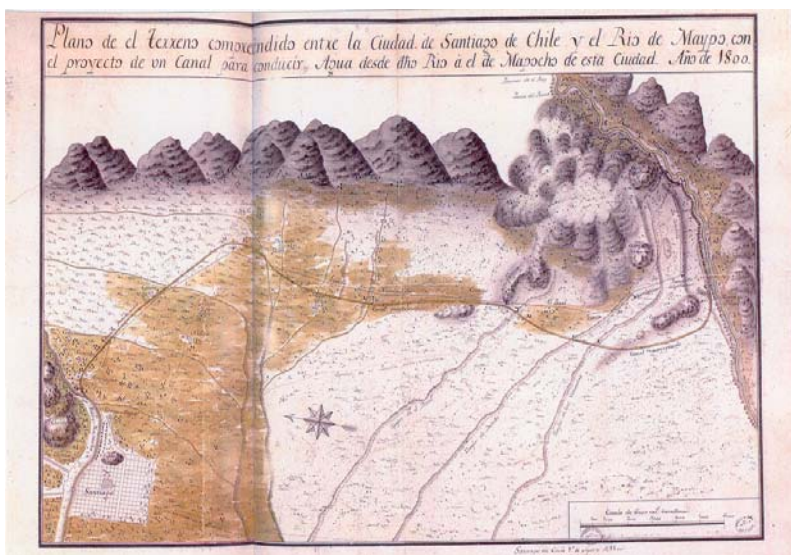
Figura 5: Real Astillero de Mahón. M. Berstenenz. 1796. SGE., Islas Baleares, nº 146.

## 3.5. Obras hidráulicas

### Abastecimiento de aguas a Santiago de Chile

Fue la obra más notable de la ingeniería hidráulica colonial. Ya en 1571, se contempló la posibilidad de construir un canal para trasvasar las aguas del río Maipo al Mapocho, pero hasta el siglo XVIII no se hizo realidad. El primer proyecto terminado en 1766, fue un fracaso por la excesiva pendiente longitudinal del canal que al entrar en servicio erosionó el cauce y los taludes, demasiados escarpados, provocando derrumbes que lo inutilizaron.

En 1796, el ingeniero militar Agustín Cavallero, hizo un proyecto realista del que se conservan varios planos (fig. 6). Cavallero proyectó un trazado deliberadamente ondulante para conseguir mayor longitud de recorrido y así reducir la pendiente media y disminuir la velocidad del agua, con lo que se evitaba la erosión causa fundamental de los anteriores fracasos. Las obras se terminaron en 1816. Desde entonces y hasta hoy, su importante caudal ( $13 \text{ m}^3/\text{sg.}$ ) fertiliza las resacas tierras cercanas a la capital, sin haber sufrido modificaciones importantes. La cordillera andina se representa de tres maneras: en planta mediante curvas de configuración horizontal, en el valle del río Maipo donde se inicia el canal; a vista de pájaro en la orilla izquierda del río; y en perfil abatido para simular su impactante presencia.



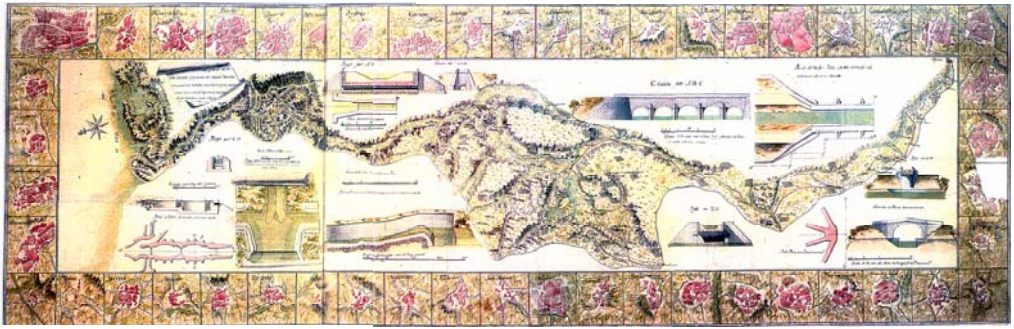
*Figura 6: Abastecimiento a la ciudad de Santiago de Chile. Agustín Cavallero. 1800. Archivo General de Indias, Perú y Chile, n° 141.*

## Canal de Castilla

Para facilitar la exportación de los excedentes agrarios de la meseta castellana y romper su aislamiento físico y económico se pensó, ya en el siglo XVI, abrir canales de navegación y aprovechar para ello el caudal de los ríos de la zona. Se encargó el proyecto al ingeniero francés **Carlos Lemaure**. Partiendo de las aportaciones de Lemaure, Antonio de Ulloa preparó el proyecto de cuatro canales, que después quedaron convertidos en los tres ramales que hoy existen: el del norte, alimentado con las aguas del Pisuerga, que une Alar del Rey con Calahorra; el ramal de Campos, que se nutre de las aguas del río Carrión y une Calahorra con la dársena de Medina de Rioseco, y el tramo sur, que lleva sus aguas hasta la dársena de Valladolid.

Las obras comenzaron en 1753 y concluyeron en 1849, después de grandes dificultades técnicas, presupuestarias y de guerras. En el plano se definen las obras de fábrica proyectadas y se adjuntan las plantas de las localidades por las que discurre. Para representar el terreno se utilizan entre otros recursos las curvas de configuración horizontal.

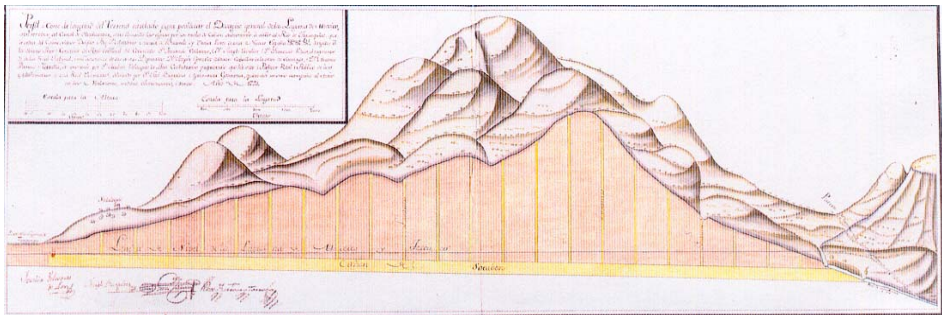




*Figura 7: Plano del Canal de Castilla. Carlos Lemaury y Juan de Homar. 1791. Archivo Ministerio de Fomento, OH-7.*

## Canal desagüe de México capital

En 1773, se consultó al científico Velázquez de León la posibilidad de llevar a cabo un desagüe de la cuenca de la Ciudad de México. Para estudiar su viabilidad, Velázquez de León realizó nivelaciones en toda la cuenca, utilizando tanto las técnicas convencionales como métodos de triangulación más modernos y exactos. Conocidos los resultados, se descartó la posibilidad de profundizar el viejo desagüe, inclinándose por la idea de construir uno nuevo. El perfil que levantó incluye escalas gráficas diferentes para las longitudes y alturas, de la misma forma que en la actualidad.



*Figura 8: Perfil longitudinal del desagüe general de la laguna de México. Joaquín Velázquez de León. 1774. Servicio Geográfico del Ejército, México, n° 53.*

## 4. Conclusiones o Consideraciones Finales

El siglo XVIII supuso un avance decisivo en el estudio y medida de la tierra, en el empleo de triangulaciones cada vez más densas y en el progreso de la Geodesia y de la Cartografía, considerada por entonces geométrica. En los documentos de las diferentes obras de ingeniería que se conservan, contrasta la exactitud de su planimetría con la imprecisión en la representación del terreno, algo común a los planos de la época ya que todavía no se conocían los procedimientos geométricos para representar con rigor la orografía. Los recursos intuitivos para representar las superficies topográficas: perfiles abatidos, perspectiva caballera, puntos acotados, sombreado, líneas de máxima pendiente y curvas de configuración horizontal, darán paso, a comienzos del XIX, a las normales y a las curvas de nivel. Estos dos métodos, especialmente el

segundo, se consolidarán definitivamente con la sistematización y difusión del Sistema Acotado en la primera década del siglo XIX.

El patrimonio documental español de planos de obras públicas civiles o militares del siglo XVIII, además de ser muy abundante, es de gran belleza porque ya se dominan perfectamente tanto las técnicas de levantamiento como las gráficas del lavado de planos. Es sorprendente la cantidad de obras que se hicieron en la América hispana en comparación con el escaso número del territorio peninsular.

## Referencias

FERNÁNDEZ, Antonio Gabriel. *Compendio de la Geometría Elemental, Especulativa y Práctica. Forma de levantar, lavar los planos y modo de hacer las tintas para su manejo*. Sevilla, 1778.

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio. *Ingeniería española en Ultramar (siglos XVI-XIX)*, Volumen II. Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Madrid, 1992.

–*Obras Hidráulicas en América Colonial*. Madrid, 1993.

–*Puertos Españoles en la Historia*. Madrid, 1994.

LEÓN CASAS, Miguel Ángel, *El Sistema de Planos Acotados: Historiografía de un convencionalismo gráfico y su aplicación a la ingeniería civil*. Universidad de Granada, Granada, 2000.

LEÓN CASAS, Miguel Ángel; SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de; ALDAYA GARCÍA, Víctor Pablo; LEÓN ROBLES, Carlos. *La representación de la orografía del territorio a lo largo de la historia*. Actas XIII Congreso Ingegraf, Badajoz, 2001.

PALADINI, Ángel. “La representación del relieve en los mapas a lo largo de la Historia”. *Servicio Geográfico del Ejército. Boletín de Información* pp.11-49, nº 72. Primer semestre, 1991.

ROULEAU, Bernard. *Methodes de la Cartographie*. CNRS. París, p.127.

RUMEU DE ARMAS, Antonio. *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada. La Escuela de Caminos y Canales*. Madrid, 1980, pp. 60-61.

SAN ANTONIO, C., CARDONE, V.; IANNIZZARO, V.; LEÓN CASAS, M A., *El Álbum Royaume de Naples: Un ejemplo de la representación arquitectónica y cartográfica en los albores del siglo XVIII*, Abstracts and CD, Convegno XIII ADM–XV Ingegraf, Napoli, 2003.

SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de, LEÓN CASAS, Miguel Ángel, *La cartografía aplicada a la representación de las obras públicas españolas. Siglos XVI y XVII*. Actas XIV Congreso Ingegraf, Santander, 2002.

SÁNCHEZ TARAMÁS, Miguel. *Tratado de Fortificación, o Arte de construir los Edificios Militares y Civiles*, Tomos primero y segundo. Barcelona, 1769.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN MEDIOAMBIENTAL DISPONIBLE DEL PARQUE NATURAL SIERRA DE HORNACHUELOS, EN UN SIG ENFOCADO AL SECTOR APÍCOLA

HIDALGO FERNÁNDEZ, Rafael E. (1); GUTIÉRREZ DE RAVÉ AGÜERA, Eduardo (1);  
MORAL GARCÍA, Francisco Jesús (2); JIMÉNEZ HORNERO, Francisco J. (3); SERRANO  
JIMÉNEZ, Salud. (4)

Universidad de Córdoba, España

<sup>(1)</sup>Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Gráfica. [ig1hifer@uco.es](mailto:ig1hifer@uco.es) ; [ir1gurae@uco.es](mailto:ir1gurae@uco.es)

<sup>(4)</sup>Facultad de Veterinaria. Departamento de Bromatología y Tecnología de Alimentos. [bt2sejis@uco.es](mailto:bt2sejis@uco.es)

Universidad de Extremadura, España

<sup>(2)</sup>Escuela de Ingenierías Industriales, Departamento de Expresión Gráfica. [fj.moral@unex.es](mailto:fj.moral@unex.es)

<sup>(3)</sup>Universidad de Castilla La Mancha. [jihof@arrakis.es](mailto:jihof@arrakis.es)

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio preliminar para la creación de un modelo de información geográfica acerca de las variables más significativas en el proceso de obtención de miel (aplicadas a la caracterización de dichas mieles) en el Parque Natural “Sierra de Hornachuelos” (Sierra Morena), y que permita la toma de decisiones a la vez que asiente las bases para una posible Denominación Geográfica Protegida. Para ello se ha utilizado información medioambiental disponible y se ha recurrido a técnicas de interpolación en aquellas variables que lo han permitido. Para las variables que se consideran prioritarias y de las que actualmente no se dispone de información, se establece una metodología de trabajo para su inclusión en el modelo.

**Palabras clave:** Sistema de Información Geográfica; miel; modelo.

## ABSTRACT

The objective of this paper is to design and develop a Geographic Information System (GIS) with the most important variables about honeybee management practices in national park “Sierra de Hornachuelos”. This study used available information and geostatistical methods are applied to analyze the spatial distribution some variables.

**Key words:** Geographic Information Systems, honey, model.

# 1. Introducción

Sierra Morena es una larga cadena montañosa que recorre Andalucía de este a oeste. Está formada por montañas de mediana altura. A ella pertenecen las sierras de Aracena (Huelva), de los Santos (Córdoba) y la de Andújar (Jaén). Se trata de una zona aislada donde la riqueza de la flora confiere una característica singular y única a las mieles que produce. Incluye los siguientes parques naturales (P.N.): P.N. Sierra de Aracena y Picos de Aroche en Huelva, P.N. Sierra de Hornachuelos y P.N. Sierra de Cardeña y Montoro en Córdoba; P.N. de Sierra de Andújar y P.N. Despeñaperros en Jaén; y por último el P.N. De Sierra Norte en Sevilla.

El uso de Sistemas de Información Geográfica en otros sectores agroganaderos a demostrado ser una herramienta eficaz, así, el **SIG oleícola** del MAPA gestiona el pago de ayudas y subvenciones. También el SinambA integra la información medioambiental de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente).

El modelo de explotaciones oleícolas de la Junta de Andalucía integra información parcelaria, de producción, y socioeconómica que ha servido a la Consejería de Agricultura y Pesca en la toma de decisiones para la actual reforma de la OCM del aceite de oliva.

En el ámbito que nos ocupa, la producción apícola, son pocas las aplicaciones SIG realizadas hasta el día de hoy, si bien pudiera servirnos como referencia el estudio realizado (Master of Arts In Geography) por Bellavance J. P. (1999) de la Eberly College of Arts and Sciences at West Virginia University que supone un completo análisis del manejo integral de la situación de la explotación apícola.

Una aplicación inmediata de nuestro estudio podría ser la obtención de la denominación Indicación Geográfica Protegida<sup>1</sup> para la miel obtenida en dicho paraje. En España actualmente en este sector es denominación de origen protegidas<sup>2</sup>, la “Miel de la Alcarria”, e indicación geográfica protegida la “Miel de Galicia” y la “Miel de Granada”.

El modelo comprende aquellos factores naturales que influyen directamente en el producto (Bellavance, j.p, 1999) como son la orografía del terreno, los factores

---

<sup>1</sup> Nombre geográfico de una región, o de un lugar determinado que se emplea para designar un producto agrícola o alimenticio, originario de ese lugar, que posea una reputación que pueda atribuirse a dicho origen geográfico, en el que se habrá realizado al menos la producción, transformación y/o elaboración de acuerdo a unos criterios de calidad preestablecidos.

<sup>2</sup> Nombre de una región, o de un lugar determinado que se emplea para designar un producto agrícola o alimenticio de dicha procedencia y que tiene una calidad o unas características debidas al medio geográfico en que se realiza la producción, transformación y elaboración de acuerdo a unos criterios de calidad preestablecidos.

climáticos, la capacidad productiva del suelo, los usos del suelo y la ubicación de las colmenas y de las especies melíferas. En el momento actual, se han incluido aquellas variables disponibles, ya sea directamente o utilizando métodos de interpolación para aquellas variables regionalizables (Goovaert, 1977) en la zona de interés. La ubicación de las colmenas y la vegetación (especies arbóreas), que se consideran variables esenciales y que se tiene pensado su levantamiento en campo, no se han incluido, aunque para facilitar su obtención, se aporta información adicional de interés como los núcleos de población, carreteras, vértices geográficos, etc.

El objetivo de este trabajo es conseguir un modelo con información medioambiental enfocado al sector apícola en el parque natural “Sierra de Hornachuelos” ubicado en la Sierra Morena cordobesa, de cara a la obtención de variedades de miel de alta calidad, aprovechando su condición de área protegida.

## **2. Material y Métodos**

A continuación se detallan las variables que integran el modelo:

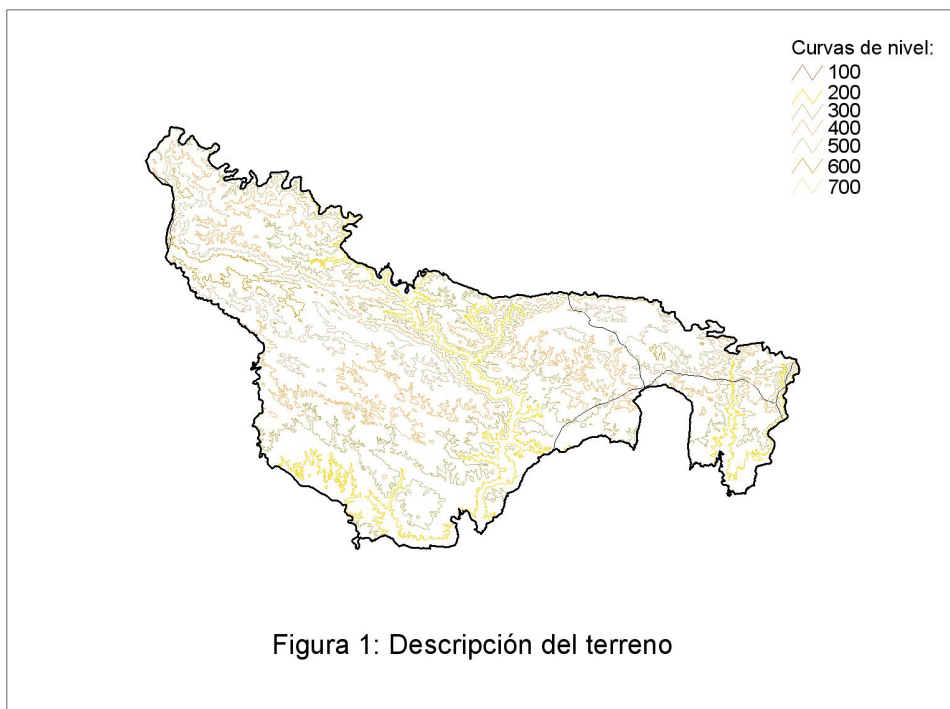
**2.1.- Descripción del parque natural y su orografía.** Actualmente, el citado Parque Natural, designado como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) en el año 1989, conforme a la Directiva 79/409/CEE, del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres, forma parte de la red ecológica europea “Natura 2000” instaurada por la Directiva 92/43/CEE, del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

Además, se encuentra incluido en la propuesta de la Comunidad Autónoma de Andalucía de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), conforme a la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992. Por otra parte, este espacio, forma parte de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena, declarada el 7 de noviembre de 2002.

El Parque Natural Sierra de Hornachuelos se localiza en la vertiente meridional de la Sierra Morena Occidental, en la provincia de Córdoba. Limita al oeste con el Parque Natural Sierra Norte de Sevilla, siendo la frontera natural entre ambos espacios protegidos el río Retortillo; al norte con la cuenca del Bembézar, al este con el río Guadiato y al sur con el valle del Guadalquivir. El espacio natural así definido tiene una superficie aproximada de 67.202 hectáreas.

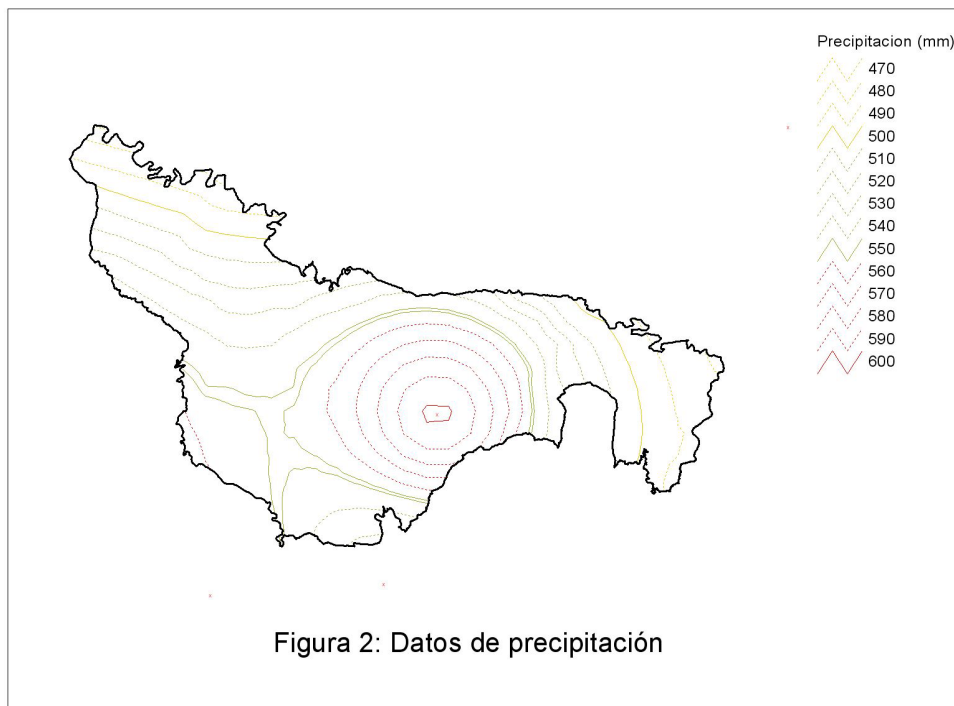
A partir de esta delimitación geográfica del parque natural se construirá el modelo para esta zona geográfica considerada. Este espacio protegido engloba 5 términos municipales, todos ellos de forma parcial. La estructura del territorio y su articulación interna han venido determinadas tradicionalmente por la escasez de población y la poca aptitud de estos terrenos para la agricultura.

Para una caracterización completa del terreno se incluye el Modelo Digital del Terreno que describe tridimensionalmente la zona. El MDT empleado en los trabajos de elaboración de este estudio ha sido desarrollado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía a partir de información a escala 1:50.000. Todo ello queda reflejado en la figura 1.



**2.2.- La precipitación.** Los datos de precipitación de partida provienen del Instituto Nacional de Meteorología (INM), por ser éste el organismo que dispone de una mayor cantidad de datos y con una red de estaciones meteorológicas distribuidas correctamente a lo largo de la geografía andaluza. Esta red está formada por estaciones con distinta capacidad de captura de información, tanto en magnitudes recogidas como en la resolución temporal de las mismas. En el modelo se han incluido datos pluviométricos comprendidos entre 1997 y 1998. Una vez recibida la información, se seleccionaron 281 estaciones meteorológicas operativas en el mismo periodo de tiempo en Andalucía. El proceso con el que se consiguieron la isoyetas (puntos con igual valor de precipitación) fue la interpolación (Moral García, 2003) mediante el software del programa ArcView de los valores de precipitación en las estaciones meteorológicas localizadas en el plano mediante sus coordenadas UTM (figura 2).

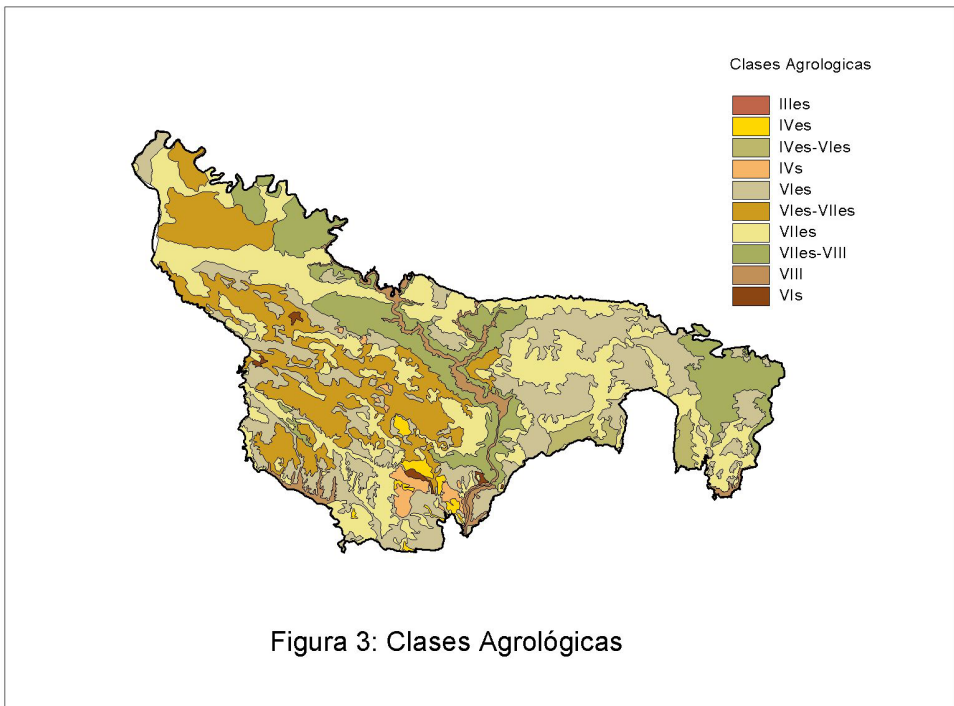




**2.3.- Capacidad productiva del suelo.** Viene dada por la variable “clases agrológicas”, facilitada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (figura 3). Esta variable incorpora dos características claves de la explotación como son la capacidad productiva y el riesgo de pérdida de esta capacidad. Se distinguen fundamentalmente ocho clases, en función de los valores que adoptan ciertos caracteres que se tienen en cuenta para la clasificación, que irían en orden creciente desde suelos que no presentan limitaciones que restrinjan su explotación o éstas son muy pequeñas hasta suelos que no admiten otra explotación más que la reserva natural. Los suelos cultivables se incluyen en las primeras cuatro clases:

- Clase I: incluye suelos que no presentan limitaciones que restrinjan su explotación o éstas son muy pequeñas.
- Clase II: incluye suelos que presentan alguna limitación que restringe la gama de plantas cultivables, y/o hacen necesario el empleo de prácticas de conservación moderadas.
- Clase III: incluye suelos con limitaciones más severas que los anteriores pero en los que es factible aplicar sistemas de laboreo permanente o de cualquier otro tipo.
- Clase IV: es la última de las clases cultivables y la inclusión de un suelo en ella supone que existen limitaciones tan severas como para posibilitar solamente el cultivo de dos o tres especies, con producciones (en kilogramos por hectárea) bajas en relación con los gastos de cultivo, y/o que se trata de suelos que requieren un manejo

muy cuidadoso. En esta clase se incluyen sistemas de explotación desde el laboreo ocasional a la reserva natural.



- Clase V: esta clase, junto con las VI y VII son susceptibles de explotación mediante pastoreo, explotación forestal y/o reserva natural. Los suelos que pertenecen a esta clase se caracterizan porque no presentan riesgos de erosión o estos son muy pequeños, pero tienen otras limitaciones que aconsejan su explotación orientada al aprovechamiento de pastos, bosques o reserva natural. Dichas limitaciones derivan de la situación desfavorable en que se presentan alguno o todos los caracteres edáficos y/o climáticos.

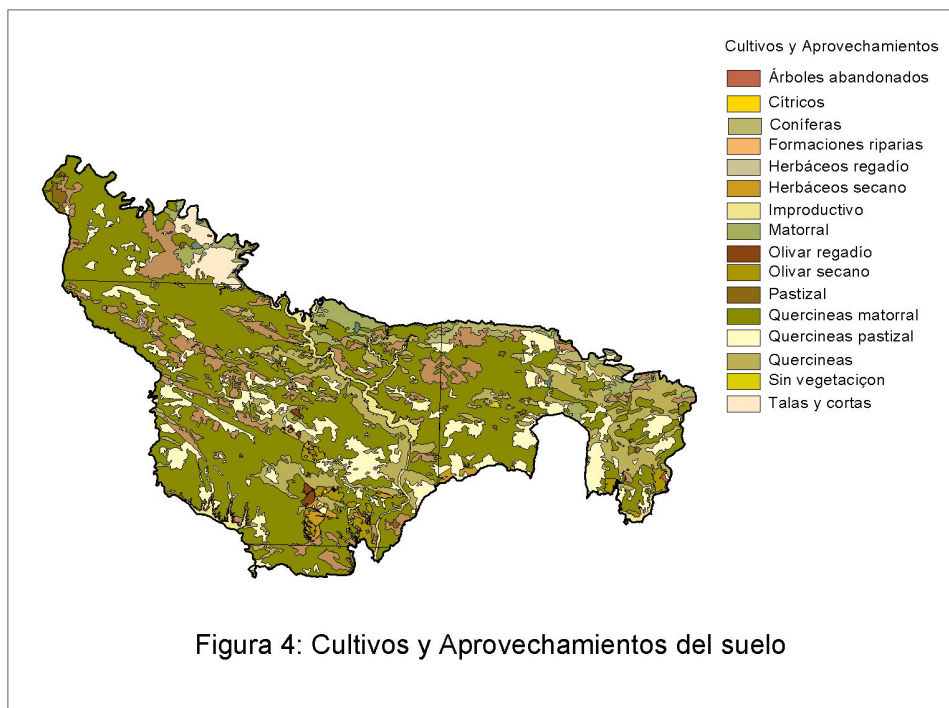
- Clases VI: estos terrenos deben someterse a un severo control de conservación por lo que su aprovechamiento racional debe encaminarse fundamentalmente a fines ganaderos, haciéndose laboreo ocasional en las áreas de mayor fertilidad. En el olivar se aconseja el no laboreo o adehesamiento.

- Clase VII: están incluidos en esta clase todos los terrenos que no son apropiados para un laboreo sistemático ni ocasional y en los que se restringen las acciones de mejora tendentes al mantenimiento de una vegetación herbácea permanente, si bien se trata de suelos aptos para mantener una vegetación permanente de tipo arbóreo.

- Clase VIII: se incluyen en esta clase todos los terrenos improductivos desde el punto de vista agrario cuyas limitaciones son tales que solo se pueden destinar a recreo, reserva natural, abastecimiento de agua, etc.

**2.4.- Cultivos y aprovechamientos del suelo.** El sector que adquiere mayor protagonismo es el primario, y dentro de éste fundamentalmente los subsectores forestal, ganadero y cinegético. La agricultura tiene claramente un papel secundario debido a la irregular orografía del terreno y la pobreza de los suelos, que han supuesto importantes limitaciones para el sostenimiento de dicha actividad.

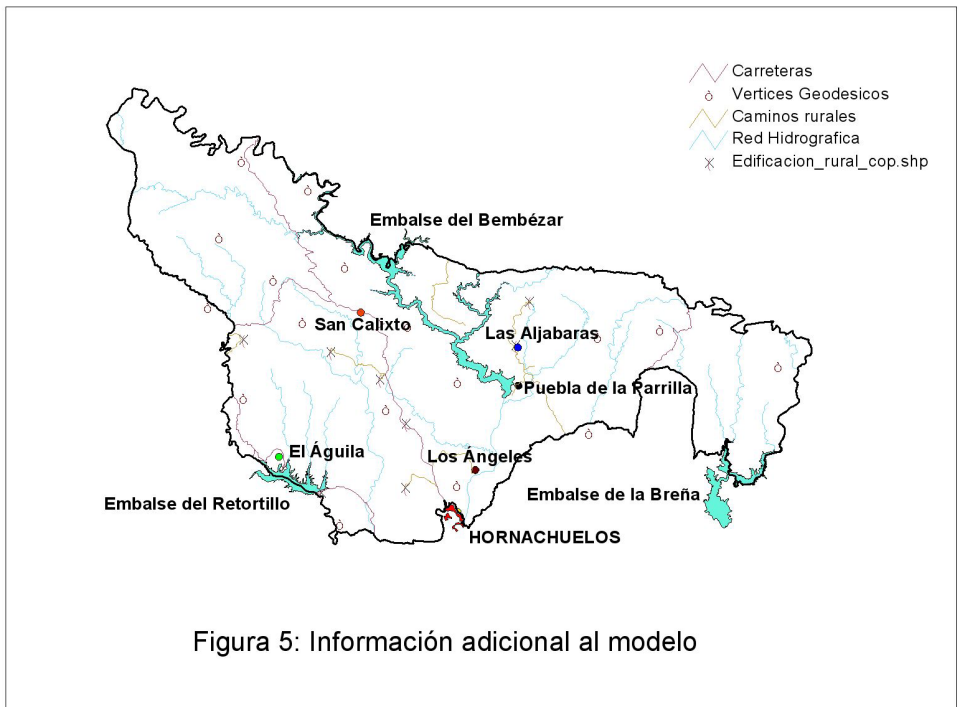
En cualquier caso esta información es de mucha utilidad para el modelo ya que incorpora la ubicación y superficie de los distintos cultivos que pueden facilitar la ubicación de colmenas móviles en el territorio para conseguir mieles de unas u otras características función del cultivo donde se ubiquen (figura 4).



**2.5.- Fuentes melíferas autóctonas y ubicación de colmenas.** Por último se han incluido una serie de capas que serán de utilidad en la segunda fase de levantamiento en campo. En esta segunda fase se tendrán que ubicar perfectamente en el plano mediante visita al campo las especies melíferas y las colmenas fijas y móviles (secuencia temporal de su ubicación) presentes en el parque natural. Las especies melíferas que se tendrán que situar en el plano son: alcornoque, encina, quejigo, lentisco, pino piñonero, acebuche, fresno, brezo, jara, madroño y aliso.

La información necesaria no disponible, se conseguirá “in situ” utilizando para ello un receptor de mano GPS que llevan incorporado un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permite la captura y mantenimiento de datos de tal forma que en cualquier momento, el SIG esté actualizado. Para optimizar las visitas a campo se ha incorporado al modelo la información adicional (figura 5):

- a) Carreteras y caminos rurales. El sistema de comunicaciones tiene una escasa red de carreteras y mayormente periférica, por lo cual el sistema de relaciones intermunicipales se ha venido organizando a través de una estructura de carreteras de segundo y tercer orden, de carácter radial y cuyo centro de confluencia es la propia capital, pero con escasa o casi nula vinculación desde el interior de este espacio protegido.
- b) Vértices geodésicos
- c) Poblaciones y núcleos de población
- d) Red hidrográfica de la zona.



### 3. Conclusiones

Como conclusión se puede afirmar que el modelo construido a partir de las fuentes de información anteriormente descritas, resulta de enorme utilidad para la integración de dichas fuentes y para el futuro ya que proporciona la estructura de partida con capacidad para absorber y tratar información adicional que pueda ir generándose con el tiempo. Todo ello permitirá profundizar en el estudio y conocimiento del sector apícola.

Se pretende que este proyecto sea un proyecto vivo en el tiempo, por lo que se automatizará lo máximo posible la introducción de los datos de campo, para conseguir una retroalimentación permanente del modelo, de tal forma que se tengan datos

actuales e históricos de las variables consideradas en dichos espacios naturales protegidos. Asimismo el sector dispondrá de la información, con lo que se persigue una mejora permanente del mismo, mediante nuevos campos (factores medioambientales, socioculturales, etc.) en base a las demandas del sector.

## **Agradecimientos**

Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero S.A. (Dap).

Empresa Provincial de Recaudación e Informática S.A. (EPRINSA).

## **Referencias**

BELLAVANCE, J.P. *A GIS Design For Honeybee Management. Prototype & Assessment*. Thesis submitted to the Eberly College of Arts and Sciences at West Virginia University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Arts in Geography. Morgantown, West Virginia, 1999.

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York. 1997.

CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. Mapa digital de Andalucía. 1:100.000, 1999.

MORAL GARCÍA, F.J. *La Representación Gráfica de las Variables Regionalizadas*. Geoestadística lineal. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Badajoz. 2003.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### APLICACIÓN DEL GPS AL CONTROL DE LA CARTOGRAFÍA CATASTRAL DE URBANA

MANZANO AGUGLIARO, Francisco (1); MONTERO RODRIGUEZ, Miguel Angel (1);  
MANZANO AGUGLIARO, Gil (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de ALMERIA, España  
Escuela Politécnica Superior  
Dpto. Ingeniería Rural  
Correo electrónico: fmanzano@ual.es

### RESUMEN

En este trabajo se analiza la problemática de la utilización del GPS en el control cartográfico, concretamente en la Cartografía Catastral de Urbana. Los principales objetivos planteados en este trabajo son: 1º La elección de un test cartográfico adecuado para el estudio de la cartografía catastral de urbana, 2º Establecer los criterios de selección de puntos de control de la cartografía a estudiar. 3º Elección del método de posicionamiento con GPS idóneo que nos permita realizar el test de control cartográfico seleccionado anteriormente. Por último se aplica el test cartográfico con la metodología propuesta a una zona de la Cartografía Catastral de Urbana del Término Municipal de Almería, para posteriormente analizar los resultados.

**Palabras clave:** GPS, Catastro, Test Cartográfico, Cartografía.

### ABSTRACT

In this work there is analyzed the problematics of the utilization of the GPS in the cartographic control, concretly in the Urban Cadastral Cartography. The principal aims raised in this work are: 1º The election of a cartographic test adapted for the study of the property cartography of urban, 2º To establish the criteria of selection of points of control of the cartography to studying. 3º Election of the method of positioning with suitable GPS that allows us to realize the test of cartographic control selected previously. Finally the cartographic test is applied by the methodology proposed a zone of the Property Cartography of Urban of Almeria, later to analyze the results.

**Key words:** GPS, Cadastre, Cartographic Test, Cartography

# 1. Introducción

El catastro es una de las mayores fuentes de información sobre el territorio de las que se dispone, la información catastral a disposición del ciudadano es de tipo alfanumérico o de tipo gráfico. La información alfanumérica generalmente se emplea para obtener estadísticas y censos, mientras que la información gráfica se emplea para extraer información espacial.

El catastro desde el punto de vista de su gestión, se estructura en Catastro de Rústica y Catastro de Urbana, en ambos una componente importante es la cartografía, y a modo de indicación las escalas más frecuentes son en Rústica la 1/2.000 y la 1/5.000, mientras que en urbana son la 1/500, la 1/1.000, y la 1/2.000.

La información catastral, esto es, las características catastrales de las parcelas, deben ser un reflejo de la realidad existente en el territorio, el cual a lo largo de los años esta sujeto a sufrir modificaciones (cambios de uso, cambio de propietario, construcción de obras civiles, etc.) que deben ser recogidas en la información catastral para evitar su desfase, hay autores (Berné, J.L 2000) que apuntan a que una cartografía catastral está obsoleta a los ocho años desde su realización. Por ello se debe procurar la obtención de cartografías catastrales cada vez más modernas y precisas para poder llevar a cabo una correcta Gestión Catastral y que esta sirva de base a otras aplicaciones.

Para que la cartografía catastral de urbana pueda servir de base a otras aplicaciones, es imprescindible que cumpla con unos estándares cartográficos de precisión, ya que de otro modo solo serviría para el fin catastral, esto es la recaudación de impuestos asociados a la propiedad de bienes inmuebles.

## 1.1. La precisión de la cartografía catastral de urbana

La ejecución de la cartografía catastral de urbana esta sometida a una regulación recogida en el “Pliego de cláusulas administrativas particulares de aplicación general y de prescripciones técnicas para la contratación de los trabajos de cartografía catastral urbana” (Subdirección General de Catastros Inmobiliarios, 2003), concretamente en el anexo 4: “Norma de cartografía catastral urbana y pliego de prescripciones técnicas para la contratación por la dirección general del catastro de los trabajos de cartografía catastral urbana”.

Dentro de la normativa descrita anteriormente se recogen las exigencias de la precisión catastral de urbana en los apartados siguientes, de donde se extrae que:

4.4.Requisitos métricos: Precisión de los levantamientos: “Con independencia, sin embargo, de las instrucciones técnicas del proceso, el resultado final del levantamiento de los detalles debe alcanzar unos rangos de precisión final en la definición de los objetos cartográficos de tipo catastral, geográfico o complementario que serán los siguientes:”

4.4.1 Precisión absoluta de los objetos cartográficos: “En estas normas la precisión absoluta se define a través de las desviaciones entre las coordenadas de los elementos representados —gráficas en versiones convencionales y numéricas en versiones informatizadas— y las coordenadas terreno de los elementos reales correspondientes, referidas al sistema que materializa la Red Local.

Cada serie catastral tiene unos requisitos métricos específicos, que se definen por dos prescripciones que deben verificarse simultáneamente.  
 Las desviaciones máximas del levantamiento son inferiores a una determinada magnitud absoluta lineal: P1.  
 Un porcentaje del 85% de los puntos y elementos del levantamiento presentan desviaciones inferiores a otro parámetro lineal: P2.

A efectos del presente Pliego se diferencian las siguientes categorías caracterizadas por sus respectivos parámetros”. Estos parámetros los recogemos en la tabla 1.

Tabla 1: Precisiones en la Cartografía Catastral de Urbana

Categoría	Escala plano	P1(cm.)	P2(cm.)
I	1/500	25	20
II	1/1000	40	30
III	1/2000	75	60

4.4.2. Precisión relativa.: “El levantamiento debe de verificar adicionalmente el siguiente requisito de precisión:

Las magnitudes lineales de un objeto cartográfico y las distancias entre puntos de entidades distintas en un radio de proximidad de hasta 100 m, se obtendrán con una tolerancia máxima de:

$$T(cm) = 20 + \frac{L^2(m)}{1000} \text{ para escalas } 1/500$$

$$T(cm) = 30 + \frac{L^2(m)}{1000} \text{ para escalas } 1/1000.$$

$$T(cm) = 60 + \frac{L^2(m)}{1000} \text{ para escalas } 1/2000.$$

Siendo L la magnitud lineal considerada, expresada en metros.”



## 1.2. Los test cartográficos.

A la hora de estudiar la calidad de una determinada cartografía, podríamos emplear diferentes técnicas, mediante estudios basados en puntos y estudios basados en geometría lineal, para este trabajo hemos optado por estudiar aquellos test que se basan en el control de la calidad posicional en cartografía mediante estudios basados en puntos.

Los test estudiados han sido (Atkinson et al 2001):

- El NMAS (National Map Accuracy Standard) (USBB, 1947). Es el test empleado por el USGS (US Geodetic Survey) desde 1947, por lo que ha sido empleado por numerosas instituciones y organismos oficiales dedicados a la cartografía.

- El test EMAS (Engineering Map Accuracy Standard) nos proporciona la exactitud de los mapas topográficos a gran escala. Este estándar ha sido desarrollado por la ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) junto con la American Society of Civil Engineers y el American Congress on Surveying and Mapping (Veregin, H. & Giordano, A., 1994)

- Test de la Fórmula de Koppe, se emplea como alternativa al test NMAS, pero tan sólo analiza la componente vertical (Z).

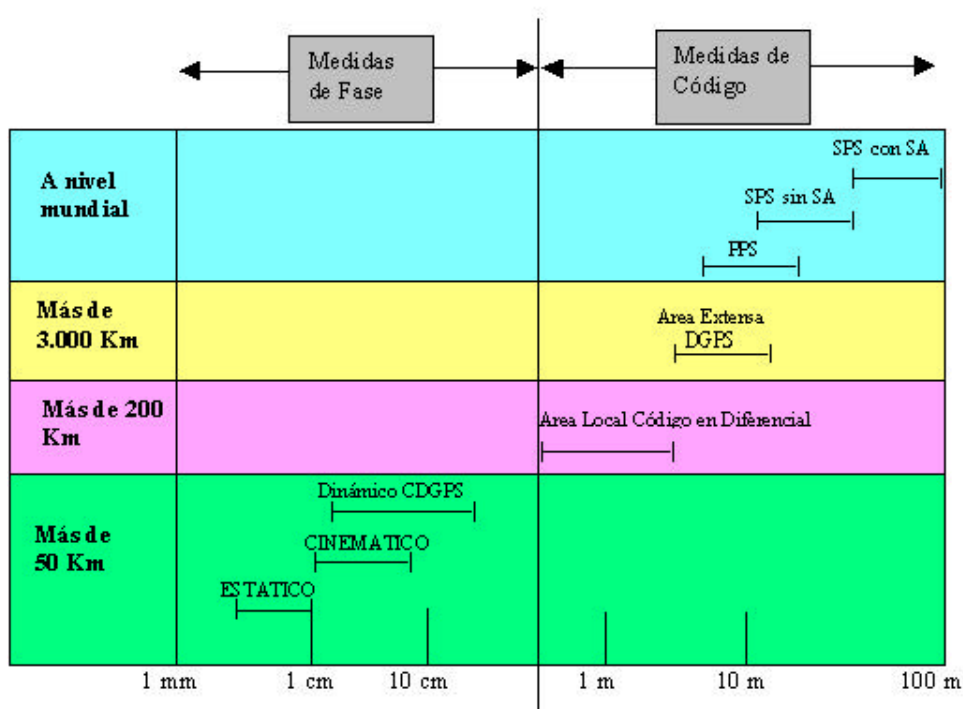
- Test del USGS de categorías de exactitud de MDT, empleado por el USGS para definir la exactitud de sus modelos digitales del terreno (MDT). La Componente posicional estudiada es la vertical (Z).

- Test NSSDA, las agencias federales de los Estados Unidos que realicen labores de producción de datos cartográficos analógicos y/o digitales han de cumplir con los estándares del FGDC de acuerdo con el NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*). (F.G.D.C., 1999).

De los test anteriores, se ha escogido el test EMAS/ASPRS Standar, debido a que principalmente nos permite la comparación de la cartografía del catastro con una fuente de mayor exactitud. En nuestro caso la fuente de mayor exactitud será el empleo de un levantamiento preciso con GPS diferencial.

## 1.3. La precisión alcanzable con GPS.

La precisión alcanzable con el GPS esta descrita ampliamente en la bibliografía, ( por ejemplo véase Manzano Agugliaro F. et al 2001, 2003), aquí solo recogeremos (figura 1) un resumen de las precisiones alcanzables en la con el GPS en modo diferencial.



*Figura 1: Precisiones alcanzables según el modo de DGPS.*

De la figura anterior se deduce que el método de posicionamiento que debemos emplear es el GPS en modo diferencial, utilizando medidas de fase y en modo cinemático o estático, por rapidez y operatividad seleccionaremos el cinemático, ya que con precisión centimétrica es suficiente para nuestros propósitos, el control cartográfico de la cartografía catastral de urbana.

## 2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es buscar una metodología de aplicación del GPS para el control cartográfico de la cartografía catastral de urbana. Para la consecución de este objetivo general nos hemos marcado los siguientes objetivos específicos:

1º La elección de un test cartográfico adecuado para el estudio de la cartografía catastral de urbana, y que sea independiente del habitualmente realizado por la normativa.

2º Elección del método de posicionamiento con GPS idóneo que nos permita realizar el test de control cartográfico seleccionado anteriormente,

3º Establecer los criterios de selección de puntos de control de la cartografía a estudiar.

- 4º Analizar si los puntos levantados con GPS pueden utilizarse directamente al estar georreferenciados o necesitan “encajarse” mediante algún tipo de ajuste planimétrico.
- 5º Analizar la precisión alcanzable por la Cartografía objeto de la aplicación con la metodología propuesta.

3. Metodología

La metodología desarrollada para este trabajo sigue el esquema de la figura 2, donde una vez seleccionado el test cartográfico a utilizarse, deben seleccionarse los puntos sobre los cuales se tendrá que hacer el levantamiento topográfico con GPS, para posteriormente proceder a compararlos con los coordenadas de esos mismos puntos obtenidas de la cartografía catastral de urbana, la cual se dispone en formato digital.

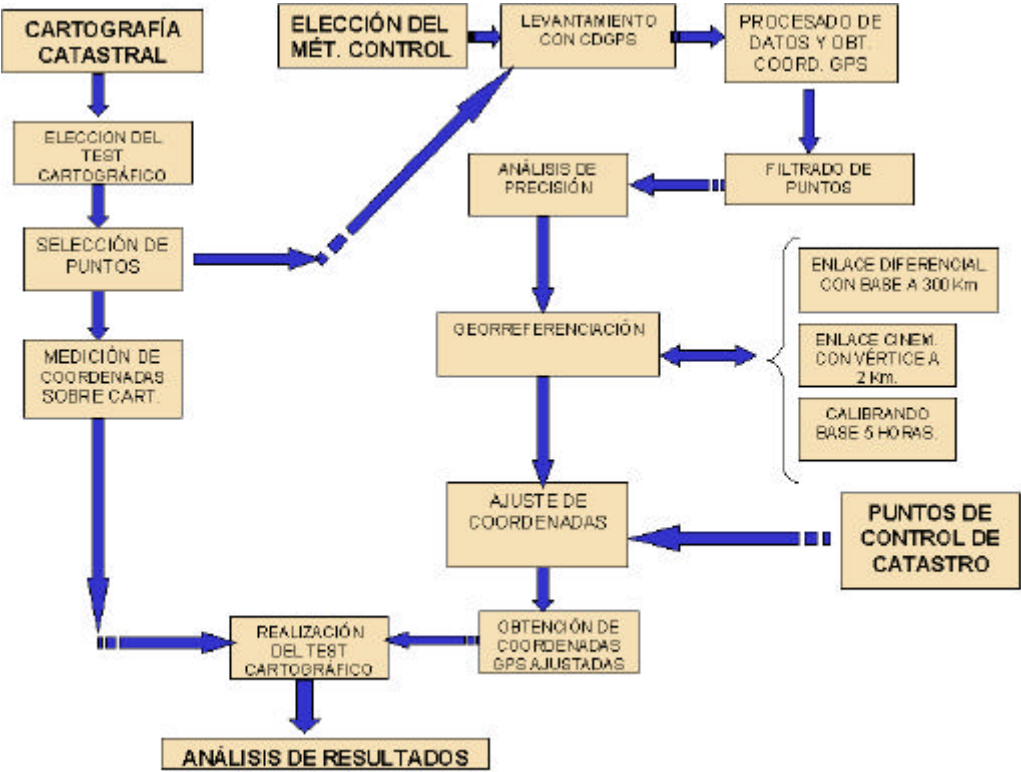


Figura 2. Metodología desarrollada en el trabajo.

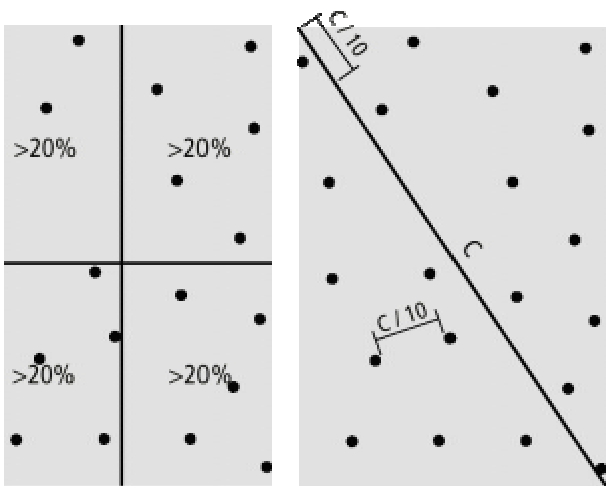
3.1 La selección de puntos de control

En el test EMAS/ASPRS Estándar se obtienen estadísticos para analizar si existen desplazamientos constantes (errores sistemáticos) y la variabilidad de la

muestra (errores casuales). Se emplean de forma independiente las componentes X, Y y Z de una muestra de, al menos, 20 puntos perfectamente definidos. La posición de los puntos sobre el mapa objeto del estudio, se compara con su posición en fuentes de mayor exactitud.

La fuente de mayor exactitud elegida para el control cartográfico ha sido realizar levantamientos GPS en modo relativo y con medida de la fase de la portadora L1, lo cual nos proporcionará a priori una precisión suficiente para la comparación que pretendemos realizar.

Según se indicaba en el parrafo anterior, esta muestra ha de estar formada en todos los casos por “al menos 20 puntos perfectamente definidos”. A la hora de realizar su elección, los puntos no deberán entrañar ninguna posible confusión en cuanto a su localización tanto sobre el mapa como sobre la fuente de mayor exactitud. Así mismo, deberán estar homogéneamente distribuidos. Los puntos se deberán distribuir de forma que en cada uno de los cuadrantes del mapa se sitúen al menos un 20 % de los mismos. Así mismo, la separación entre los puntos no será inferior a una décima parte de la diagonal del mapa a controlar



*Figura 3. Selección de puntos de control en el test EMAS/ASPRS Estándar*

### 3.2. Material

El material empleado en este trabajo se puede clasificar en tres apartados:

1º Cartografía Catastral empleada. Se ha empleado Cartografía catastral de urbana en formato digital

2º Equipos GPS empleados en los levantamientos. Equipos GPS Topcon de 12 canales y monofrecuencia (Manzano Agugliaro F. 1998)

#### 4. Diseño del experimento y Toma de Datos.

a) Trabajo previo de gabinete, (selección de puntos).

b) Toma de datos en campo.

Para la toma de datos se seleccionó el método CDGPS (GPS en modo relativo con medida de fase y en modo cinemática), situado la base de referencia GPS en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Almería, la cual esta situada de tal forma que ningún punto de los levantamientos a realizar dista más de 10 kilómetros, asegurándose así la precisión centimétrica de los levantamientos con GPS.

El levantamiento se realizó en modo redundante, tomándose 10 medidas por punto, para posteriormente en el postproceso hacer una media aritmética y obtener las coordenadas de dicho punto con mayor exactitud.

Los puntos levantados fueron, por un lado los seleccionados para el control cartográfico, ver figura 5 y por otro los puntos de control catastral que existen en cada zona de trabajo y que pertenecen a la red local catastral y de los cuales se disponen de coordenadas independientes a las de la cartografía catastral. Estos puntos se identifican por existir un clavo en el punto en cuestión, en la figura 6 se muestra la toma de uno de esos puntos de control catastral.



*Figura 5. Ejemplo de puntos seleccionados en la cartografía catastral para ser levantados con GPS.*

*Figua 6 –  
GPS de un punto  
catastral en la  
T.M. de Almería*

Se levantaron  
objeto de estudio,  
puntos levantados  
la tabla 2.



*Levantamiento con  
de control  
zona de la Cañada*

las 4 zonas  
distribuyéndose los  
según se refleja en

Tabla 2: Número de puntos levantados con GPS

Zona	Ptos. de la Cartografía	Ptos de control catastral (clavos)
La Cañada	114	8
Venta Gaspar	33	1
El Alquian	96	4
Costacabana	98	2

## 5. Análisis de resultados

Del total de puntos levantados, sólo aquellos que tienen precisión suficiente podrán formar parte del análisis, y por tanto el primer paso es, descartar los puntos que no obtuvieron precisión centimétrica tras el procesado. El procesado diferencial con GPS realiza en primer lugar el procesado del código CA obteniendo la solución de código lo cual supone una precisión métrica o submétrica, a estos puntos se los suele llamar diferenciales. El segundo paso en el procesado es la aplicación, a la solución de código, del algoritmo que emplea la medida de la fase L1, obteniendo así los puntos en precisión centimétrica y se les denomina cinemáticos por el algoritmo de procesado que permite que el receptor GPS este en movimiento y hallar solución de navegación con esas precisiones, no obstante en nuestro trabajo los puntos se tomaron de modo estático aunque navegando de un punto al siguiente sin interrumpir la señal en la medida de lo posible. Según lo comentado sólo los puntos cinemáticos formarán parte del análisis.

Tras analizar la precisión de los puntos se observó que: la zona de Costacabana tuvo un mayor tanto por ciento de puntos en cinemático, debido a la proximidad a la base, y por la no presencia de obstáculos tales como edificios altos, vegetación, etc; la zona de Venta Gaspar no podía formar parte del estudio debido a la escasez de puntos cinemáticos, no cubriéndose el mínimo para la aplicación del test cartográfico. Respecto del total de puntos de las tres zonas restantes se obtuvo un 48 % de puntos en diferencial y un 52 % de puntos en cinemático.

El análisis de la precisión implica la dispersión para las 10 mediciones redundantes por punto. Al analizar la precisión de los puntos cinemáticos levantados con GPS, y para ello se empleó como estadístico el RMS (Error medio cuadrático), y más concretamente del 2 drms, debido a que posee el mayor % de probabilidad, entre el 95-98 % de que estén todos los puntos, y se ajusta a dos dimensiones. Se observa que los 2drms medios obtenidos fueron de: 0,080 m en La Cañada; 0,054 m en Costacabana y 0,099 m en El Alquíán.

Tras analizar la precisión se procedió al análisis de la exactitud, entendida como georreferenciación o acercamiento de los puntos al valor supuesto como real o exacto, en nuestro caso esto sólo puede hacerse respecto de los puntos de control catastral o clavos, que son los puntos que forman parte de la red catastral local. Al aplicar el método de posicionamiento relativo las coordenadas finales obtenidas son realmente un incremento de coordenadas desde la base de referencia al GPS móvil que está determinando los puntos, de este modo cuanto más exactas sean las coordenadas de la base, mayor exactitud tendremos en las coordenadas de los puntos determinados con el equipo móvil. En este trabajo Aquí se probaron tres métodos para obtener coordenadas absolutas de la base de referencia GPS:

- Calibrar la base en modo absoluto durante un largo periodo de tiempo 5 horas.



- Calcular la posición de la base con el método relativo y por medida de código (método diferencial) desde otra base situada a 200 km. y que dispone de coordenadas precisas.
- Calcular la posición de la base con el método relativo y por medida de la fase (modo cinemático) desde un vértice geodésico perteneciente a la red REGENTE del cual se disponían de coordenadas precisas y estaba alejado de la base de nuestro trabajo de 2 a 3 km.

Una vez georeferenciada la base de nuestro trabajo, se procedió a la georeferenciación de los puntos para proceder a comprobarlos con los puntos de la cartografía catastral, en ningún caso se estimó que había calidad suficiente en la georeferenciación, para proceder a la comparación directa de los demás puntos de la cartografía catastral mediante el test cartográfico seleccionado. No obstante el tercer método es con el que se obtuvo mayor precisión y el que se empleó para una primera estimación de desplazamientos y errores entre ambas poblaciones de puntos, obteniéndose una diferencia planimétrica promedio de: 2,27 m para la zona de la Cañada, 1,81m para la zona de Costacabana, y de 1,47 m para la zona de El Alquian.

Los desplazamientos generalizados de los puntos levantados con GPS respecto de los puntos de la cartografía catastral, nos hizo plantear el realizar un ajuste 2 D o bidimensional, utilizando como puntos buenos los clavos de catastro siendo estos los que definen el sistema de referencia de destino, y los puntos levantados con GPS los puntos del sistema de referencia origen.

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos de las distintas transformaciones, donde se observa la gran variabilidad de los parámetros de transformación dependiendo de la zona, tanto en las traslaciones, como en las rotaciones, pero el factor de escala si es bastante homogéneo, ya que es menor de 1 milímetro por kilómetro, y por tanto va a influir poco.

Tabla 3: Parámetros de transformación de las distintas zonas de trabajo.

<b>Zona</b>	<b>Traslación Norte</b>	<b>Traslación Este</b>	<b>Angulo de Rotación</b>	<b>Factor de escala</b>
La Cañada	0,596 m	1,616 m	0°01'00"	0,99936377
Costacabana	0,605 m	1,287 m	359°56'57"	0,99990149
Alquíán	0,800 m	0,142 m	0°00'39"	1,00039604

Realizados estos ajustes se observa una mejoría de las diferencias planimétricas promedio entre los puntos levantados con GPS y los puntos de la cartografía, obteniéndose ahora unas diferencias planimétricas de: 1,24 m para la zona de la Cañada, 0,94 m para la zona de Costacabana, y de 1,23 m para la zona de El Alquian. Las cuales han mejorado en 0,72 m de media respecto de los puntos sin ajustar.

Con las coordenadas ajustadas se procedió a la realización del test cartográfico basado en puntos EMAS/ASPRS estándar

La cartografía sólo cumple con el test Emas para la escala 1:5.000 en los siguientes términos: la componente X con una probabilidad del 95% para grado de libertad 1 y la componente Y con una probabilidad de 92% para grado de libertad 1.

## **6. Conclusiones**

1º El test cartográfico empleado, el test EMAS/ASPRS Standard, ha demostrado ser eficaz para su empleo en la comparación de la Cartografía Catastral con la aplicación del GPS como fuente de mayor exactitud.

2º El método de posicionamiento que más se ajusta a las necesidades de este trabajo, y por tanto a la aplicación del GPS en el control cartográfico catastral, es el en modo relativo con medida de fase, CDGPS.

3º En la selección de los puntos de control se deben tomar el doble de los puntos estrictamente necesarios, pues en el levantamiento con GPS, solo la mitad de estos han demostrado tener precisión suficiente, centimétrica, para poder ser incluidos en el análisis. Ya que de los 327 puntos que han intervenido, tan sólo el 52 % (171 puntos) han sido tomados en modo cinemático y por lo tanto con precisión suficiente para los diferentes estudios.

4º Los puntos obtenidos del levantamiento con GPS con precisión centimétrica deben ser ajustados a los puntos de control catastral con objeto de corregir la posible desviación en la georreferenciación de la cartografía catastral y el posicionamiento relativo con GPS. Ya que la mejor georreferenciación obtenida para la base presenta una desviación (desplazamiento) de 1,5 m entre la cartografía catastral y el levantamiento realizado con GPS.

5º Analizadas las coordenadas de los puntos de la cartografía catastral con sus homólogos procedentes del levantamiento con GPS y ajustados posteriormente, se obtiene que el error promedio de los puntos de control ha sido de 0,83 m., y por tanto se puede deducir, que la cartografía catastral analizada cumple con los criterios de elaboración para una escala 1/5.000.

6º Aplicado el Test EMAS/ASPRS Standard a las componentes X e Y de todos los puntos estudiados, y para una escala 1:5.000 se observa que esta Probabilidad planimétrica (X,Y) superior al 90 %.

## Referencias

ATKINSON GORDO, ALAN D.J.; GARCÍA BALBOA, JOSÉ LUIS; ARIZA LÓPEZ, FRANCISCO J.; “Los Diferentes Test Para El Control De Calidad Posicional En Cartografía”. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz 2001.

BERNÉ VALERO, J.L.; FEMENIA RIBERA, C. “Catastro de Rústica” Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia. 2000.

F.G.D.C.; “Geospatial Positioning Accuracy Handbook”. Minesota (U.S.): Ninnnesota Planning,. FGCD-STD-007-1198. 1999

MANZANO AGUGLIARO F., MANZANO AGUGLIARO G., CORCHETE FERNÁNDEZ, V., AGUILERA UREÑA, M.J.; Colomer de la Oliva I. “topografía por satélite: GPS (Global Positioning System)”. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería. 2001.

MANZANO AGUGLIARO F., MANZANO AGUGLIARO G., CORCHETE FERNÁNDEZ, V., AGUILERA UREÑA, M.J.; GARCÍA CRUZ, A. “Aplicaciones Del GPS A La Topografía Y Geodesia”. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería. 2003.

MANZANO AGUGLIARO F., MEROÑO DE LARRIVA J.E., LÓPEZ HERNÁNDEZ M., ORTIZ V., PÉREZ CORTÉS M. 1998. “Farming Pays: Andalucía’s Agricultural Application of GPS”. GPSWorld Vol nº 9, Pag. 30-34 OREGON (USA).

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE CATASTROS INMOBILIARIOS “Pliego de cláusulas administrativas particulares de aplicación general y de prescripciones técnicas para la contratación de los trabajos de cartografía catastral urbana”. 2003

USBB; “United States National Map Accuracy Standards”. U.S. Bureau of the Budget, 1947.

VEREGIN, H.; GIORDANO, A.; “Il controllo di qualità nei sistemi informativi territoriali”. Venecia (Italia): El Cardo, 1994.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ORIGEN EÓLICA Y SU ALMACENAMIENTO EN FORMA DE HIDRÓGENO

Primer Autor: SAN MARTÍN DÍAZ, José Javier <sup>(2)</sup>

Coautores: APERRIBAY MAIZTEGUI, Víctor <sup>(1)</sup> ; MUÑOZ PÉREZ, Iván <sup>(2)</sup> ; ALONSO  
GIRÓN, Jesús M<sup>a</sup> <sup>(1)</sup> ; JIMÉNEZ GUIASOLA, Tomás <sup>(1)</sup> ; PÉREZ MANSO, Ángel <sup>(1)</sup> ;  
OLEAGORDIA AGUIRRE, Iñigo <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar. Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería  
e-mail: eppmaami@sb.ehu.es

<sup>(2)</sup> Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar. Departamento de Ingeniería Eléctrica  
e-mail: iepsm dij@sb.ehu.es

### RESUMEN

El objeto de esta comunicación es presentar la realización del diseño del proceso completo para la generación de electricidad, a partir de la energía eólica, y su almacenamiento en forma de Hidrógeno.

En el momento presente, la tecnología basada en el Hidrógeno se está constituyendo en una alternativa seria a la utilización de los combustibles fósiles, perfilándose como una nueva fuente de combustible basada en energías renovables. La energía eléctrica producida en aerogeneradores es, principalmente, inyectada en las redes eléctricas, para su transporte, distribución y consumo.

El aspecto novedoso que pretendemos exponer en nuestra comunicación es el almacenamiento de la energía eólica en forma de Hidrógeno, que puede servir para alimentar a pilas de combustible instaladas en automóviles. La electricidad producida alimentará los motores que accionarán el automóvil, sin producirse ningún tipo de contaminante, ya que el elemento residual es el agua.

**Palabras clave:** Diseño, animaciones, generador eólico, pilas de combustible, Hidrógeno, energías renovables, medioambiente.

## ABSTRACT

The object of this communication is to present the achievement of the design of the finished process for the generation of electricity, from the wind energy, and his storage in the shape of Hydrogen.

In the present moment, the technology based on the Hydrogen is constituted in a serious alternative to the use of the fossil fuels, being outlined as a new source of fuel based on renewable energies. The electrical energy produced in wind powers is, principally, injected into the electrical networks, for his transport, distribution and consumption.

The novel aspect that we try to exhibit in our communication is the storage of the wind energy in the shape of Hydrogen, which can serve to feed to batteries of fuel installed in automobiles. The produced electricity will feed the engines that will drive the automobile, without any type of pollutant taking place, since the residual element is the water.

**Key words:** Design, animations, wind generator, fuel cells, Hydrogen, renewable energies, environment.

## 1. Introducción

En este trabajo se va a presentar la realización del diseño necesario para llevar a cabo el proceso de conversión de energía eólica en energía eléctrica, desde las palas del aerogenerador, pasando por la caja multiplicadora, generador y transformador, para su inyección en la red eléctrica o, mediante electrolisis, almacenarla en forma de Hidrógeno, que, a su vez, servirá para alimentar las pilas de combustible.

Para conseguir el diseño de todo el conjunto de elementos precisos, se requiere la utilización de un sistema de C.A.D. Éste nos permite una visualización del modelo desde cualquier punto de vista. Se pueden realizar zooms, con lo cual los detalles se podrán visualizar mejor, incluso utilizar colores transparentes, haciendo translúcidos a materiales que en realidad son opacos, a fin de poder visualizar sus mecanismos internos, pudiendo guardarse como imágenes.

Además, teniendo en cuenta que un sistema de C.A.D. es un sistema métrico y, dado que todo el diseño se ha realizado a escala, en cualquier momento podemos obtener la medida de cualquier elemento gráfico, piezas y conjuntos.

Así pues, se hace necesario incorporar a los tradicionales métodos de enseñanza, las modernas tecnologías de aprendizaje, que en los últimos años han estado surgiendo y siguen desarrollándose. Por todo ello, estimamos imprescindible la creación de un nuevo método de enseñanza interactiva, aplicada al estudio de las energías renovables.

Esta comunicación evidencia la necesidad e importancia de la colaboración entre los departamentos de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería y de Ingeniería Eléctrica, abriendo un amplio campo de posibilidades, pudiéndose llegar a obtener resultados didácticos satisfactorios en cualquier área de la Ingeniería.

## **2. Desarrollo del Trabajo**

A continuación se explicará el proceso seguido para obtener el modelo en 3D generado por un sistema de C.A.D. y su animación posterior.

### **2.1. Diseño del modelo en 3D**

El modelo ha sido diseñado mediante el programa Solid Edge. Primeramente se crean todas las piezas que constituyen el aerogenerador, para lo cual se utiliza el entorno Pieza. Posteriormente, se pasa al entorno Conjunto, y se genera el conjunto mediante las relaciones necesarias que precise cada una de las piezas para que queden totalmente ensambladas.

Al modelo obtenido se le asignan las correspondientes texturas, colores, transparencias, etc., lográndose finalmente el modelo 3D similar al real.

A partir del modelo en 3D, se puede realizar el explosionado del mismo, con lo que se obtiene una visualización de las distintas piezas, con la ventaja de poder apreciar la posición relativa entre las distintas piezas constituyentes del conjunto.

### **2.2. Animación del modelo. Realidad Virtual**

Como una aportación más del sistema de C.A.D., el conjunto creado por Solid Edge, se puede guardar como modelo de realidad Virtual (extensión .wrl). Este archivo se puede cargar mediante un navegador de Internet (Netscape, Explorer,...) pero teniendo el plug-in correspondiente para poder visualizar mundos virtuales. La ventaja reside en la interactividad que nos permiten los mundos virtuales pudiéndose visualizar el conjunto desde cualquier punto del espacio y sin necesidad de tener el sistema de C.A.D. para ello.

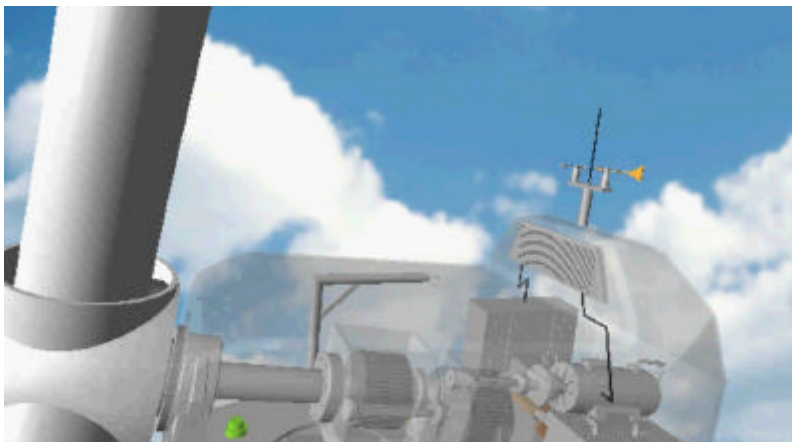
Para obtener las animaciones del aerogenerador, electrolizador, pila de combustible y el proceso de generación y almacenamiento de Hidrógeno, se ha utilizado un software específico, como es el I.P.A. (Interactive PreAssembly). Este software permite cargar el modelo en 3D generado por el sistema de C.A.D. y realizar la animación de cualquier pieza de los conjuntos, siendo una inmejorable aportación para visualizar el movimiento real sistema completo.

## **3. Contenidos**

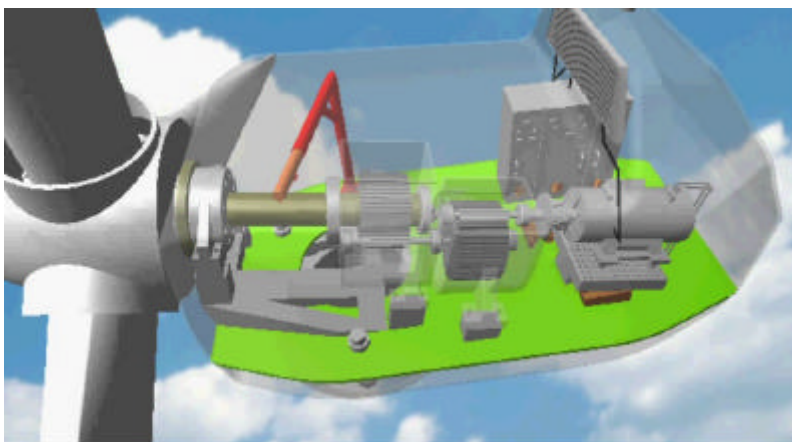
En las siguientes figuras se detallan los distintos componentes que constituyen el sistema de conversión de energía eólica en energía eléctrica, desde las palas del aerogenerador y la góndola, pasando por la caja multiplicadora, generador y transformador, proceso de electrolisis, para obtener Hidrógeno, almacenaje del mismo y su utilización para alimentar las pilas de combustible.



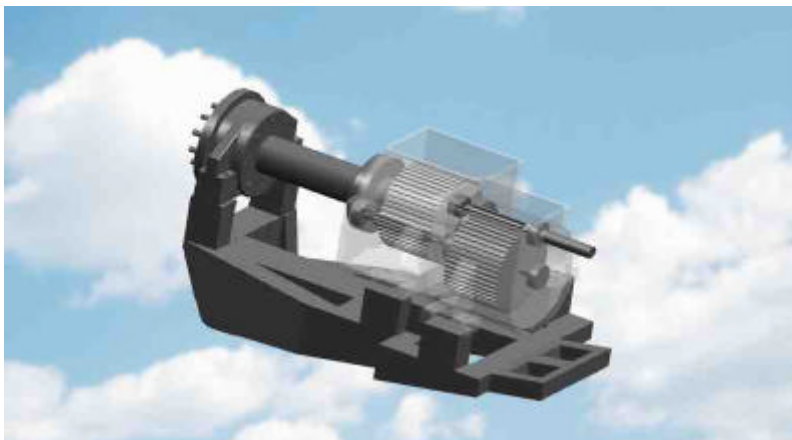
*Figura 1: Vista general de las palas y la góndola.*



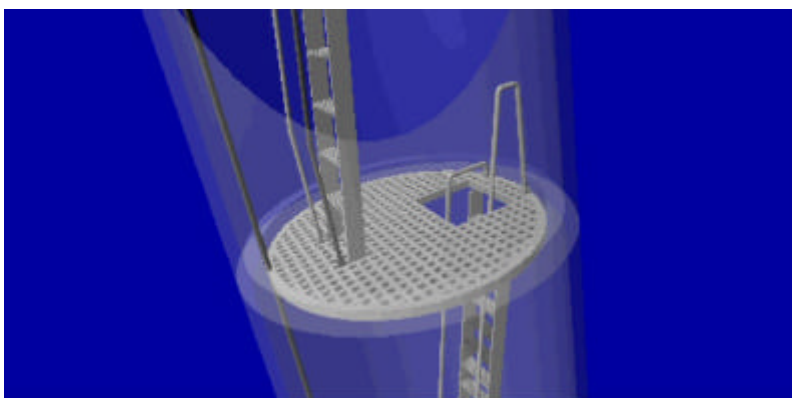
*Figura 2: Detalle del anemómetro y la veleta.*



*Figura 3: Detalle de la grúa.*



*Figura 4: Vista de la multiplicadora y eje principal.*

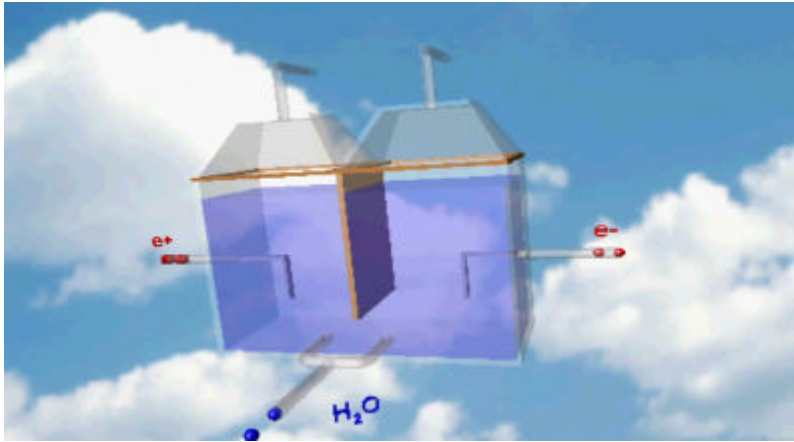


*Figura 5: Detalle de la escalera interior.*

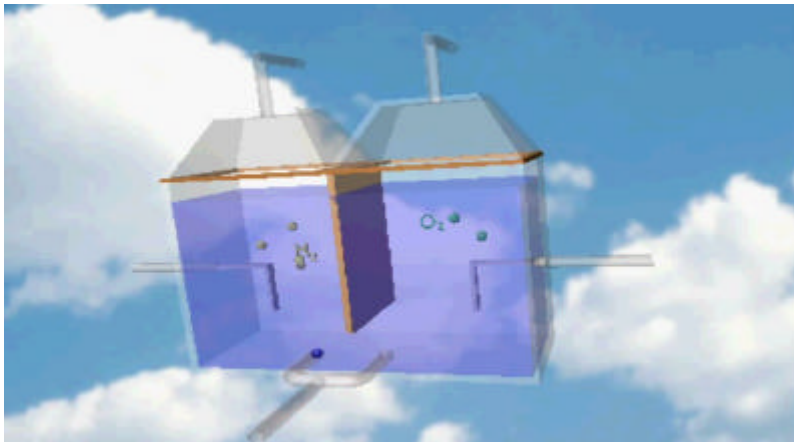


*Figura 6: Sistema de frenado de las palas.*

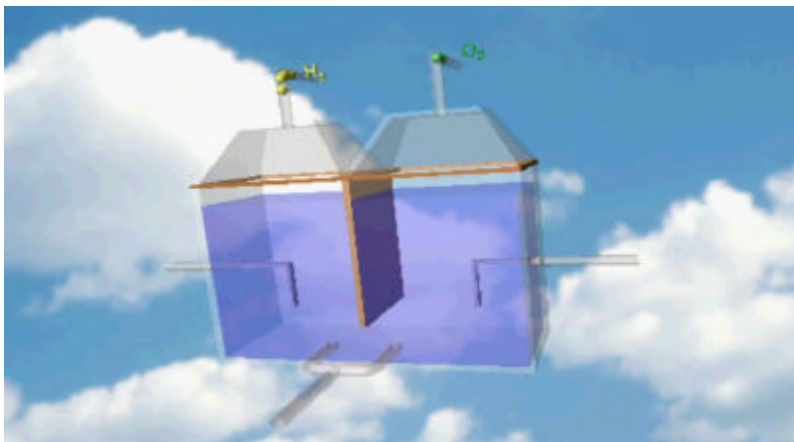




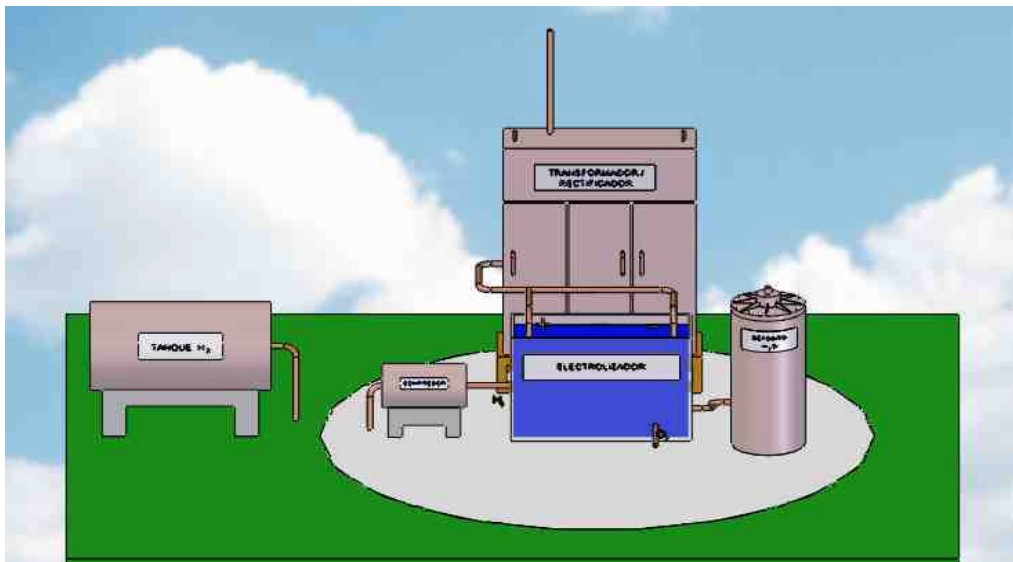
*Figura 7: Proceso de electrólisis. Disociación del agua.*



*Figura 8: Proceso de electrólisis. Separación de  $H_2$  y  $O_2$ .*



*Figura 9: Proceso de electrólisis. Obtención de Hidrógeno.*



*Figura 10: Proceso general de obtención y almacenaje de Hidrógeno.*



*Figura 11: Transformador / Rectificador.*



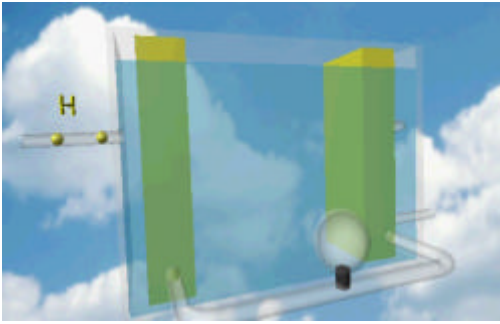
*Figura 12: Depósito de agua.*



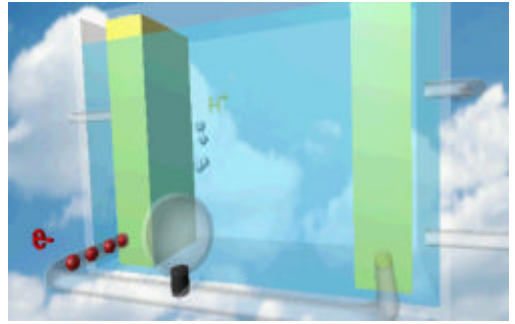
*Figura 13: Electrolizador.*



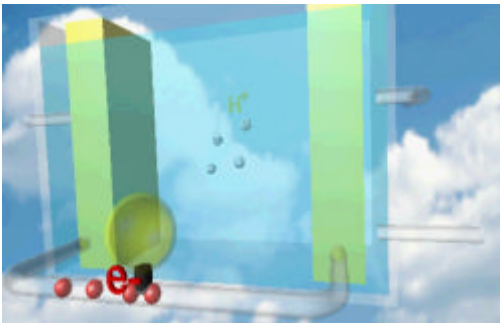
*Figura 14: Ubicación respecto a la base.*



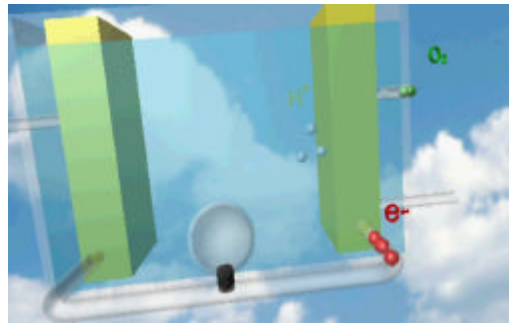
*Figura 15: Pila de combustible.*



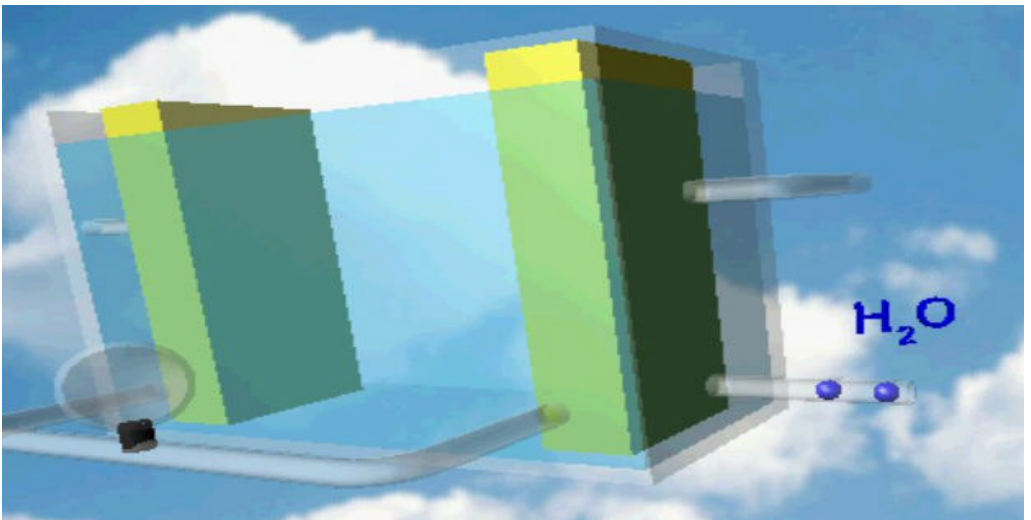
*Figura 16: Generación de corriente.*



*Figura 17: Iluminación de la lámpara.*



*Figura 18: Combinación  $H_2$  y  $O_2$ .*



*Figura 19: Producto residual de la pila de combustible.*

## 4. Aplicaciones



*Figura 20.*



*Figura 21*

Las figuras 20 y 21 muestran algunos usos del Hidrógeno, como son un vehículo y un sistema de alimentación ininterrumpida.

## 5. Conclusiones

Dentro de las carreras técnicas, para superar la dificultad inicial que presentan ciertos mecanismos y poder explicar adecuadamente, se puede realizar una exposición inicial, gráfica, mediante el modelo animado, así, el alumno tiene una primera idea de lo que se está hablando. Posteriormente, se puede realizar la explicación técnica, ayudándonos de los sistemas de C.A.D. y multimedia, trabajando sobre un modelo diseñado, teniendo en cuenta todas características técnicas del mismo.

Los modelos tridimensionales generados mediante sistemas de C.A.D. aportan, sin ningún género de dudas, una gran ayuda para comprender mejor algunos mecanismos, facilitando con ello la comprensión a nuestros alumnos. Pero también es importante poder visualizar el funcionamiento del modelo real en la industria.

Las nuevas tecnologías permiten hoy en día estas opciones y como respuesta la Universidad, entidad para formar a futuros ingenieros, debe seguir y fomentar estas posibilidades, ayudando tanto a las empresas como a los alumnos, realizando el papel que la sociedad espera de la Universidad.

## Referencias

*Principios de la conversión de la energía eólica.* Ed. CIEMAT. Madrid, 2001.  
[www.windpower.org](http://www.windpower.org).  
[www.ecoterra.org](http://www.ecoterra.org).

## METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE UN PUNTO DE LA SUPERFICIE TOPOGRÁFICA EN SOMBRA O ILUMINADO. MODELO MATEMÁTICO Y APLICACIÓN INFORMÁTICA.

MARTÍNEZ GARCÍA, JOSÉ <sup>(1)</sup>; MONTES TUBIO, FRANCISCO <sup>(1)</sup>;  
BURGOS LADRÓN DE GUEVARA, ENRIQUE <sup>(1)</sup>; CARRANZA CAÑADAS, PILAR <sup>(1)</sup>;  
MARTÍNEZ RUEDA, JAVIER <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidad de Córdoba, España  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes  
Departamento de Ingeniería Gráfica y Sistemas de Información cartográfica  
Correo electrónico: [iglmagaj@uco.es](mailto:iglmagaj@uco.es)

### RESUMEN

La determinación, en el Sistema de Planos Acotados, de puntos en sombra o iluminados, para una dirección del rayo luminoso, se ha resuelto gráficamente mediante el método de las “envolventes trasladadas”.

Con el presente trabajo se expone la metodología, mediante el desarrollo de un algoritmo matemático y su implementación infográfica, para determinar si un punto de la superficie topográfica, conocida por sus curvas de nivel en proyección ortogonal acotada, se encuentra en sombra o soleado, para una dirección dada del rayo solar.

**Palabras clave:** sombreado, planos acotados, modelado geométrico, aplicación informática.

### ABSTRACT

The determination, in the System of Contour Maps, of points in the shade or illuminated, having a particular direction of the sun's rays, has been solved graphically by means of the method of so called “encircling transferred lines”.

With the present study, the methodology is put forward by means of the development of a mathematical algorithm and its infographic implementation, to determine if a point on the topographical surface, known by its contour lines in contour orthogonal projection, is in shade or sunlit for a given direction of the sun's rays.

**Key words:** System of Contour Maps, shade.

## 1.- Introducción

El modelo matemático que se presenta tiene un fundamento físico sumamente simple, tal como es la interceptación que un cuerpo opaco produce en un rayo luminoso, dejando en sombra a todos los puntos que, de no existir dicho impedimento, hubieran quedado posteriormente expuestos a una situación de iluminación.

Sin embargo, la resolución numérica de este sencillo problema presenta de hecho cierta complejidad, dado que al ser múltiples las variantes que presenta, no permiten un tratamiento unificado.

La base física del modelo reduce el problema a determinar la situación relativa de los puntos del espacio respecto a otros, en la dirección y sentido del rayo luminoso.

El enfoque matemático se realiza mediante una reducción del problema en el espacio tridimensional a una serie de problemas elementales sobre perfiles contenidos en planos proyectantes sobre el horizontal.

El análisis de estos últimos problemas se hace mediante una constatación de las ordenadas de los distintos puntos del perfil longitudinal obtenido con orientación del eje de abscisas dada por el propio rayo luminoso.

Se propone la formulación de un modelo matemático que permita analizar la situación de sombra o iluminación de los puntos del espacio en el que se definen un conjunto de cuerpos, capaces de interceptar una radiación de rayos cuyo foco se sitúa en el infinito. Como complemento al mismo se realiza un análisis de las posibles variaciones que pueden presentarse en la realidad, con objeto de definir una sistematización del problema, orientada a su resolución mediante cálculo con ordenador.

## 2.- Desarrollo del trabajo.

El espacio sobre el que se sitúa el problema de determinación de zonas de luz y sombra debe ser conocido previamente, y puede quedar definido mediante las representaciones habituales utilizando curvas de nivel. Sobre el plano del cuadro, y con vistas a un tratamiento numérico de la información en él contenida, se define un sistema de ejes coordenados XOY, que nos permitirá situar cada punto del mismo mediante su correspondiente abscisa y ordenada.

Es evidente que la posición espacial de cada punto queda definitivamente localizada mediante una tercera coordenada, altura, correspondiente al valor de la cota de nivel sobre el que está situado.

De esta manera la información gráfica implícita en un plano de curvas de nivel, puede quedar alternativamente recogida bajo forma numérica mediante un conjunto de datos  $\{X_i, Y_i, Z_i\}$  extendido a los “i” puntos estudiados..

La resolución analítica más inmediata puede ser el uso de técnicas de interpolación a partir de la información base, es decir del conjunto  $\{X_i, Y_i, Z_i\}$  sin ningún tratamiento previo. Otra posible vía de análisis es el estudio de un modelo matemático de la superficie que se adapte al conjunto anterior, obtenida , por ejemplo, mediante regresión mínimo cuadrática, y posterior seccionamiento con la superficie plana proyectante. En este sentido hemos supuesto que la superficie topográfica se adapta a la de un paraboloide hiperbólico para cada cuadrícula de vértices conocidos.

Definidos un conjunto de rayos paralelos de dirección (**d**) e inclinación (**B**) dados, así como el perfil longitudinal correspondiente, se establecen automáticamente las zonas en sol y en sombra, en función de los diferentes rayos que van siendo interceptados por los puntos de dicho perfil.

La solución gráfica de este problema es sencilla, mientras que la solución analítica puede abordarse determinando, en los perfiles definidos, la distancia **AP** entre el punto inicial del perfil (A) y el punto del que queremos verificar su estado de iluminación o sombra (P) (figura 1). Para ello dividimos el segmento **AP** en un número de partes iguales **N** , que dependerá de un factor de escala y tomamos las cotas de cada uno de esos puntos intermedios hallados perteneciendo a la superficie del terreno **S** y al rayo luminoso **R**.

El punto **P** estará iluminado cuando para todas las parejas de puntos **R** y **S**, la cota del punto luminoso sea tal que  $Z_R > Z_S$  .

Son puntos en sombra todos aquellos que presentan una cota inferior a la correspondiente a cualquier punto a su izquierda, esto es  $z'_j < z'_i$  , con  $i < j$ .

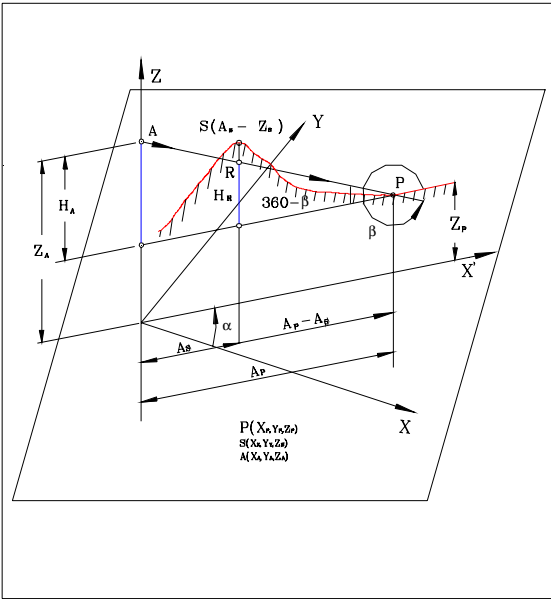


Figura 1. Punto en luz o en sombra.



La solución propuesta define una matriz de datos (figura 2), que recoge la información de coordenadas para todos los nudos de una retícula ortogonal definida sobre el plano del cuadro.

Ahora bien, si las dimensiones del cuadro en estudio se definen mediante la abscisa máxima ( $X_m$ ) y ordenada máxima ( $Y_m$ ) la retícula puede definirse mediante el número de intervalos elegido  $N$ , que conduce a un tamaño de los mismos:  $X_1 = X_m / N$  e  $Y_1 = Y_m / N$ . Cada punto de la retícula puede venir definido mediante uno o varios dígitos, siendo su valor de posición dado por el de la fila y columna a que pertenece. El valor de posición de un punto  $P$  viene dado por la expresión:

$$P = (F - 1) (N + 1) + C$$

Siendo:  $F = n^\circ$  de fila;  $C = n^\circ$  de columna;  $N = n^\circ$  de intervalos

Por otra parte, conocido el valor de la posición de un punto  $P$ , es inmediata la determinación de las coordenadas ( $x_p$ ,  $y_p$ ), por la cual es suficiente con almacenar el valor de su cota, con el consiguiente ahorro de capacidad de memoria, ya que las coordenadas citadas pueden generarse automáticamente en el momento en que sea necesario. De esta forma la matriz de datos anteriormente definida puede ser transformada en un vector columna  $z$  en el cual se representen únicamente los valores numéricos de las cotas de los diferentes puntos  $P$ , en orden consecutivo creciente desde el punto 1 hasta el punto  $(N + 1)^2$ . Esta ordenación hace innecesario el almacenamiento de los valores de posición  $P$ .

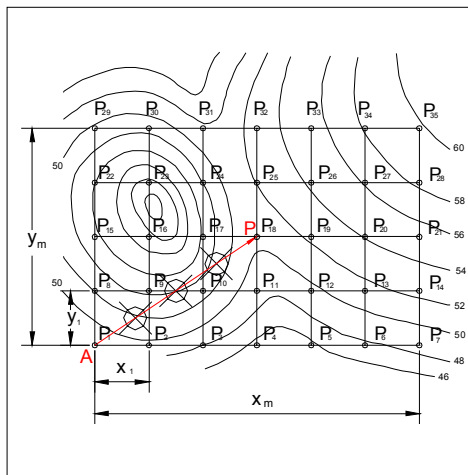


Figura 2. Situación de puntos sobre el terreno



El vector de datos así definido adopta la forma  $\mathbf{z} = \{z_i\}$ , con

$$\{z_i\} = [z_1, z_2, z_3, \dots, z_{(N+1)}^2]$$

Con objeto de analizar de forma exhaustiva los diferentes casos que pueden presentarse, se propone el estudio de las diferentes posiciones de la dirección del rayo proyectado, que engloban rayos comprendidos en los diferentes cuadrantes, más cuatro soluciones particulares que representan la coincidencia con los propios ejes coordenados X e Y, en sus sentidos positivo y negativo.

Definida una cuadrícula de lado unidad, la ecuación general del paraboloide hiperbólico que pasa por sus cuatro vértices es:

$$Z = ax + by + cxy + d$$

El segmento **AP** se divide en un determinado número de partes iguales, función de la longitud del propio segmento AP. Definiéndose un factor de escala

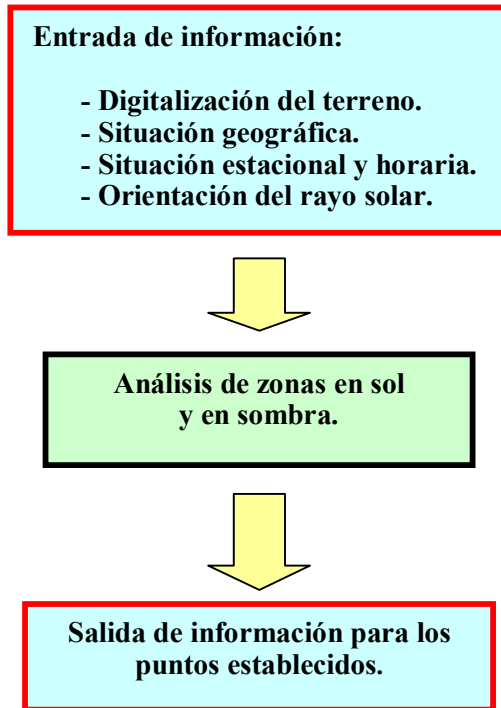
$$E = \text{INT} [(x_1 + y_1) / 2] + 1$$

siendo el tamaño del intervalo  $\mathbf{I} = \mathbf{AP} / \mathbf{E}$ .

En resumen, como sólo nos interesa determinar el estado de iluminación o sombra del punto P, el problema se reduce a verificar si existe alguna pareja de puntos, sobre la misma vertical, entre **A** y **P**, tal que la cota del rayo luminoso que pasa por P, ( $z_R$ ), sea menor a la correspondiente cota sobre la superficie del terreno ( $z_S$ ), siendo  $z_R < z_S$ , en cuyo caso el punto P estaría en sombra.

Se ha realizado la formulación de un modelo infográfico que permita verificar la situación de iluminación u oscuridad de un punto cualquiera de la superficie topográfica.

El planteamiento del modelo sería:



Nuestro modelo propuesto sería establecer una cuadrícula, cuadrada o rectangular, dándose las coordenadas (X,Y,Z) de cada vértice de la misma.

Para introducir los elementos de la superficie topográfica podemos partir de:

- Datos procedentes de la digitalización de un mapa topográfico.
- Tomar los datos de campo de los puntos de la superficie topográfica, vía GPS, teodolito, etc., obteniéndose un fichero ACII tipo .TXT. Mediante el Software integrado en el GPS se tratarían los datos de tal manera que obtengamos las coordenadas X,Y,Z de cada uno de los puntos. El fichero de salida será también del tipo ACII

Por último mediante el software apropiado (en nuestro modelo hemos empleado el programa SURFER) se reconocerá la matriz de datos y mediante el método de interpolación adecuado se podrán crear las curvas de nivel.

En las figuras 3 y 4 se muestran algunas de las pantallas de la aplicación desarrollada.

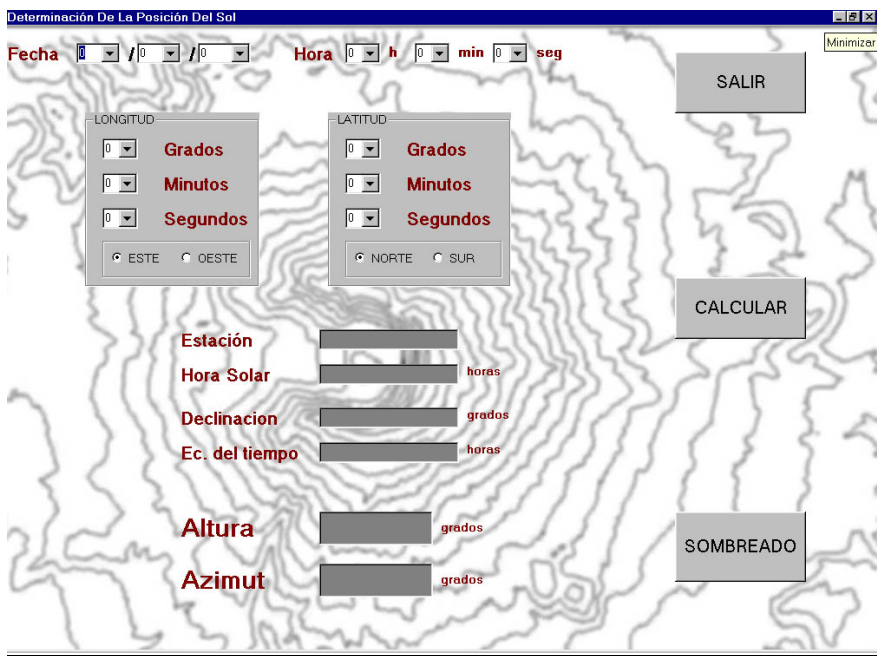


Figura 3 . Determinación de la posición del sol.

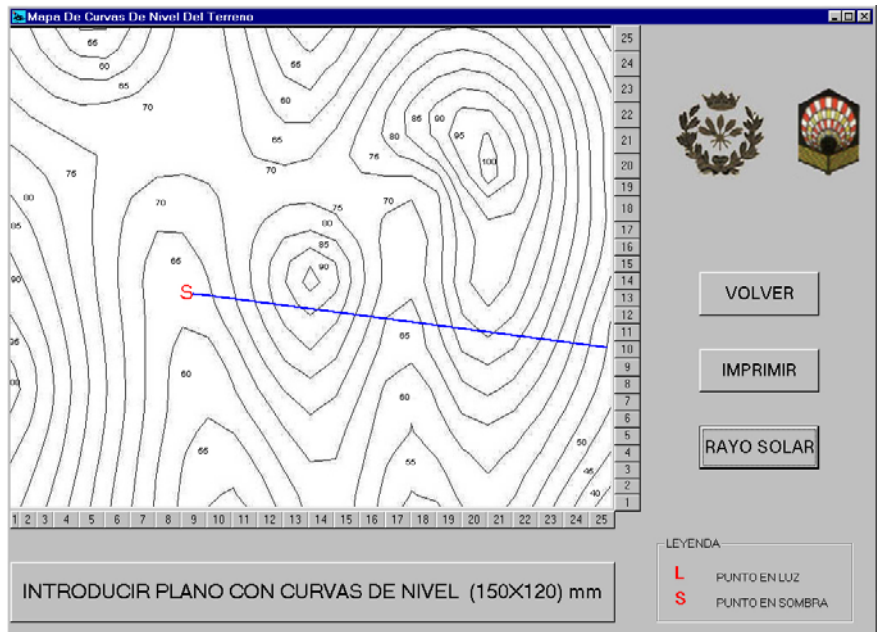


Figura 4.- Mapa de curvas de nivel del terreno con un punto en sombra y la dirección del rayo solar

### **3.- Conclusiones**

El trabajo realizado nos permite el estudio del asoleo sobre puntos concretos de la superficie topográfica. La aplicación desarrollada nos da la dirección del rayo solar mediante la introducción de la fecha y posición del lugar y nos proporciona la información necesaria para saber si un punto está en sombra o iluminado.

### **4.- Referencias**

MARTÍNEZ GARCÍA, JOSÉ, et al. “Metodología gráfica para la determinación de la zona de la superficie topográfica visualizada desde un punto fijo. Acta del XII Congreso de Ingeniería Gráfica. Badajoz 2001

MARTÍNEZ GARCÍA, JOSÉ. “Análisis metodológico del asoleo sobre superficies topográficas”. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba . Julio 2002

---

## **PLANIFICACIÓN DE INVERSIONES EN INFRAESTRUCTURAS VIARIAS MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**SOTO FERNÁNDEZ, Francisco (1); SANTAMARÍA PEÑA (2), Jacinto;  
SANZ ADÁN, Felix (3)**

<sup>(1)</sup>Universidad de LA RIOJA, España  
Departamento de INGENIERÍA MECÁNICA  
Correo electrónico: francisco.soto@dim.unirioja.es

<sup>(2)</sup>Universidad de LA RIOJA, España  
Departamento de INGENIERÍA MECÁNICA  
Correo electrónico: jacinto.santamaria@dim.unirioja.es

<sup>(3)</sup>Universidad de LA RIOJA, España  
Departamento de INGENIERÍA MECÁNICA  
Correo electrónico: felix.sanz@dim.unirioja.es

### **RESUMEN**

La evolución tecnológica de la humanidad ha generado importantes cambios en una gran cantidad de áreas de conocimiento, incluyendo aquellas disciplinas que tienen una implicación territorial. En el caso concreto de las infraestructuras de transporte, en la actualidad se cuenta con tecnologías adecuadas para recoger y tratar datos de los parámetros que condicionan la explotación y desarrollo de la red viaria, así como de los medios para su almacenamiento y manipulación.

Sin embargo, y a pesar de todo este avance tecnológico, la toma de decisiones de inversión en una red de carreteras sigue siendo complicada, debido a la incertidumbre que existe sobre la eficiencia de las mismas, por lo que generalmente siguen prevaleciendo los criterios políticos ante la falta de alternativas menos subjetivas.

La metodología clásica para el análisis de viabilidad de las actuaciones, se basa en un estudio de su rentabilidad económica. La generalización de este procedimiento de evaluación, junto con la utilización de equipos de alto rendimiento de recogida de datos y su tratamiento mediante sistemas de información geográfica, nos puede proporcionar un método objetivo de priorización de inversiones en infraestructuras viarias.

**Palabras clave:** SIG, carreteras, inversiones.

## 1.- Introducción.

La evolución tecnológica de la humanidad ha seguido un ritmo vertiginoso durante la segunda mitad del siglo XX. La consecuencia de este salto cualitativo en los sistemas de inteligencia artificial, es la aplicación inmediata en una gran cantidad de áreas de conocimiento, y por supuesto en aquellas disciplinas que tienen una implicación geográfica o territorial. En el caso concreto de las infraestructuras de transporte, se ha desarrollado una gran variedad de herramientas y sistemas de recogida de datos, tratamiento de la información y comunicación, de gran implantación.

Detrás de éste esfuerzo innovador se esconde la ambición de los gestores de infraestructuras viarias para que la explotación de las carreteras se realice con los menores medios materiales y humanos, buscando la mayor eficiencia en la utilización de los mismos. Sin embargo, el problema que se presenta no es trivial, el automóvil tiene una idiosincrasia muy diferente a la del resto de los modos de transporte, que parte en primer lugar del número mucho más elevado de “pilotos”, y de una capacidad para tomar decisiones instantáneas imposible en los otros modos de transporte. Esta libertad intrínseca a la carretera, que es la base fundamental de su primacía en la sociedad actual, es paradójicamente el principal impedimento para que se pueda hacer un pronóstico fiable sobre la eficacia de las inversiones realizadas en una red de carreteras.

Llegados a este punto parece razonable suponer que en la actualidad se cuenta con tecnologías adecuadas para recoger y tratar datos de los parámetros que condicionan la explotación y desarrollo de una red viaria, así como de los medios para su almacenamiento y manipulación, pudiéndose llegar a modelos de toma de decisiones. Existen en nuestro país experiencias muy interesantes, como la comenzada por la Junta de Castilla y León para mejorar las condiciones de los pavimentos en sus carreteras (índice TRIRI), o la utilización por varias administraciones autonómicas, incluyendo al Gobierno de La Rioja, de los mapas de accesibilidad e isocronas.

La presente comunicación comprende una descripción del panorama actual desde diversos puntos de vista: aplicabilidad de los últimos avances tecnológicos, (herramientas avanzadas de auscultación de viales y sistemas de información geográfica) y experiencias de utilización anteriores. Esta información previa e imprescindible, nos ofrece un punto de partida en el inicio de la elaboración de un trabajo, cuya finalidad será el diseño de un método objetivo de priorización de inversiones en infraestructuras viarias mediante sistemas de información geográfica.

## **2.- Panorama de herramientas avanzadas de auscultación de viales.**

Como ya se ha indicado en el apartado anterior, la tecnología ha revolucionado los métodos de trabajo en disciplinas relacionadas con la gestión del territorio a varios niveles. Existe gran variedad de herramientas y sistemas de recogida de datos automática, tratamiento de la información y comunicación, de gran implantación en las infraestructuras de transporte.

Los aforadores de vehículos, son fundamentales para el suministro de datos básicos en el diseño de las carreteras. Para el desarrollo de cualquiera análisis es preciso conocer el número, las características, la distribución temporal y la velocidad de los vehículos. Las técnicas más antiguas realizaban el conteo de forma manual mediante pulsadores, las fotografías aéreas a intervalos constantes, e incluso las encuestas realizadas a los conductores en la propia ruta o en sus domicilios. Más reciente es la utilización de medios neumáticos y de espiras de inducción eléctrica, los aparatos de RADAR, y por último los ingenios de reflexión magnética que conectados a medios electrónicos de registro y ordenadores, nos pueden proporcionar en tiempo real el procesamiento y diagnóstico de toda la información.

Los sistemas de auscultación de firmes, proporcionan información actualizada sobre el estado del firme que es la clave para la correcta conservación y mantenimiento de las carreteras. El proceso de obtención de información del firme es tan importante como su análisis posterior, por lo que la toma de datos debe ser fiable y segura. En la actualidad se usan diversos equipos de alto rendimiento, cuyas características principales son la incorporación de un vehículo de auto - transporte, su completa automatización, y el tratamiento informático de la información. Entre los más usuales citaremos los deflectómetros de impacto (equipos que miden la deflexión del pavimento), los grip testers (equipos de medida de rozamiento), y los equipos de láser portable (permiten la medida con gran rendimiento de la regularidad superficial de los pavimentos).

Mención especial merecen los vehículos integrados de auscultación e inventariado, cuyo objetivo ha sido siempre la realización de inventarios de carreteras, que en diversos formatos, supusieran un documento lo más actualizado posible de las características de la carretera. Los datos se recogían en un principio mediante el filmado del recorrido realizado, y la elaboración simultánea o posterior de fichas referenciadas al kilometraje de la carretera, que eran rellenadas bien de forma manual o bien por medios electrónicos más o menos sofisticados. En la actualidad existen vehículos que pueden auscultar e inventariar una carretera a 90 km/h, integrando los siguientes elementos: cámaras láser que recogen la regularidad del pavimento, acelerómetros de gran precisión y un distanciómetro que permiten poder variar la velocidad de recorrido sin perder el sistema fijo de referencia en el que se comenzó la toma de datos, giróscopo que mide las curvaturas, inclinómetros que permiten obtener pendientes longitudinales y peraltes transversales, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), vídeo inventario o sistema de filmado y un equipo informático que permita el proceso de la información en tiempo real.





### **3.- Experiencias de utilización de sistemas de inteligencia artificial.**

Como es lógico, toda esta evolución tecnológica, junto con la implantación de los sistemas de información geográfica, ha sido utilizada por medio de las diversas administraciones de infraestructuras viarias, en el desarrollo de sus planes de gestión. A modo de ejemplo describimos aquí algunas de las experiencias de los últimos años:

- **El índice “triri” de la Junta de Castilla y León.**

Un ejemplo interesante es la experiencia comenzada por la Junta de Castilla y León para mejorar las condiciones de los pavimentos en sus carreteras, diseñando un método de programación de actuaciones. En efecto, se ha tomado como factores determinantes para actuar sobre un tramo de carretera el estado del pavimento y la cantidad de usuarios que lo utilizan.

La Junta, ha procedido pues a realizar un videoinventario completado con una campaña de auscultación de firmes, determinando el índice de regularidad internacional IRI, que es mayor (0 a 6) en firmes en mal estado. El producto de este índice IRI, por el número de vehículos que utilizan la vía, supone un nuevo índice (TRIRI), que será el que nos determinará los tramos de actuación inminente.

La filosofía está clara, una carretera con muchos usuarios requiere de un pavimento en condiciones óptimas, mientras que las vías menos utilizadas pueden permanecer en peores condiciones. No obstante la aplicabilidad de este sistema es limitada, siendo sólo utilizable para actuaciones de conservación, y no de mejora de las infraestructuras.

- **Determinación de accesibilidades en el plan de carreteras de La Rioja.**

Otra de las aplicaciones mas utilizadas en los últimos tiempos es la determinación de mapas de accesibilidad desde un punto. Para ello, se han diseñado diversos productos que nos permiten averiguar el tiempo que se tarda en llegar hasta una determinada zona, pudiendo generar los llamados mapas de isocronas.

La aplicación clásica de estos análisis es la elaboración de planes de emergencia, aunque también puede servir para priorizar inversiones en infraestructuras. En concreto la metodología del Plan Regional de carreteras de La Rioja, consideraba más urgentes la obras en carreteras de acceso a localidades muy lejanas en tiempo a Logroño y/o a las cabeceras de comarca.

Se puede criticar que detrás de un criterio científico, subyace el criterio político de “centralizar” los servicios, dotando a las comarcas de mejores vías de comunicación con las capitales.

## 4.- Propuesta de un método de planificación de inversiones.

### 4.1.- Objetivos

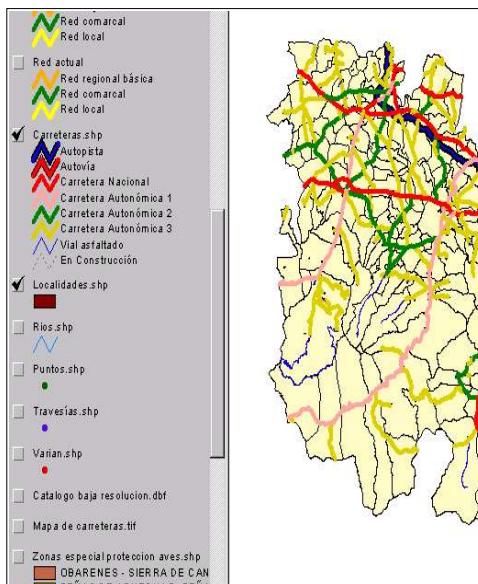
Como se indicó con anterioridad, el objeto de este trabajo es la propuesta de un método que partiendo de la información de tipo gráfico y estadístico disponible, permita realizar rápidos análisis cuyo objeto será la toma de decisiones de priorización de actuaciones.

Esta herramienta gestora de la red de carreteras, que lógicamente y según ha sido expuesto responderá a un esquema SIG, debe incluir como mínimo los siguientes campos que influyen en la planificación: inventario de carreteras, tramificación de la red, características geométricas de la misma, velocidades de recorrido, intensidades de vehículos, accidentalidad, gestión de la conservación y planificación de inversiones.

### 4.2.- Información utilizada.

Para la confección de los diversos mapas temáticos, que constituirán el SIG, se ha partido de la siguiente información gráfica y alfanumérica, disponible en la Comunidad Autónoma de La Rioja, y que ha fue recopilada en su momento para su Plan Regional de Carreteras.

- Mapa de carreteras.
- Ortofos.
- Mapas temáticos.
- Inventario de carreteras de La Rioja.
- Tramificación de la red.
- Características geométricas de la red.
- Estado del firme.
- Velocidades de recorrido.
- Intensidades de vehículos.
- Accidentalidad.
- Coste de inversiones.



La existencia de diferentes formatos de partida, escalas y resoluciones, supone la existencia también de errores y desfases fácilmente comprensibles. No obstante, y dado que la escala necesaria para la realización de análisis globales regionales es suficientemente grande, estos son apenas perceptibles.

4.3- Tratamiento y análisis de la información.

Todos esta información, debe ser tratada de manera homogénea para su posible análisis posterior, para ello se llevará a cabo una tramificación de las carreteras, entre aquellos puntos en que haya una clara variación de características. Lo lógico es definir los tramos entre puntos singulares geométricos (intersecciones e inicio y fin de tramos urbanos).

Con los tramos uniformes definidos, se generará una matriz de características de los mismos, pudiéndose generar nuevas columnas, producto de la manipulación de los datos existentes por medio de una base de datos (Dbase o Access), hojas de cálculo (Excel) y programas específicos de GIS (Arcview).

En principio, lo más rentable resulta la obtención de resultados numéricos por medio de una hoja de cálculo convenientemente programada, que una vez exportada a una base de datos o directamente, suministre estos resultados al sistema de información geográfica, para llevar a cabo desde éste las salidas gráficas, realización de mapas temáticos y análisis geográficos.

4.4.- Aplicabilidad del sistema de información geográfica.

Con los datos de partida, se pueden generar los primeros mapas temáticos, que podrían ayudarnos al establecimiento de criterios de actuación por tramos, a la vista de los siguientes datos:

- Sección tipo.
- Intensidad de vehículos (IMD).
- Categoría de tráfico.
- Estado y tipo del pavimento.
- Velocidad.
- Geometría y confort.
- Seguridad vial

A		B		C		D		E		F		G		H		I	
N. ACTUAL	Nº TRAMO	PRINCIPAL	PR.FINAL	ANCHURA	T.FRAME	ESTADO	VELOCIDAD	IMD 2000	ACCD. 198								
2	UR-03	1	85.750	85.800	9.00	ASFOCADO BUENO	70	1880									
3	UR-03	2	85.800	89.000	9.00	ASFOCADO BUENO	90	2334									
4	UR-03	3	89.000	89.700	9.00	ASFOCADO BUENO	90	2334									
5	UR-03	4	89.700	90.200	8.00	ASFOCADO BUENO	70	2691									
6	UR-03	5	89.200	91.200	9.00	ASFOCADO BUENO	70	2691									
7	UR-03	6	91.200	91.770	9.00	ASFOCADO BUENO	70	2691									
8	UR-03	7	91.770	92.940	9.00	ASFOCADO BUENO	70	1796									
9	UR-03	8	92.940	94.340	9.00	ASFOCADO BUENO	70	1796									
10	JA-08	1	0.000	16.00	8.00	ASFOCADO BUENO	70	1796									
11	JA-08	2	16.00	23.00	8.00	ASFOCADO BUENO	70	1796									
12	JA-08	3	23.00	24.60	8.00	ASFOCADO BUENO	70	1796									
13	UR-20a	1	1.270	4.690	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
14	UR-20a	2	4.690	6.020	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
15	UR-20a	3	6.020	6.490	5.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
16	UR-20a	4	6.490	7.780	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
17	UR-20a	5	7.780	8.720	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
18	UR-20a	6	8.720	9.990	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
19	UR-20a	7	9.990	12.25	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
20	UR-20a	8	12.250	12.820	6.00	ASFOCADO BUENO	90	763									
21	UR-20a	9	2.020	15.60	6.00	ASFOCADO BUENO	70	763									
22	UR-20a	10	2.540	16.90	6.00	BUENO	60	432									
23	UR-20S	1	0.000	1.900	6.00	ASFOCADO BUENO	90	1057									
24	UR-20S	2	1.900	2.380	4.00	ASFOCADO BUENO	40	1257									
25	UR-20S	3	2.380	4.930	8.00	ASFOCADO BUENO	90	1057									
26	UR-20S	4	4.930	5.940	8.00	ASFOCADO BUENO	90	125									
27	UR-20S	5	5.940	5.930	5.00	HORMIGON BUENO	40	125									
28	UR-20S	6	5.930	6.880	5.00	HORMIGON BUENO	40	125									
29	UR-20S	7	6.880	10.520	8.00	ASFOCADO BUENO	90	125									
30	UR-20a	1	0.000	1.040	6.00	ASFOCADO BUENO	90	388									
31	UR-20a	2	1.040	2.340	6.00	ASFOCADO BUENO	70	388									
32	UR-20a	3	2.340	2.770	6.00	ASFOCADO BUENO	40	388									
33	UR-20a	4	2.770	3.820	7.00	ASFOCADO BUENO	40	388									

Los datos anteriores se manipulan utilizando el método expuesto en las “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras. Actualización de la previsión del tráfico, valor del tiempo, costes de accidentes y combustibles.” del Servicio de planeamiento del Ministerio de Fomento (edición 1993).

Se tienen en cuenta los siguientes costes en un año:

- Coste de conservación, que se calcula como el 1,5 % valor actual del tramo.
- Coste de accidentes, calculando de acuerdo con los valores utilizados por las compañías aseguradoras, 30.000 euros cada herido, y 150.000 euros cada muerto. Estos se determinan de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$NH = N \cdot K = K \cdot 365 \cdot IMD \cdot L \cdot IP \cdot 10^{-8} \text{ siendo } K=1,76$$

$$NM = 365 \cdot IMD \cdot L \cdot IP \cdot 10^{-8}$$

- Coste del mantenimiento de los vehículos, que es función de su velocidad, y que por lo tanto se calculará como diferencia entre el coste a la velocidad ideal (90 Km/h), y la velocidad actual de la carretera. La fórmula utilizada será:

$$C_m = 365 \cdot IMD \cdot L \cdot 0,179 \cdot (V^{-0,44} - 90^{-0,44})$$

- Coste del tiempo de recorrido, que es función de su velocidad, y que por lo tanto se calculará como diferencia entre el coste del tiempo a la velocidad ideal (90 Km/h), y el coste del tiempo a la velocidad actual de la carretera. La fórmula utilizada será:

$$C_t = 365 \cdot L \cdot (12,75 \cdot IMD_L + 21,86 \cdot IMD_p) \cdot (1/V - 1/90)$$

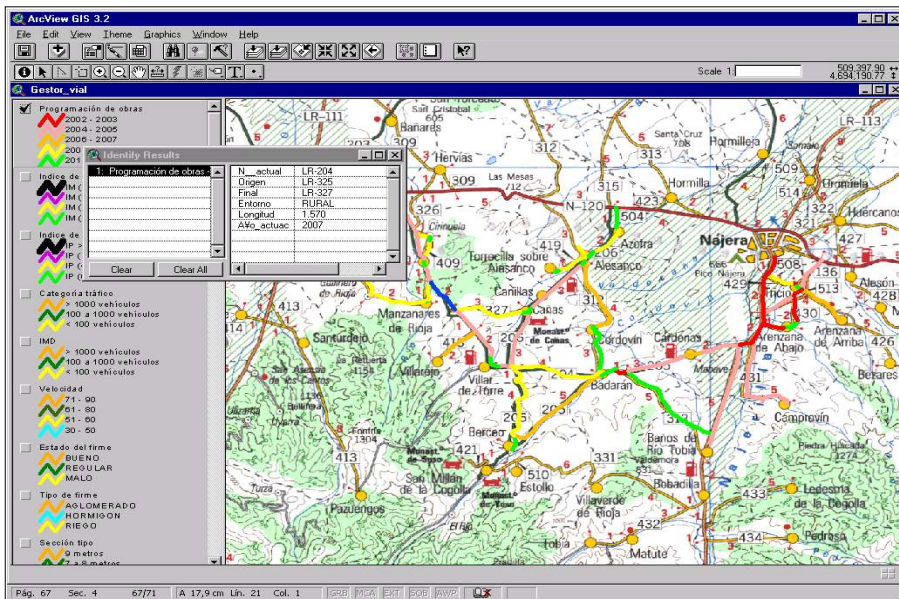
- Coste del amortización considerando una vida útil de la carretera de 10 años, y un cálculo lineal de las amortizaciones.
- El coste anual será la suma de todos los costes anteriores, considerando que una inversión es rentable siempre que sea menor que los costes de conservación que suponen la no inversión, el año idóneo de actuación será el cociente entre el valor del coste de la inversión prevista y el coste anual, de acuerdo con la fórmula:

$$C = C_c + C_a + C_m + C_t + C_{am}$$

$$N = I/C$$

$$\text{Fecha inversión} = 2.003 + N$$

Una vez efectuado el correspondiente cálculo, se podrá obtener un mapa temático en el cual aparecerán los tramos de carreteras, y el año en que se propone la actuación en los mismos.



## 5.- Conclusiones.

El presente trabajo, supone un esfuerzo de recopilación de la información existente sobre la gestión de infraestructuras viarias mediante el uso de sistemas de inteligencia artificial, habiendo desarrollado un método de análisis de prioridad de inversiones en una red de carreteras. El objetivo primordial de suministrar al sujeto decisor una justificación inversora dependiente de las características del tráfico en la red de carreteras y de la propia red, se puede entender alcanzado.

No obstante, se evidencia una limitación importante en el propio trabajo realizado, puesto que el método propuesto solamente supone una herramienta de planificación, pero no incluye el seguimiento de los resultados y la eficacia de las inversiones (mejora de seguridad vial, evolución del tráfico tras las actuaciones...), lo cual abre la puerta a posibles líneas investigaciones, que podrán ser objeto de próximas comunicaciones

## **8.- Agradecimientos.**

Se quiere agradecer el interés prestado por el personal de la Consejería de Vivienda, Obras Públicas y Transportes y de la Consejería de Turismo y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja, sin cuya inestimable colaboración no podría haberse llevado a cabo este estudio.

## **9.- Referencias.**

LUIS EDUARDO GONZÁLEZ M.; LUIS CARLOS SANTA L.; OSCAR VILLACI D., JAIRO ROSERO N.; CIRO JARAMILLO M.: “La evaluación de impactos ambientales de carreteras asistido por sistemas de información geográfica, un enfoque metodológico”. Universidad Del Valle, Colombia.

JUAN JOSÉ JARILLO RODRÍGUEZ. Revista de obras públicas (diciembre 2001): “Carreteras y usuarios, calidad de servicio”. Universidad Politécnica de Madrid

UNDERSTANDING GIS. ESRI (1992) “The Arc/Info method”.

CARMONA, A. J.; MONSALVE, J. J.: “Sistemas de información geográficos”

SERVICIO DE PLANEAMIENTO (MINISTERIO DE FOMENTO 1993): “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras. Actualización de la previsión del tráfico, valor del tiempo, costes de accidentes y combustibles.”



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### APLICACIONES DE LOGICA DIFUSA EN INGENIERIA GRÁFICA

### APPLICATIONS OF THE LOGICAL DIFFUSE IN GRAPHIC ENGINEERING

ALONSO RODRÍGUEZ, José Antonio; TRONCOSO SARACHO, José Carlos

<sup>(1)</sup>Universidad de Vigo, España

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Departamento de Diseño en la Ingeniería  
Correo electrónico: jaalonso@uvigo.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Vigo, España

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Departamento de Diseño en la Ingeniería  
Correo electrónico: tsaracho@uvigo.es

### RESUMEN

En la realidad cotidiana de la ingeniería gráfica se toman constantemente decisiones. Obviamente no todas las decisiones son absolutas del tipo si/no, blanco/negro, etc; un ejemplo claro de esta afirmación son las tolerancias dimensionales, donde una cota inicial teórica, se convierte en un rango de valores validos. Constantemente, y de forma intuitiva tenemos en cuenta una serie de factores que no valoramos de forma absoluta, y nos crea la incertidumbre de que la decisión tomada sea la correcta.

En esta ponencia se recuerda que existe una poderosa herramienta matemática, que es la lógica difusa (lógica borrosa, lógica fuzzy), que nos puede permitir formalizar y estandarizar, y de este modo facilitar, la toma de decisiones sin utilizar únicamente variables booleanas. Veremos una aplicación de lógica difusa para determinar la geometría de una herramienta de corte.

**Palabras clave:** lógica difusa, geometría, herramienta de corte.

## ABSTRACT

In the daily reality gives the graphic engineering they constantly take decisions. Obviously no all the decisions are absolute gives the type yes/no, white/black, etc; a clear example gives this statement they are the dimensional tolerances, where a theoretical initial bench mark, becomes a range he gives worth securities. Constantly, and give intuitive form we have in it counts a series of factors that we don't value gives absolute form, and he believes us the uncertainty gives that the taken decision is the correct one.

In this report it is remembered that a powerful mathematical tool exists that is the diffuse logic (logic blurred, logical fuzzy) that can allow us to formalize and to standardize, and this way to facilitate, the taking of decisions without only using Boolean variables. We will see an application he/she gives logical diffuse to determine the geometry gives a tool gives court.

**Key words:** diffuse logic, geometry, tool gives court.

## 1. Introducción

Uno de los desafíos a los que se enfrentan las ciencias y las matemáticas en el último siglo es el manejo del concepto de incertidumbre. En las ciencias, en general, en los últimos años esta preocupación se refleja en el hecho de que un concepto en principio indeseable, que se debería evitar a toda costa, se está convirtiendo en un concepto admisible con el que se puede trabajar y además, se quiera o no, no se puede evitar, pues el mundo que nos rodea es en gran medida incierto en muchos de sus aspectos.

La visión tradicional de las ciencias que pretendían obtener resultados exactos de todos los problemas que se planteaban, estaba relacionada con palabras como certeza, precisión, exactitud, nitidez, etc. Esta visión por lo tanto hacía ver que los conceptos inversos, es decir, incertidumbre, imprecisión, inexactitud, vaguedad, fueran asociados a cuestiones no científicas.

A principios del siglo XX la visión newtoniana de las ciencias se vio claramente insuficiente cuando los estudios de la materia se iniciaron a nivel molecular. La exactitud y precisión de las leyes de Newton que regían la mecánica a nivel macroscópico se vieron sustituidas por conceptos estadísticos de probabilidad e incertidumbre que dominaban en la mecánica cuántica.

En realidad ambos métodos o enfoques no son contradictorios, si no complementarios. Donde uno funciona bien el otro no responde adecuadamente y viceversa.

A pesar de que estos métodos son ampliamente complementarios, estos dos métodos cubren una pequeña parcela de los problemas a los que el ser humano ha de enfrentarse. Warren Weaver (Weaver, 1948) se refiere a estos problemas como problemas de «organizada simplicidad» o «desorganizada complejidad», y argumenta que este tipo de cuestiones únicamente representa una pequeña parte de los problemas a los que el ser humano debe enfrentarse. La mayoría de las cuestiones están entre



estos dos extremos y en ellas se ven involucrados sistemas no lineales con gran cantidad de variables ampliamente interconectadas y que además tienen un fuerte carácter no-determinístico, pues son fruto de algún otro sistema de carácter aleatorio.

En general el ser humano trata con sistemas complejos a los que trata de emular, modificar, predecir. Estos sistemas no pueden ser representado por una simple fórmula matemática pues no responden de forma lineal. Además en muchas ocasiones el hombre interactúa con dichos sistemas haciendo su respuesta mucho mas incierta dado que el comportamiento del ser humano dista mucho de ser un sistema independiente que pueda ser modelizado y aislado de influencias externas que influyan sobre su comportamiento.

El comportamiento de muchos de los sistemas que nos rodean dista mucho de lo exacto y lo preciso. Es por lo tanto aquí donde surge la idea de la incertidumbre. Las cosas no son ni blancas ni negras, si no que pueden ser de color gris, y debemos descartar la idea de solución única. La solución no es «lo blanco» o lo «negro», si no que una solución aceptable en función de un determinado criterio puede ser un ligero tono «gris claro».

La incertidumbre considerada aisladamente puede resultar indeseable, sin embargo en determinados sistemas puede ayudar a reducir la complejidad y a aumentar la credibilidad del sistema que pretendemos simular. Se puede hablar de «imprecisión en la medida» en términos de: incertidumbre, imprecisión, inexactitud. También podemos hablar de imprecisión bajo el punto de vista probabilístico, y entonces podemos usar términos del tipo: incierto, probable. Finalmente podemos hablar de imprecisión en la descripción de algo y entonces podremos usar adjetivos del tipo: vago, borroso, posible.

Este tipo de proposiciones forman el núcleo de la relación de las personas con la cuestiones habituales del mundo real, con las que tienen que trabajar. Como se puede ver, en principio, son incompatibles con los tradicionales sistemas y modelos de información clásicamente ingenieriles.

Considérese la siguiente situación: dos personas viajan en un vehículo y se disponen a aparcarlo, como el espacio es pequeño una de ellas se baja del mismo y se dispone a dirigir la operación de aparcamiento desde el exterior del vehículo. Entonces se dirige al conductor con expresiones de este tipo:

«dale un poquito para atrás»

«despacio hacia adelante»

«gira un pelo a la derecha»

«vuelve a girar al otro sentido a tope»

«hacia atrás un casi nada»

No cabe la menor duda que la persona aparcará el vehículo y además no hará daño a ninguno de los otros aparcados. Estas expresiones utilizadas no cabe duda que son un claro exponente de imprecisión y vaguedad y sin embargo han servido de forma eficiente para realizar un acto concreto.

Imaginemos la misma situación pero la persona que está fuera del vehículo se dirige al conductor con expresiones de este tipo:

«dale 33 cm. hacia atrás»

«hacia adelante a 7 Km. por hora durante 0.5 segundos»

«gira 2 grados a la derecha»

«vuelve a girar al otro sentido 66 grados»

«hacia atrás 12 cm.»

Vemos pues que la vaguedad no es sinónimo de confusión ni de imprecisión en sentido estricto, muy al contrario podemos incluso beneficiarnos de ella. Además es claro que el ser humano habitualmente se expresa de la primera forma y este tipo de expresiones que los demás seres humanos son capaces de procesar, serían en principio, intratables por un ordenador.

Los sistemas actuales altamente basados en procesar la información mediante el uso de ordenadores requieren evidentemente un alto grado de precisión en la información que se les facilita. Cómo se puede salvar esta aparente distancia entre el tipo de información requerido por las máquinas y la información que intercambian entre sí los seres humanos. El objetivo es claro si el ser humano puede tomar decisiones y actuar en condiciones y con informaciones difusas, por qué no pueden hacerlo las máquinas.

Las afirmaciones que se han hecho hasta aquí cobran especial importancia en determinados campos de la ingeniería en donde la información con la que se trabaja o la información de la que se dispone presenta esta característica antes mencionada de difusa, vaga o altamente imprecisa, y no es posible cambiar el modo de operar pues ciertos datos son difícilmente cuantificables de forma precisa.

## **2. Evaluación de la geometría de una herramienta de corte.**

La selección de la geometría de la herramienta de corte es un aspecto importante en el diseño del cualquier proceso de maquinado y es una tarea compleja debido a la gran cantidad de consideraciones que influyen en ella, en el presente trabajo se ha desarrollado una metodología que permite contar con una geometría de referencia como base para escoger la herramienta con la forma más adecuada en operaciones de torneado.

Sandvik Coromant™, fabricante de herramientas de corte utiliza una magnitud denominada “energía específica de destrucción” (D), para caracterizar los materiales de las herramientas de corte.

$$D = \frac{S_b^2}{E} \quad \text{donde:}$$

$D$ : Energía específica de destrucción [MPa]

$S_b$ : Resistencia a flexión del material [MPa]

$E$ : Módulo de elasticidad del material [MPa]

La energía específica de corte ( $p_s$ ), es una magnitud que cuantifica la energía necesaria por unidad de volumen del material de trabajo para desprenderlo en el proceso de maquinado.

Kaldor propuso un método para evaluar la geometría de las herramientas de corte, el cual se presenta a continuación.

Terminología:

$\overline{\sigma_r}$ : Número geométrico.

$(\overline{\sigma_r})_{opt}$ : Número geométrico optimo.

$\lambda_s$ : Angulo de inclinación del filo principal.

$\sigma_n$ : Angulo de incidencia normal.

$\gamma_n$ : Angulo de desprendimiento normal.

$\beta_n$ : Angulo de punta =  $90 - \alpha_n - \gamma_n$

$D$ : Energía de destrucción de la herramienta.

$p_s$ : Energía específica de corte del material de trabajo.

$$\overline{\sigma_r} = \cos^2 \lambda_s \frac{\sin\left(\sigma_n + \frac{\beta_n}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta_n}{2}\right) \left(\frac{\beta_n}{2} + \frac{1}{2} \sin \beta_n\right) - \cos\left(\sigma_n + \frac{\beta_n}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta_n}{2}\right) \left(\frac{\beta_n}{2} - \frac{1}{2} \sin \beta_n\right)}{\left(\frac{\beta_n}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{2} \sin \beta_n\right)^2}$$

$$(\overline{\sigma_r})_{opt} = \log_{10} \left( \frac{D}{p_s^2} \right) + 4.73$$

De acuerdo con el trabajo de Kaldor, para una geometría en particular, entre más cercano se encuentre  $\sigma r$  de  $(\sigma r)_{opt}$ , más confiable es dicha geometría. Lo anterior no significa que una geometría definida arbitrariamente con un número geométrico igual al valor óptimo es realmente una geometría confiable. Los valores adecuados de geometría del filo, son el resultado de la experiencia o de ensayos cuidadosamente ejecutados.

### 3. Diseño de los sistemas de lógica difusa (SLD<sub>s</sub>).

La selección de la geometría de la herramienta de corte es un aspecto importante en el diseño del cualquier proceso de maquinado y es una tarea compleja debido a la gran cantidad de consideraciones que influyen en ella, en el presente trabajo se ha desarrollado una metodología que permite contar con una geometría de referencia como base para escoger la herramienta con la forma más adecuada en operaciones de torneado.

En la Figura 1 se presenta la configuración geométrica de la herramienta de torneado típica. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la información sobre geometría optima recomendada para varias combinaciones de materiales de herramienta y materiales de trabajo.

En la Figura 2 se muestra la distribución de los datos de entrenamiento, debido a que no existen datos en la región  $13.4 < D < 58.3$ , lo mas conveniente es crear un SLD para la región  $1.36 < D < 13.4$  y uno para la región  $58.3 < D < 68.76$ .

Para crear los SLDs se utilizó la herramienta UNFUZZY™, y se realizó el entrenamiento con universos fijos.

Se diseñaron en total seis (6) SLDs del tipo Takagi-Sugeno-Kang de orden cero (0), es decir dos sistemas para cada uno de los tres ángulos, cuyas entradas son  $D$  (energía de destrucción de la herramienta) y  $P_s$  (energía específica de corte del material de trabajo), y cuyas salidas son cada uno de los ángulos  $\lambda_s$ ,  $\gamma_n$  y  $\alpha_n$ .

Los datos de entrenamiento son los presentados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, a manera de ilustración.

Cada SLD es una función no lineal de  $D$  y  $p_s$  para determinar los ángulos respectivos:

$$\alpha_n = F_{SLD}(D, p_s)$$

$$\gamma_n = F_{SLD}(D, p_s)$$

$$\lambda_s = F_{SLD}(D, p_s)$$

Debido a los escasos datos para realizar el modelado, se utilizaron todos para entrenar los sistemas, sin realizar el procedimiento normal de utilizar entre un 10% y 20% de los datos para verificación.

Como alternativa, y utilizando como base el trabajo de Kaldor para evaluar la geometría de la herramienta de corte se propone un método en dos pasos para evaluar la confiabilidad de las salidas:

1. Se calcula  $(\sigma_r)_{opt}$  y el valor de  $\sigma_r$  y para la geometría calculada por el SLD.

2. Se calcula un índice de confiabilidad definido como:  $100 \left[ 1 - \left| \frac{\sigma_r - (\sigma_r)_{opt}}{(\sigma_r)_{opt}} \right| \right] \%$

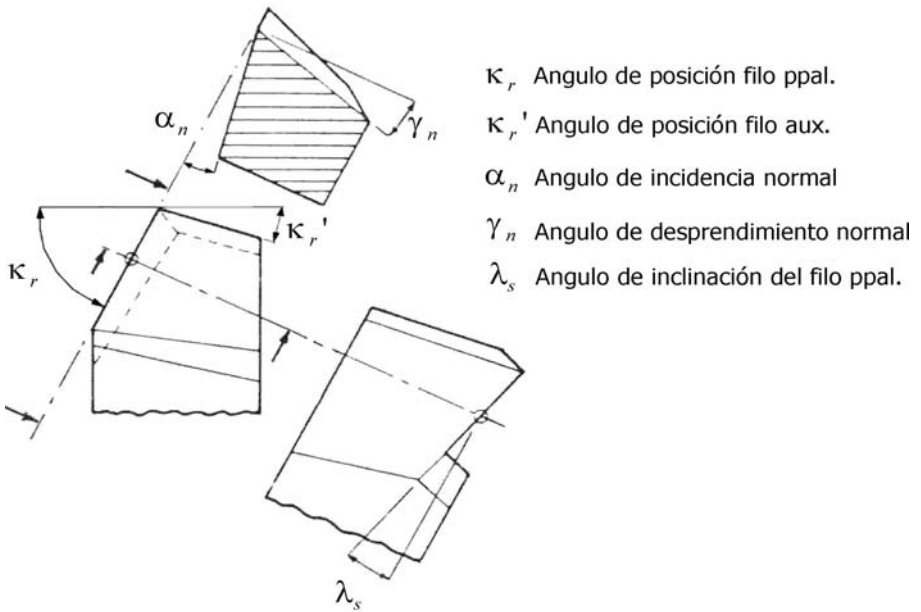


Figura 1: Geometría normal de la herramienta de torneado típica

Material herramienta	Material de trabajo	$\sigma_n [^\circ]$	$\gamma_n [^\circ]$	$\lambda_s [^\circ]$
Carburo M40, P40	Aluminio de baja aleación	8.13	17.90	10.70
Acero rápido M2	Aluminio baja aleación	10.00	35.00	0.00
Carburo P30	Aluminio duro	7.90	15.60	2.30
Cerámica 690	Bronce	12.60	0.00	0.00
Carburo P30	Cobre	6.90	18.00	-1.30
Carburo M40, P40	Cobre	10.60	19.40	7.50
Acero rápido M2	Cobre	12.80	21.30	10.40
Acero rápido 17(+Co)	Cobre	16.00	18.00	28.00
Cerámica 620	Acero al carbono (AISI 1045)	6.20	-16.00	-20.00
Carburo P30	Acero al carbono (AISI 1045)	18.00	-18.00	-16.00
Carburo M40, P40	Acero al carbono (AISI 1045)	11.00	0.00	7.00
Acero rápido M2	Acero al carbono (AISI 1045)	8.00	24.00	4.00
Acero rápido 17(+Co)	Acero al carbono (AISI 1045)	13.00	15.00	28.00
Cerámica 650 *	Acero duro (AISI 4340)*	4.80*	-25.30*	2.00*
Cerámica 690	Acero duro (AISI 4340)	4.80	-25.40	2.00
Carburo P30	Acero duro (AISI 4340)	4.80	-6.10	-3.50
Carburo M40, P40	Acero duro (AISI 4340)	7.24	7.75	13.40
Acero rápido M2	Acero duro (AISI 4340)	8.00	9.80	5.70
Acero rápido 17(+Co)	Acero duro (AISI 4340)	19.50	8.70	30.00
Carburo M40, P40	Aceros de alta resistencia (AISI 9250)	11.00	0.00	7.00
Acero rápido M2	Aceros de alta resistencia (AISI 9250)	5.80	15.50	4.10

Tabla 1: Valores recomendados de  $\alpha_n$ ,  $\gamma_n$  y  $\lambda_s$

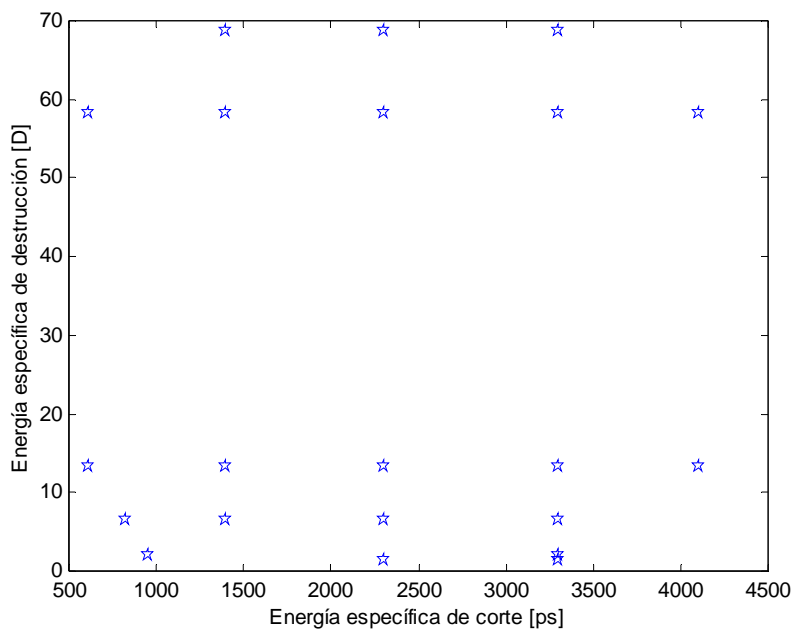


Figura 2: Distribución de los datos de entrenamiento para  $\alpha_n$ ,  $\gamma_n$  y  $\lambda_s$

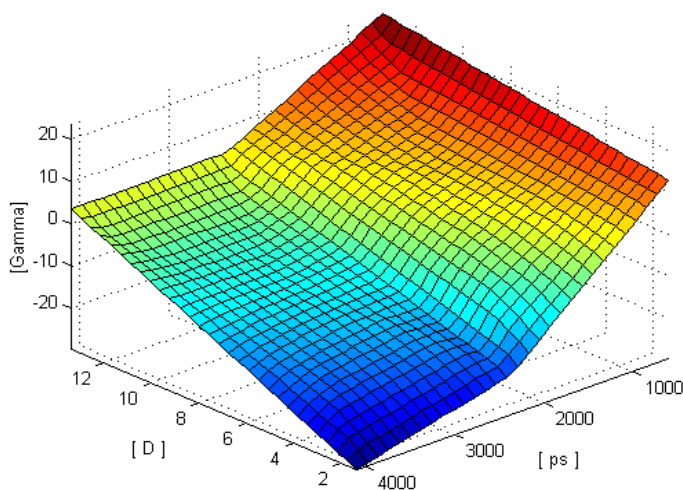


Figura 3: Función de transición generada por el SLD para calcular  $\gamma_n$  en la región  $1.36 < D < 13.4$

#### 4. Ejemplo de uso del prototipo.

Se requiere realizar el maquinado de torneado a un eje de acero AISI 403 (acero inoxidable martensítico). El eje tiene un diámetro de 60 mm y debe cilindrarse hasta 54 mm en una longitud de 100 mm. Se dispone de herramientas de carburo soldado grado P40 para realizar el maquinado.

Los datos de entrada para los sistemas de lógica difusa son:

1. Energía específica de corte del material de trabajo : 2156 MPa
2. Energía específica de destrucción del carburo P40: 13.4 MPa.

La geometría que se calcula con los Sistemas de Lógica Difusa es:

$$\alpha_n: 11.5^\circ, \gamma_n: 6.0^\circ, \lambda_s: 6.4^\circ$$

La confiabilidad de este resultado es 95%.

#### 5. Consideraciones Finales

Es importante e interesante un uso formal y sistemático de la lógica difusa, algo que en ingeniería se viene haciendo con técnicas como las tolerancias, y en muchas ocasiones de modo “intuitivo”. Como aplicación se propone un método basado en Lógica Difusa, para modelar el conocimiento relativo a la geometría de la herramienta de corte. Los datos disponibles y confiables para entrenar los Sistemas de Lógica Difusa, son muy pocos comparados con el espacio del problema, por esta razón no se realizó el procedimiento normal de utilizar un porcentaje de los datos para verificar el sistema. Se debe complementar el trabajo realizado con verificación experimental para validar por completo el método propuesto para estimar la geometría adecuada de la herramienta de corte.

#### Referencias

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. *Metals Handbook 9th ed., Vol. 16: Machining*, A.S.M. International, 1989.

AMJED, Al-Ghanim. PRASAD, Nadipuram and ROACH, Fred. *A Fuzzy Neural Approach for Computer Aided Process Planning of Milling Parameters and Strategies*. Intelligent Automation and Soft Computing. Vol. 1. M. Jamshidi, Editor. TSI Press. 1994

DUARTE, Oscar G. *UNFUZZY Software para el análisis, diseño, simulación e implementación de Sistemas de Lógica Difusa*. Tesis de Magíster en Automatización Industrial. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 1997.

GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*, Prentice-Hall, 1997.

KALDOR, S., and VENUVINOD, P., *Macro level optimization of cutting tool geometry*, A.S.M.E. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 119, p. 1, 1997.





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ASPECTOS HISTÓRICO - GRÁFICOS DE UNA OBSERVACIÓN A ESCALA INTERCONTINENTAL: LAS INSTRUCCIONES DEL COSMÓGRAFO LOPEZ DE VELASCO.

ESTEVE SECALL, Carlos E.

<sup>(1)</sup>Universidad de Granada, España

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería  
Correo electrónico:vecall@eresmas.com

Este experimento científico se enmarca en la España del siglo XVI, en el reinado de Felipe II, con la creación del cargo científico de Cosmógrafo Cronista Mayor del Real Consejo de Indias, el de mayor rango de su época con el deseo que sus navíos atravesarán con mayor seguridad el ancho océano, por lo que sus pilotos deberían poseer cartas marítimas más exactas e instrumentos más fiables.

Con ello pretendía que hubiera en el Consejo de Indias, un científico experto en cosmografía y náutica para que pudiera satisfacer sus reales deseos que a su vez determinaban la salud económica del imperio.

El sueño de una Monarquía Universal, basado en el carácter planetario y en el catolicismo efectivo de la corona española, podía hacerse realidad ya que los instrumentos para conseguirlo eran : el dominio sobre el mar, el conocimiento del arte de marear y la posesión de la mayor flota de su tiempo. El monarca español podía encarnar dicha monarquía y él sabía que el dominio ó lo que es lo mismo el poder, está íntimamente ligado al saber, a la capacidad científica, en una palabra a la superioridad técnica.

El 20 de octubre de 1571 es nombrado en el cargo de Cronista y Cosmógrafo Mayor de las Indias: Juan López de Velasco.

Era un hombre de una gran formación humanística pero no matemática, ya que el encargo por parte del Consejo de Indias de la reforma de las cartas e instrumentos de navegación fue inicialmente, desempeñado por Juan de Herrera, solicitándole únicamente su informe emitido en Madrid en 1583, en donde además de plantear la necesidad de comprobar los instrumentos de Herrera, afirmaba que “ *se deberían observar los eclipses de luna que sucediesen para averiguar las longitudes*

y *distancias de una provincia a otra* “ y terminaba dando el respaldo al arquitecto con estas palabras “*si son los ynstrumentos que a hecho Juan de Herrera, maestro mayor de obras de su Majestad, bien se pueden tener por ciertos y bien entendidos.*”

Tres años más tarde el cosmógrafo del Palacio y astrólogo real el milanés Juan Bautista Gessio informó negativamente sobre una obra de López de Velasco : *Geografía y Descripción Universal de las Indias*; no se sabe con seguridad, las oscuras razones que motivaron esta animadversión manifiesta entre ambos científicos.

Llegado a este punto es necesario comentar el problema del calculo de la longitud. La determinación de esta magnitud ha planteado a un verdadero problema desde que el hombre se lanzó a la navegación astronómica.

El asunto llegó a ser de tal importancia que todos los gobiernos ofrecieron grandes sumas a la persona que propusiera un método que obtuviese la longitud con una precisión de un grado aproximadamente.

El rey Felipe III, en España convocó un concurso y luego otras naciones como Holanda, Inglaterra y Francia ofrecieron asimismo premios en este sentido, llegando aspirar el célebre Galileo Galilei que entre 1612 y 1632 se presentó en cuatro ocasiones.

Su solución se basaba en los eclipses de los satélites de Júpiter, fenómenos que se repiten diariamente varias veces y que pueden ser observados simultáneamente desde el lugar cuya longitud se desea conocer y desde otro lugar tomado como meridiano de referencia.

Otros método es la observación de los eclipses de luna, de gran complejidad, pero el método más sencillo consistía en el uso de relojes, ya que la comparación con la hora local nos suministra inmediatamente la longitud, método ya expuesto en 1524 en la Junta de Badajoz por Hernando Colon, hijo del gran descubridor, que proponía el método del transporte de relojes, pero los avances en cronometría solo pudieron resolver este problema en el año 1724, con la invención del péndulo compensado.

Pero donde deseo hacer hincapié es en la redacción de las Instrucciones para la observación de los eclipses en España y América y la terminación de la Estadística de las Indias, para poder determinar la situación geográfica de los pueblos más importantes, que lleva por titulo:

*“Instrucciones para la observación del eclipse de luna y cantidad de las sombras que S.M. mandó hacer el año de mil y quinientos y setenta y siete, y los que se siguen en las ciudades y pueblos Españoles de las Indias. Para verificar otros medios matemáticos para ellos, se han elegido por más fáciles los que se siguen “*

Aunque en esta época el nivel alcanzado en la observación astronómica era elevado, el cosmógrafo López de Velasco quiso verificar las coordenadas geográficas

de las poblaciones de Indias con una triple finalidad: primera dando un carácter intercontinental, ya que debería realizarse en el mayor número de poblaciones, segunda imprimiendo, un carácter universalista al detallar un procedimiento que cualquier persona aun sin preparación científica podría tomar los datos astronómicos de la duración de dicho eclipse y tercera explicitando la uniformidad del método a realizar por los observadores.

El procedimiento que proponía era simple: Primero y previamente a la fecha de observación del eclipse había que trazar la línea meridiana por el método de las

30

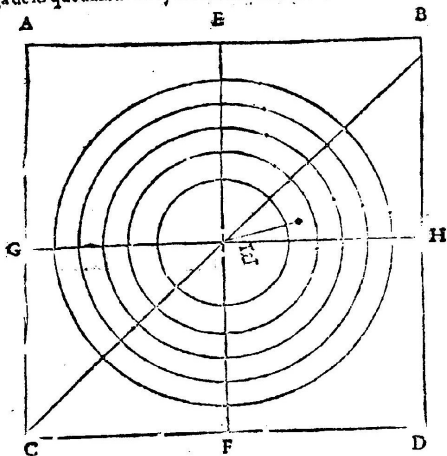
## LIBRO DE

Meridiana, durara toda la vida, y mientras viere Sol y movimiento, al punto del medio día caera la sombra por lo largo desta linea, o de otras a ella paralelas.

### Capítulo IIII. Del modo que se terná para hallar la línea Meridiana, con las otras rayas de los vientos.

**E**L fundamento y principio de quien depéde todo el vfo de los relojes solares, que en el presente libro declaramos, es la línea Meridiana: y por esta causa conuiene, demos luego ante todas cosas orden y modo para hallarla, lo mas facil y breueméte que podamos. Dexádo muchos modos aparte, así porque ay en ellos ocasiones para engañar, como tambien porque son molestos, pornemos vno solo, de todos el mas facil, mas breue, mas cierto, y menos subjeçio a errores.

Tomareys vn pedaço de tabla muy y qual, o de qualquier otra cosa, o en el mismo suelo escogereys vn lugar bien llano y niuelado, porque si ay altos y baxos, no hallareys la verdad por la sombra, la qual con los altos se encoge, y se haze menor de lo que realmente es, y con los hoyos y baxos se estiende, y se haze mas larga de lo que auia de ser: y sea el llano A B C D, donde señalado vn pun-



sombras.

Este método de índole geométrico que se ejecuta "in situ" no es otro, sino el descrito por Pedro Roiz en su obra *Libro de los Relojes Solares*, (Valencia 1575) además es el utilizado por la mayoría de los tratadistas desde Pedro Apiano, Gemma Frisius, pasando por Martínez Población, Gines Rocamora y García Céspedes entre otros.

La institución de Velasco decía:

*“.....Sobre alguna cosa de barro duro, cal, yeso o de madera, se haga un plano ó llanura de hasta una vara en quadro a regla y nivel.....*

*..... y en el medio del con un compás, que se podrá hazer de madera( en el caso que no le aya de otra cosa ) hazerse han dos círculos redondos, uno dentro del otro, desde un mismo centro...*

*.....que para un circulo estara abierto una tercia de vara de medir de punta a punta y para el otro tercio y medio...*

*.....pondrase hincado en el centro y punto de en medio un clavo ó estilo de hierro, o de madera, derecho, liso, y delgado de una tercia de largo justa, y levantado a nivel... como se podra nivelar con un hilo delgado de que cuelgue algún pequeño peso...*

*.... mirarse ha con atención después de salido el Sol, la parte y punto de la raya del circulo mayor por donde la sombra del estilo viniere a meterse toda en él...*

*.....y habiendo tomado los dichos dos puntos de la entrada y salida de la sombra en cada uno de los círculos, echarase otro punto tercero en la circunferencia de cada uno de ellos, en medio de los primeros...*

*...y quitando el stylo de su lugar, poner ha una regla bien ajustada, desde el punto de en medio de un circulo, hasta el del otro y tirarse ha una línea larga que atraviese los círculos, y el plano que se llamará Línea Meridiana, porque yra derecha del Norte al Mediodía.”*

Este método nos lo versifica y dibuja Juan de Arfe con gran sencillez y precisión en su tratado *De varia Commensuración para la Esculptura y Architectura*, Sevilla 1585.

*‘El reloj a de estar en parte llana*

*y a de estar assentado al medio día*

*y tomarse la línea Meridiana,*

*con un perno clavado en recta vía.*

*El Sol haze su sombra de mañana*

*Señalase y después esta es la guía*

*Por do el compás nos muestra aquella parte  
En que se media el día y se reparte.”*

Considerando que la vara castellana medía aproximadamente 83,60 cm, las medidas de los elementos a utilizar serían:

Un tablón ó elemento rígido horizontal de 83,00cm x 83,60 cm

Dos circunferencias a dibujar : una de 55,80 cm de diámetro  
otra de 74,40 cm de diámetro.

Un estilo ó gnomon de 27,90 cm de longitud.

En segundo lugar, da instrucciones para la construcción de un instrumento a dos caras con estilos en ambas colocado de canto sobre la línea meridiana antes determinada, para poder medir la sombra de la luna para cualquier longitud del lugar donde se observase el fenómeno, medición que habría que copiar sobre una hoja de papel y hacerlo por duplicado para remitirlo al Consejo de Indias.

SEGUNDA  
PARTE, EN QUE  
SE PONE VNA HYDRO-  
grafia que mando hazer su Ma-  
gestad a Andres Garcia de Cespedes,  
su Cosmografo mayor.

*DIRIGIDA AL REAL CONSEJO DE  
las Indias, siendo en el Presidente el Conde  
de Lemos.*



EN MADRID,

*En casa de Juan de la Cuesta.*

La Instrucción de López de Velasco que reproduce García de Céspedes en su obra: *Regimiento de navegación* ( Madrid 1606 ), especifica:

*...” Hazerse ha un instrumento de dos hazes...*

*.. En un tablero de una tabla, ó más que sea de largo y ancho con un vara de medir... hacerse ha en cada una de las hazes un circulo, puesto el un pie del compás como el medio tablero y el otro a abierto de punta a punta una tercia justa..... y en el punto ó centro de cada parte, pondrase levantado un estilo delgado de hierro..... de hasta una tercia de largo cada uno, derechos y a nivel ..... y en el nacimiento de los stylos, junto a la tabla, colgarseles con una lazada floxa, un hilo delgado con alguna plomadilla al cabo, que llegue a salir toda fuera de la circunferencia de los círculos ...pero que no llegue ygualar el ancho de la tabla....pondrase dicho instrumento, levantado de canto sobre el plano do se tomó la sombra... a lo largo de la raya ó línea que va de Oriente a Poniente... levantado derecho, como le podrá ver si lo está por medio de los niveles ó hilos que colgaron de los estylos.*

*“...Y siendo puesto el dicho instrumento... echaranse luego dos `puntos, uno en la una haz y otro en la otra sobre la raya ó circunferencia del circulo de cada parte, por la parte por donde la cortare el hilo del nivel que colgase del estilo de cada uno de las dos hazes... ”*

*...Y anocheciendo, que comenzara a salir la Luna por la parte de Oriente... echarse ha en la haz en que la Luna diere un punto en la circunferencia del circulo por donde la sombra del estylo la cortare y después de passada la duración de la tiniebla y obscuridad de la Luna... hazerse ha otra señal, ó punto en la dicha haz y línea circular por donde la sombra del estylo la cortare...*

*...Y esto acabado en una hoja grande, no de pergamino, sino de papel de quatro pliegos... tan grande como el tablero, hacerse ha un circulo del mismo tamaño y anchor que fuere el de la parte y haz del instrumento donde la Luna y sombra della dio y señalase en el punto donde el hilo del nivel cayo sobre la línea circular, y los puntos de la sombra del estylo...*

*...por escrito junto de cada una de ello, qual es el del nivel, y qual el del principio del Eclipse y qual el del fin; de manera que en todo y por todo sea semejante.*

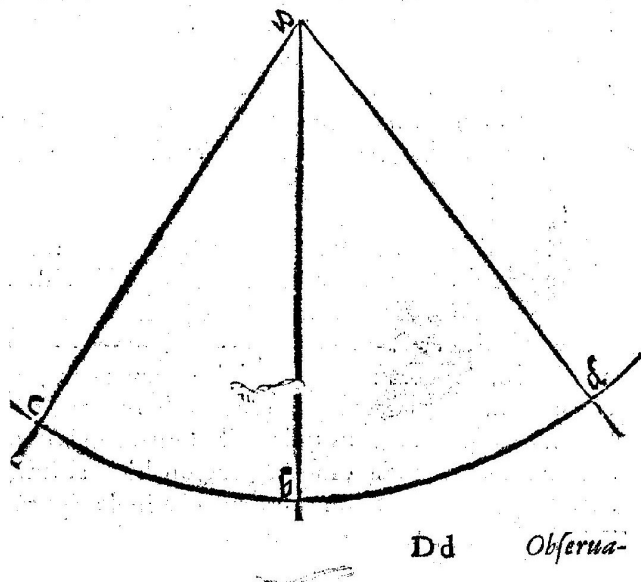
*...De lo qual se hará un duplicado y otro del papel de las cantidades y medidas del estilo... “*

el del principio del Eclypse, y qual el del fin; de manera, que en todo y por todo sea semejante la figura del papel a la del instrumẽto, y vna misma con ella, de lo qual se hara vn duplicado, y otro del papel de las cantidades y medidas del estylo, y sombra del Mediodia, y con los nombres de las personas que se huieren hallado a todo, los embiarán cada duplicado por sí a su Magestad, en su Consejo Real de las Indias.

Y aunque por ñublados, o otro impedimento, el Eclypse no se pueda obseruar el dia sobredicho; tomase la cantidad de la sombra del Mediodia en otro qualquiera en que se pueda hazer, y embiase la medida della, y del estylo, como queda dicho, con relacion del dia, mes, y año en que se huviere tomado, auisando de la causa de no se auer podido tomar el dia del Eclypse.

*Obseruacion de la cantidad de la sombra, hecha en Madrid, 26. de Setiembre, de 1577. años, cuyo estylo fue de una tercia de vara de medir justamente. Fue la sombra mayor que el estylo esta cantidad, —*

*Obseruacion del Eclypse de la Luna, del año 1577. en 26. de Hebrero, y en Madrid, hecha por mi suã Lopez de Velasco, cõforme a la instruccion y instrumẽto hecho para las Indias. Comienço del Eclypse, el punto, c. Fin del Eclypse, el punto, d. Lugar del estylo, el pũto, a. Cayda del perpẽdiculo, el punto, b.*



Como se puede apreciar es que sitúa en las dos caras del tablero, un estylo y una circunferencia de igual radio que en el primer experimento, para poder marcar sobre ella el principio y fin del eclipse lunar.

*Las medidas del instrumento a dos caras defieren de las reflejadas en la propia Instrucción Y Advertimientos de López de Velasco, según el manuscrito existente en la Biblioteca Nacional Códice número 56 ya que lo define de la siguiente forma:*

*“..En un ta blero que sea de largo como una cara de medir y de ancho como una tercia y quatro ó seys dedos de más; se hará un medio circulo en esta forma; pondrase el pie del compás en el medio del largo del uno de los mayores lados, un dedo u dos a dentro de la orilla no más: y con el otro pie abierto de punta a punta una tercia justa.....*

*...si la sombra cayo de la parte de septentrión el instrumento mira al sur ó Mediodía y al contrario si la sombra yva al sur el instrumento mire al norte, de manera que al lado largo de junto al estylo quede en lo alto y el otro lado largo al contrario arrimado todo sobre la línea del plano que va de Oriente a Poniente...”*

En este manuscrito el instrumento tiene igual funcionamiento, pero no hace falta construirlo en las dos caras del tablero porque previamente se ha calculado la sombra solar al mediodía para colocar el instrumento correctamente.

Este fenómeno fue observado en las ciudades y científicos siguientes:

Madrid	Juan López de Velasco y Andrés García de Céspedes.
Toledo	Juanelo Turriano y dr. Sobrino.
Sevilla	Rodrigo Zamorano.
Y en Mejico	Jaime Juan.

Otro cosmógrafo como García Céspedes, comprobó en Madrid el eclipse con un astrolabio de aproximadamente medio metro de diámetro, corrigiéndole en más medio grado la medición realizada por Velasco, y reflejando este error en su *Hidrografía*, segunda parte del *Regimiento de Navegación* :

*...”Juan López de Velasco se engaño en tomar la altura de la Luna al principio y fin del Eclipse ... porque al principio tuvo más de 41 grados y medio, y al fin más de 39...”*

Una segunda puntualización de Céspedes, se refiere a la inexistencia de un procedimiento fiable para conocer con exactitud la hora del principio y fin del eclipse, quejándose de la falta de “*doctrina ó diligencia*” para el conocimiento horario exacto del momento del fenómeno.

Para subsanar esta falta de rigor científico expone dos modos para evitarlo:

*...‘el uno de ellos es por doctrina de triángulos Esféricos, en el otro se procede por vía de un instrumento “:*

Instrumento de su invención, que explica y detalla basado en la proyección estereográfica de la Esfera.



A pesar de todo López de Velasco dio a esta observación y medición del eclipse una importancia y amplitud tal, que no volvieron a ser superadas hasta finales del siglo XVIII.

Con las contestaciones a este cuestionario el monarca español pudo confeccionar la descripción más completa del Nuevo Mundo, determinando con precisión las coordenadas de latitud y longitud de todos los municipios de su imperio y estableciendo un procedimiento fiable, con la intención de poder confrontar los resultados obtenidos.

En resumen la ejecución de este proyecto de medición del eclipse de Luna de febrero y septiembre de 1577, supuso el inicio de un plan sistemático de observación astronómica de gran envergadura, realizada por los cosmógrafos y otros funcionarios españoles en los dominios del monarca Felipe II.

## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**

---

### **DISTRIBUCIÓN DE REDES DE SERVICIOS ENERGÉTICOS MEDIANTE SISTEMA CAD**

**TURON RODRIGUEZ, Carlos (1); GOMIS SANCHEZ, Jordi (2)**

<sup>(1)</sup>Universidad ROVIRA I VIRGILI, España  
Departamento de INGENIERIA MECÁNICA  
Correo electrónico:cturon@etse.urv.es

<sup>(2)</sup>Universidad ROVIRA I VIRGILI, España  
Departamento de INGENIERIA MECÁNICA  
Correo electrónico:jgomis@etse.urv.es

### **RESUMEN**

La ponencia presenta el desarrollo de un programa informático de aplicación en proyectos de redes de servicios de calles y viales, que permite calcular la distribución adecuada de las redes de servicios propias de una calle (agua, teléfono, baja tensión, etc.), seleccionando las características técnicas de cada servicio, y generar los planos correspondientes al diseño. Está desarrollado para trabajar en un entorno de trabajo de tipo GUI (Interficie Gráfica de Usuario) que permite resolver las distintas implantaciones de servicios de una manera gráfica, haciéndolo muy fácil de cara al usuario.

La secuencia de ejecución seguida para este software está ORIENTADA A ACONTECIMIENTOS (el usuario decide que hacer y no es el software el que se lo impone), siguiendo las tendencias actuales de programación.

En el funcionamiento del programa se diferencian tres fases: En la primera se define la sección de la calle, en la segunda calcula la distribución de las redes de servicios seleccionadas y por último, la tercera fase, dibuja el resultado adaptándolo a la escala seleccionada por el usuario.

El hecho de que el programa permite el uso de distintas redes de servicios, así como la obtención de resultados para cualquier forma geométrica, junto con la facilidad de manejo comentada anteriormente, convierte al programa en una buena herramienta para los técnicos proyectistas de este tipo de instalaciones.

**Palabras clave:** Simulación, CAD, Software

# ABSTRACT

The present paper introduces the development of a software which can be applied to projects of systems of street and road facilities such as water, telephone, low tension, etc. The programme allows its user to calculate the suitable distribution of the street services, select the technical characteristics of each service and draw the resulting plans. The software has been developed as a GUI (Graphic User's Interface), which makes it very easy for its user to solve the different distributions of facilities in a graphic way.

This software has been developed to be used in a User Graphic Interface work environment, which allows the user to solve the different distributions of facilities in a graphic way. According to the present programming trends, it is the user who decides on the performance of the software (and not the software itself who decides what to do)

It performs three different stages: in the first place, it establishes the street section; secondly, it calculates the distribution of the selected systems of services and, finally, it draws the resulting plan on the scale chosen by the user.

The fact that the programme allows the user to work with different nets of services and to obtain results for any kind of geometrical pattern, together with its easy handling, makes it a good tool for technicians working with this kind of projects.

**Key words:** Simulation, CAD, Software

## 1. Introducción

La librería paramétrica Street-serv es un sistema informático que ayuda a todos los proyectistas a seleccionar y evaluar el mejor sistema de distribución de servicios energéticos (electricidad, telefonía, alumbrado, gas, agua, etc.) en una vía pública. Sencillos menús y quadros de diálogo lógicos ayudan a encontrar las soluciones más eficaces.

Con Street-serv para Autocad se pueden realizar proyectos de servicios energéticos para cualquier ancho de calle; seleccionar el número de servicios que se pretenden instalar en acera; y, para cada servicio escoger las características técnicas que correspondan (diámetro de tubo, tipo de canalización, etc.).

El resultado de la aplicación es la obtención gráfica de una sección de la calle con la distribución de los servicios seleccionados, teniendo en cuenta las normativas vigentes tanto oficiales como de cada compañía de servicios.

## 2. Lenguajes de programación utilizados

Para la confección de este programa se han empleado diversos lenguajes de programación ya que AutoCAD propone diversos lenguajes específicos para realizar trabajos concretos, todos ellos incorporados dentro del propio AutoCAD. Para el núcleo del programa se ha optado por el lenguaje de programación AutoLISP Versión

14.0. A partir de él se ha construido toda la base del programas y toda la estructura de cálculo y control del programa. A continuación se describen, brevemente, las principales características de este lenguaje y las ventajas que ofrece.

AutoLISP es un lenguaje de programación adaptado del COMMON LISP, que a su vez está derivado del LISP. Éste último es un lenguaje de alto nivel que originariamente fue creado para ser utilizado en aplicaciones de inteligencia artificial. A diferencia de otros lenguajes de programación mas conocidos (como por ejemplo Basic, C o Pascal que son lenguajes imperativos o declarativos) el LISP es un lenguaje funcional. Esta clasificación se debe a su principio de funcionamiento, ya que opera con LISTAS de elementos que va procesando hasta obtener un resultado. De ahí su nombre: LISP Processing. La filosofía de programación de los lenguajes funcionales es notablemente distinta a la de los lenguajes declarativos más conocidos, pero les confiere una gran potencia y versatilidad. En el caso de AutoCAD, AutoLISP dispone de una gran facilidad de interacción con el proceso de dibujo. Así mismo se pueden controlar los cuadros de diálogo creados con lenguaje DCL, se pueden solicitar expresiones de otros lenguajes como el DIESEL, cargar y descargar menús, etc.

AutoCAD ejecuta AutoLISP de manera evaluada en lugar de compilada o interpretada. Esto significa que para procesar un código va evaluando las listas y obteniendo resultados. Un lenguaje evaluado es mas lento que un lenguaje compilado (en que las instrucciones se han introducido directamente en código máquina) pero más rápido en los interpretados (en los que se va leyendo y ejecutando el programa línea por línea).

El código del programa en AutoLISP está almacenado en ficheros de texto ASCII con la extensión .LSP a los que AutoCAD accede para cargarlos en memoria y ejecutar el programa. Una de las ventajas que ofrece es que el código del programa es accesible al usuario, ofreciendo la posibilidad de modificarlos fácilmente para adaptarlo a las exigencias de cada caso.

Para el diseño de la GUI y la creación de los cuadros de diálogo se ha utilizado un segundo lenguaje específico para esta tarea: el DCL (Dialogue Control Language). Este lenguaje permite definir el aspecto y el contenido de los elementos de un cuadro de diálogo a partir de módulos predefinidos del propio lenguaje y de una sintaxis estricta. La definición de los cuadros de diálogo se guarda en archivos de texto con la extensión DCL donde, a grandes rasgos, se define una estructura jerarquizada de estos elementos, dispuestos en filas y columnas.

Al igual que en el caso anterior, el DCL tampoco es un lenguaje compilado, pero en este caso, cada vez que se inicia un cuadro de diálogo se evalúa el código de este cuadro. Es necesario advertir que el DCL únicamente define el aspecto del cuadro y de los elementos que contiene, pero por si solo es incapaz de iniciar acción alguna. Par que el cuadro sea interactivo con el usuario es necesario asociar a cada elemento del cuadro un conjunto de acciones que controlen su operatividad en función de la elección del usuario. Este conjunto de acciones se definirá mediante rutinas escritas en AutoLISP.

Para finalizar la personalización de la GUI y para la elaboración de informes se han utilizado algunas funciones del lenguaje DIESEL (Direct Interpreterly Evaluated String Expression Language), en el que sus expresiones y los resultados son cadenas de texto. Las expresiones escritas en este lenguaje se pueden controlar a través de AutoLISP (asociadas directamente al código de éste). Resulta muy útil para obtener determinadas informaciones a las cuales es difícil acceder con AutoLISP (como por ejemplo la fecha del sistema) o para personalizar las informaciones que se ofrecen al usuario en la barra de estado.

Aunque no se trate de lenguajes de programación propiamente dicho, se hace mención de otros elementos de AutoCAD que se han utilizado para la personalización del programa. En efecto, para definir nuevos tipos de línea o para crear el menú de opciones del programa, se han creado nuevos archivos de definición de estos elementos. La estructura de estos archivos sigue la sintaxis que impone AutoCAD para cada caso, en forma de guiones de personalización o SCRIPTS.

### **3. Criterios adoptados en la programación**

En la elaboración de este programa se han establecido los siguientes criterios y directivas para asegurar unos resultados finales coherentes:

1.- Filosofía de Programación Orientada a Acontecimientos. La tendencia de programación para las aplicaciones creadas en entornos Windows es la programación orientada a acontecimientos, programación íntimamente ligada al desarrollo de la interface gráfica. Este concepto comporta una serie de implicaciones:

- El programa deja de ser una secuencia rígida de instrucciones que conduce al usuario a lo largo de toda la ejecución de este. Es el usuario el que decide su propia secuencia de trabajo, implicando la necesidad de una interrelación clara entre las diferentes partes del programa.
- Primeramente se tiene en cuenta la interacción que ha de tener el programa con el usuario y después se diseña la acción que se desarrollará en cada caso.
- Al usuario se le debe permitir retornar en todo momento a cualquiera de las opciones que estén disponibles, con independencia de cual sea la última acción que haya tomado y siempre que sea compatible con esta.
- Se advierte al usuario de las consecuencias que puedan originar sus acciones cuando estas puedan tener repercusiones importantes.

2.- Creación de un programa “robusto”. En la programación en general se han tenido en cuenta los siguientes aspectos para evitar que el programa experimente errores que lo interrumpan:

- Programación que evita que un error no pueda abortar el programa una vez se haya puesto en marcha un determinado proceso.

- Se ha implementado siempre que ha estado posible un control de errores para evitar que el usuario pueda entrar, accidentalmente, valores que no sean adecuados.
- Antes de inicializar un cuadro de diálogo se comprueba que exista su definición. Si no se encuentra se interrumpe el programa de manera segura. Por el contrario el sistema quedaría abortado con consecuencias imprevisibles.
- Para resolver algunos aspectos de la programación no se ha recurrido a aplicaciones externas a AutoCAD mediante el establecimiento de canales de comunicación, evitando los riesgos de incompatibilidades que esto podría comportar. Para evitarlo se ha hecho un estudio de las propias estructuras de datos de AutoCAD para aprovecharlas y solucionar los problemas de almacenamiento y gestión de datos.

3.- Optimización de recursos y estructuración en la programación. Se ha procurado en la medida de lo posible no abusar de los recursos del sistema. A pesar de que la programación orientada a acontecimientos necesita más recursos de la máquina y que supone un mayor incremento de la extensión del código en comparación a las filosofías de programación más antiguas, se ha procurado actuar en los apartados que se indican a continuación:

- Se ha estructurado el código del programa de manera que sea fácilmente entendible y accesible en caso de tener que introducir modificaciones o adaptaciones posteriores.
- Los nombres asignados a las variables no exceden de 6 caracteres para que solo ocupen una posición de memoria.
- Realizar un control estricto del ámbito de visibilidad de las variables, lo cual implica que se han declarado como locales el máximo número de variables posibles para que no ocupen espacio en memoria una vez finalizada la ejecución de la función a la que van asociadas.
- Se han simplificado al máximo las expresiones matemáticas utilizadas en las operaciones de cálculo y se han eliminado todas las redundancias para evitar malgastar recursos.
- Con vistas a facilitar la lectura del código se han escrito todos los nombres de las ordenes en mayúsculas para diferenciarlos de los nombres de variables y funciones utilizadas.
- Las variables de las funciones de AutoLISP que controlan los cuadros de dialogo utilizan el mismo nombre que los "keys" de los elementos del cuadro de diálogo DCL, redundando en una mayor claridad.
- Se han introducido abundantes comentarios a lo largo del programa y una breve explicación de cada función al inicio de esta.

- Al inicio de cada función se hace una selección de todas las variables utilizadas y una descripción de la tarea de cada una de ellas para una mejor interpretación del código.
- Se han programado las funciones de forma modular. Cada función realiza una tarea concreta, con tal de que la dependencia con otras funciones para su ejecución sea mínima.

#### 4.- Interficie de usuario gráfica y intuitiva de acuerdo a las siguientes directrices:

- Los cuadros de diálogo intentan ser los más ergonómicos posibles, reuniendo todos los elementos de uso más común o con informaciones del mismo tipo, facilitando desplazarse entre ellos.
- Cada cuadro de diálogo agrupa todos los datos de un determinado elemento o acción, disponiendo de todos los datos necesarios en una sola visualización.
- El lenguaje de los cuadros de diálogo o de los mensajes de la línea de comando es conciso y entendedor.
- Siempre que sea posible, al inicializar un cuadro de diálogo se dan valores por defecto que sean admisibles, permitiendo orientar al usuario o incluso que los acepte si no considera otra opción.
- Se da libertad al usuario para que investigue las diferentes opciones de un cuadro de diálogo sin miedo a cometer errores o acciones irreversibles, ya que siempre podrá volver al paso previo o cancelar el cuadro, anulando cualquier cambio no deseado que haya podido realizar.
- En caso de opciones que comporten acciones “peligrosas” o irreversibles como eliminar elementos, siempre se pide confirmación al usuario para continuar con la opción.

## 4. Estructura de ficheros del programa

Para el correcto funcionamiento del programa, los archivos y directorios que lo componen se instalan por defecto en el directorio “c:\Archivos de programa \ Proyecto, que a su vez está organizado según la siguiente estructura de directorios de trabajo:

**/PROYECTE** Es el directorio principal donde se almacena el programa principal y todos los archivos que necesita para su correcto funcionamiento.

**/CarrerC1.lsp** Es el archivo principal del programa, y donde se gestionan los otros ficheros.

**/CarrerDD.dcl** Corresponde al fichero donde se definen todos los rótulos de diálogo.

/Treball Directorio donde se almacenan por defecto todos los informes que se generen a partir de los cálculos y cualquier archivo que pueda generar el programa.

## 5. Resultado gráfico

Se presenta en las siguientes figuras el resultado gráfico que genera el programa. En la figura 1 se muestra una sección constructiva de una calle con la distribución de los distintos servicios. En la figura 2 se muestra la leyenda que genera y que acompaña al plano correspondiente.

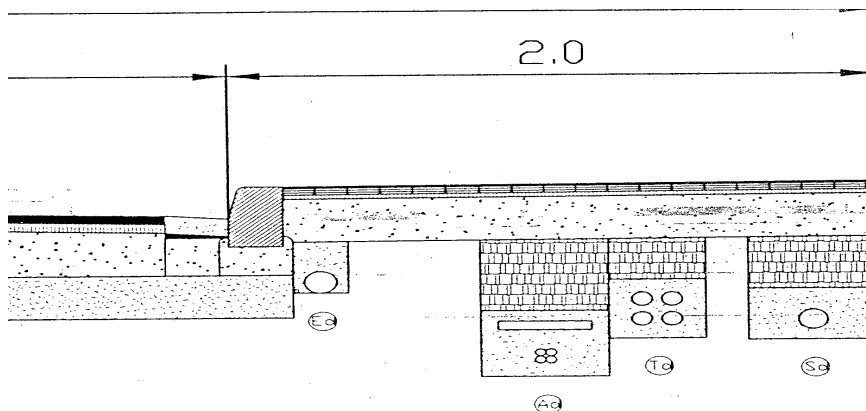


Figura 1




SIMBOLOGIA APLICADA						
 Fornigó H-150		 Arena o sorra		 Material d'excavació		
LLEGENDA						
CODI	DESCRIPCIO	MIDES	CARACTERI. TUB	Nº CIRCUITS	SECCIO	
VORERA ESQUERRA						
Ee	Xarxa d'enllumenat Públic	20x50 cm	Polietilè , D100mm.			Cu1x35mm2
Fe	Xarxa de Futurs Serveis	26x46 cm	Tub rígid. , D:63mm.			
Be	Xarxa de Baixa Tensió	40x70 cm		1 circuit		Al4x50mm2
Ge	Xarxa d'Aigua	28x88 cm	Polietilè , D:80 mm.			
VORERA DRETA						
Ed	Xarxa d'enllumenat Públic	20x50 cm	Polietilè , D100mm.			Cu1x35mm2
Ad	Xarxa d'Alta Tensió	40x70 cm		1 circuit		Al4x95mm2
Td	Xarxa de Telefonia	30x72.6 cm	PVC rígid. , D:63mm.			
Sd	Xarxa de Gas	40x74 cm	Polietilè , D:90mm.			

Figura 2



## **6. Conclusiones o Consideraciones Finales**

El hecho de que el programa permite combinar el uso de distintos servicios y de distintas, así como la obtención de resultados para cualquier forma geométrica, junto con la facilidad de manejo, convierte al programa en una buena herramienta para los técnicos proyectistas de este tipo de instalaciones.

## **Referencias**

Tajadura Zapirain, Jose Antonio; López Fernandez, Javier: *AutoLISP Versión 14*, McGraw-Hill, Madrid, 1999.

Autodesk, Inc: *Manual de personalización (release 14)*. Autodesk Development B.V., Neuchâtel, 1999.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### APOYO DE CAMPO CON GPS PARA LA OBTENCIÓN DE UNA ORTOFOTOGRAFÍA COLOR 1:10.000 DE ANDALUCÍA.

AGUILERA UREÑA, María Jesús (1); GÓMEZ MOLINA, Alfonso (2), MEROÑO DE  
LARRIVA, José Emilio (3)

<sup>(1)</sup>Universidad de Córdoba  
ETSIAM, Dpto. Física Aplicada  
Correo electrónico : [fa1agurm@uco.es](mailto:fa1agurm@uco.es)

<sup>(2)</sup>Universidad Politécnica de Madrid  
Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría  
Correo electrónico [agomez@stereocarto.com](mailto:agomez@stereocarto.com)

<sup>(3)</sup>Universidad de Córdoba  
ETSIAM, Dpto. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica  
Correo electrónico [ir1melaj@uco.es](mailto:ir1melaj@uco.es)

### RESUMEN

El presente trabajo se encuadra dentro del proyecto “Realización de una Ortofotografía color de detalle del conjunto de la región de Andalucía”, proyecto de la Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, y ejecutado por la empresa Stereocarto S.L., cuyo objetivo es la obtención de una ortofoto digital color a escala 1:10.000 de Andalucía.

El marco de referencia al que se deben referir los resultados es el sistema geodésico local oficial en España, ED-50, con proyección UTM, y alturas ortométricas. Dada la no homogeneidad de este sistema, se plantea la necesidad de llevar a cabo una transformación local de coordenadas globales obtenidas con GPS a coordenadas locales.

El problema de la transformación entre sistemas de referencia se resuelve observando una red geodésica con GPS para cada una de las 57 hoja del MTN 1:100.000 que cubren la región, redes constituidas por cinco vértices coincidentes con vértices de la ROI, siendo el vértice central de cada hoja un vértice REGENTE.

En el presente trabajo se describirá la campaña de observación, de las redes básicas y de los puntos de apoyo, así como el software propio utilizado para el ajuste de las líneas base observadas y transformación entre sistemas de referencia.

**Palabras clave:** GPS, Geodesia, ajuste, transformación, apoyo fotogramétrico.

## ABSTRACT

The present work fits within the project "Realización de una Ortofotografía color de detalle del conjunto de la region de Andalucía", project of the Consejería de Medio.ambiente of Andalucía, and executed by the Stereocarto S.L. company, whose objective is to obtain a digital color orthophoto, 1:10.000 for Andalucía.

The reference frame to refer the results is the ED-50 local system, with UTM projection, and orthometric heights. Given the nonhomogeneity of this system, it is necessity to carry out a local transformation of global GPS coordinates to local system.

The transformation problem is solved observing a geodetic GPS network for each MTN 1:100.000 that covers the region, networks constituted by five ROI stations, being central station a REGENTE station. The present work show the observation campaign, of basic networks and photogrammetric control points, and the own software used to baseline adjustment and transformation between reference systems.

**Key words:** GPS, Geodesy, adjustment, transformation, digital orthophoto, control points.

## 1. Introducción

En abril de 2002 se firmó un acuerdo de colaboración entre las Consejerías de Obras Públicas y Transporte, Agricultura y Pesca, y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para poner en marcha un programa de trabajo común para la generación de ortografías digitales de la comunidad autónoma de Andalucía. Previamente a este acuerdo, la Consejería de Medio Ambiente había comenzado los trabajos con el proyecto "Realización de una Ortofotografía color de detalle del conjunto de la región de Andalucía", cuyo objetivo era la elaboración de una ortografía digital de 1 m de resolución coherente con una escala 1:10.000, a partir de un vuelo color a escala 1:60.000. Este proyecto fue ejecutado por la empresa Stereocarto S. L.

El proceso de generación de esta ortofotografía digital conllevaba la correspondiente fase de apoyo topográfico, es decir, obtención de las coordenadas precisas de un conjunto de puntos del terreno, necesarios para apoyar el vuelo fotogramétrico. La descripción de los trabajos para la observación y cálculos del apoyo de campo, llevado a cabo con GPS, son el objeto de este trabajo.

## 2. Diseño del trabajo.

Según el pliego de prescripciones técnicas del proyecto, el marco de referencia al que se deben referir los resultados finales del apoyo topográfico es el sistema geodésico local oficial en España, sistema de referencia ED-50, con proyección UTM, huso 30, y alturas ortométricas, refiriendo dichos resultados también al sistema global WGS-84, tomando como marco de referencia la red Regente.

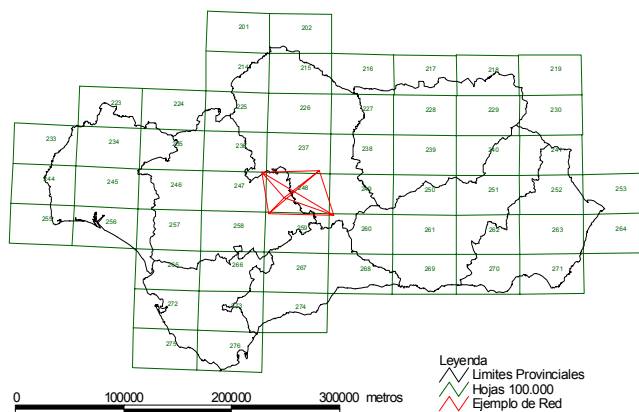
Puesto que la observación de los puntos de apoyo se realiza con GPS, a la hora de obtener coordenadas locales a partir de observaciones GPS referidas al sistema global WGS-84, hay que tener en cuenta la transformación espacial que relaciona ambos sistemas de referencia. Dado la no homogeneidad del sistema local en España,

materializado por la ROI (Capdevilla, 1994), se descarta la posibilidad de obtención de unos parámetros de transformación para ser utilizados en todo el territorio de Andalucía, planteando la necesidad de obtener unos parámetros de transformación, más precisos, calculados de manera local.

Para resolver este problema de transformación entre sistemas de referencia, se adopta la solución de obtener unos parámetros de transformación calculados localmente para cada hoja del Mapa Topográfico Nacional 1:100.000 que cubren el territorio de Andalucía, que relacionen el sistema local con el sistema global, materializados ambos en España, respectivamente, con la ROI y con las redes Iberia 95 y Regente. Para lograr este objetivo se plantea la observación de una red geodésica básica para cada hoja 1:100.000.

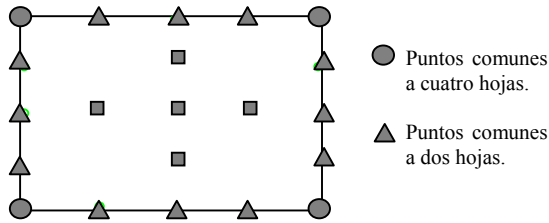
Dichas redes estarán formadas por cinco vértices de la ROI, uno en cada una de las esquinas de la hoja y otro en el centro, coincidente con un vértice de Regente para aquellas hojas en las que se disponga Regente (en las fechas en las que se planteó el trabajo, aún no se disponía de vértices Regente en la zona más occidental de Andalucía). Así, hojas contiguas estarán conectadas a través de vértices comunes, y nos permitirán arrastrar el marco global hacia hojas en las que no se dispone de vértice Regente. Un ejemplo de dicha red es la que se muestra en la figura 1, correspondiente a la hoja 236 del MTN 1/100.000.

El objetivo en la observación y cálculo de estas redes será doble: por un lado, calcular los parámetros de transformación locales que relacionan los dos sistemas de referencia, y por otro, obtener coordenadas precisas de estaciones en el sistema WGS-84, distribuidas de modo homogéneo por todo el territorio a partir de las cuales se levantarán los respectivos puntos de apoyo.



*Figura 1. Red Básica hoja MTN 248.*

El levantamiento de los puntos de apoyo se hará con observaciones GPS simultáneas desde dos vértices de la ROI, para poder así tener control de calidad de las posiciones obtenidas. La distribución de los puntos de apoyo levantados en cada hoja es la que se muestra en la figura 2.



*Figura 2. Distribución de puntos de apoyo por hoja del MTN 1:100.000.*

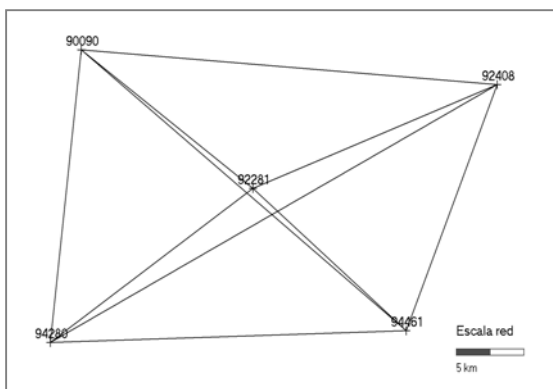
## 2. Redes Básicas.

La observación de las redes básicas correspondientes a cada hoja del MTN 1:100.000 se ha llevado a cabo con receptores bifrecuencia Leica, con períodos de observación entre 2-3 horas en cada sesión, con longitud media de líneas base en torno a 40 km.

El procesamiento de las líneas base se ha realizado con el software comercial de la casa Ashtech, AOS, utilizando para dicho procesamiento las efemérides precisas ofrecidas por el IGS.

El ajuste de la red observada se ha realizado con el software UCORed-GPS, desarrollado dentro del grupo de trabajo de la Universidad de Córdoba. UCORed-GPS (Aguilera Ureña, M.J., 2001) es un programa de ajuste de redes GPS observadas, en el sistema WGS-84 o en los distintos sistemas de referencia locales que se puedan presentar, con especial tratamiento sobre la precisión de las observaciones de partida, así como sobre la precisión de los resultados obtenidos (Aguilera Ureña, M.J. 2002).

La figura 3 muestra un ejemplo de Red Básica observada, la correspondiente a la hoja 237.



*Figura 3. Red Básica hoja MTN 237.*

El proceso seguido para la resolución de cada una de las redes básicas es el siguiente:

1.- Previo ajuste con constreñimiento interno, con el objeto de llevar a cabo un previo proceso de detección y eliminación de posibles errores groseros existentes en las observaciones (Leick, A. 1995).

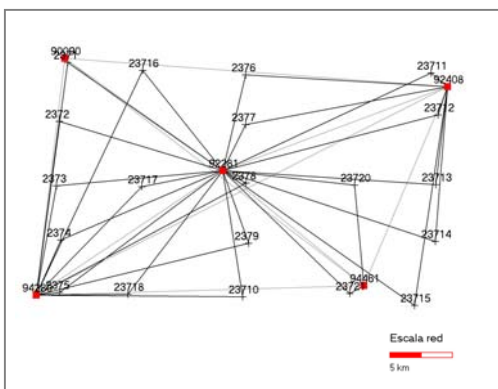
2.- Ajuste en el sistema WGS-84, fijando las coordenadas del vértice Regente incluido en la red, así como las coordenadas de vértices de las esquinas calculadas a partir de las hojas contiguas, y observadas previamente.

3.- Obtención de los parámetros de transformación que relacionan coordenadas globales y locales para la zona de trabajo.

En la fase de determinación de los parámetros de transformación a partir de las coordenadas de los cinco vértices como pertenecientes a la ROI, se lleva a cabo un proceso de control de calidad sobre la precisión de las coordenadas locales de dichos vértices. Esto se consigue con un ajuste en el sistema local, introduciendo las coordenadas de los vértices de la ROI, con su precisión conocida a priori. La aplicación del test de Baarda de detección de errores groseros sobre los residuos de las observaciones de coordenadas utilizadas para fijar el sistema local permite detectar posibles errores en las coordenadas de los vértices de la ROI utilizados, optando por no utilizar dichos vértices para determinar los parámetros de transformación (Aguilera Ureña, M.J. 2001).

### 3. Puntos de apoyo.

Los puntos de apoyo se han observado, como se ha dicho, desde al menos dos estaciones, con el objeto de obtener información sobre la precisión de las coordenadas obtenidas para los mismos. La figura 4 muestra un ejemplo de puntos de apoyo levantados para en la hoja 237 del MTN 1/100.000.



*Figura 4. Puntos de apoyo correspondientes a la hoja 237 de MTN 1:100.000*

Las condiciones de observación son similares a las observaciones de las líneas base de las redes correspondientes, reduciendo el tiempo de observación entre una y dos horas.

El proceso de obtención de las coordenadas locales de los puntos de apoyo, utilizando UCORed-GPS, es el siguiente:

1.- Obtención de coordenada WGS-84, realizando ajustes independientes para cada uno de los puntos de apoyo, obteniendo así información sobre la precisión de las coordenadas.

2.- Aplicación de parámetros de transformación obtenidos para la hoja correspondiente y obtención de coordenadas locales UTM huso 30 y cotas ortométricas.

#### **4. Resultados finales y ajuste conjunto.**

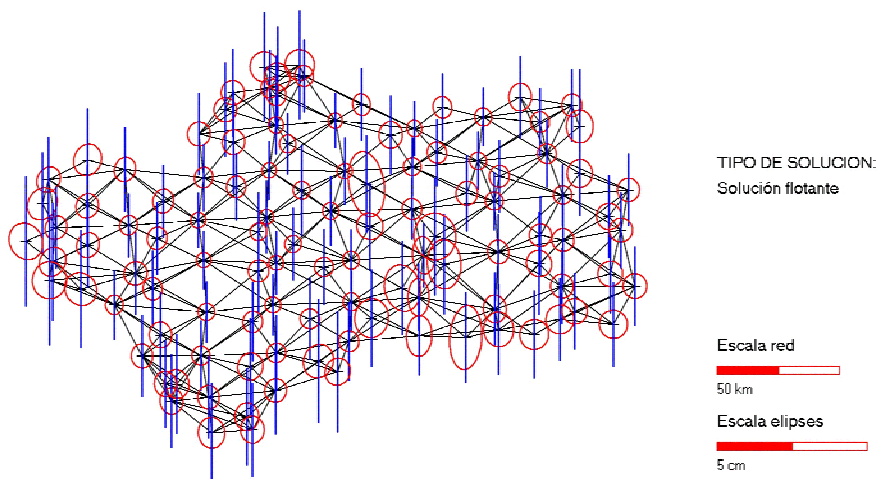
La campaña de observación se llevó a cabo entre julio de 2001 y mayo de 2002, realizándose simultáneamente la observación de la red básica y los puntos de apoyo de cada una de las hojas del MTN 1:100.000. Dada la necesidad urgente de ir obteniendo coordenadas para los puntos de apoyo, el cálculo de las redes básicas se realizó para cada hoja observada, fijando el sistema de referencia WGS-84 con el vértice central para las hojas en las que se disponía Regente, y con los vértices comunes con hojas contiguas previamente observadas y calculadas.

La observación comenzó por las hojas correspondientes al centro de Andalucía, zona donde si existían vértices Regente que permitían fijar el sistema de referencia, para ir avanzando a partir de aquí hacia el este y el oeste.

La totalidad de redes básicas observadas se corresponde con el gráfico representado en la figura 5, constuidas por un total de 111 vértices ROI, unidos por 532 líneas base. A partir de estos vértices se levantaron un total de 600 puntos de apoyo, con precisiones obtenidas siempre mejores que las exigidas en el pliego de especificaciones técnicas del proyecto: 20 cm en planimetría y 25 cm en altimetría.

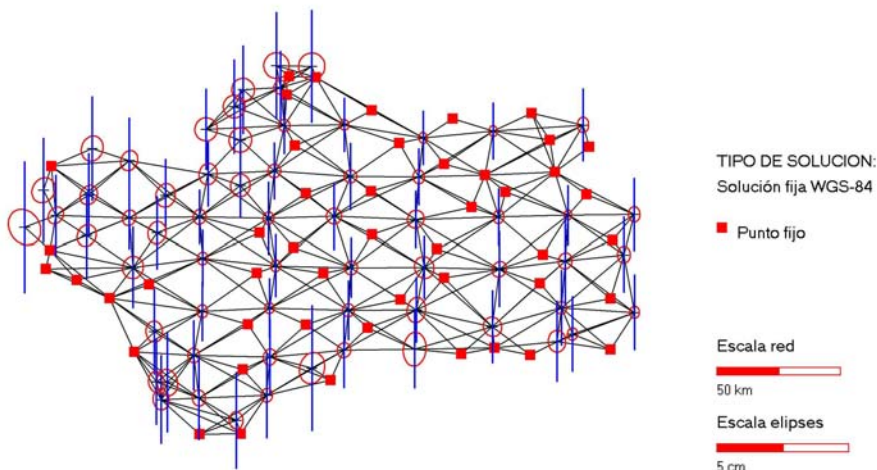
Concluido el trabajo, a partir de las observaciones correspondientes a la totalidad de redes básicas observadas, se ha llevado a cabo un ajuste conjunto de la red con el objeto de evaluar la precisión en las coordenadas WGS-84 obtenidas. Este ajuste se ha realizado en dos partes.

En primer lugar, con un ajuste con constreñimiento interno, sin fijar el sistema de referencia, se evaluará la precisión relativa entre estaciones a partir de las observaciones GPS que constituyen la red. Estas precisiones se muestran en la figura 5, expresadas como elipses planimétricas de error y r.m.s altimétrico. Se aprecia la alta precisión obtenida, con precisión mejor de 2 cm en planimetría y 4 cm en altimetría, con precisiones medias de 0.8 cm en planimetría y 2.5 cm en altimetría, para todas las estaciones que constituyen el bloque. Esto refleja la alta calidad de las líneas base GPS observadas.



*Figura 5. Ajuste conjunto de la red en modo flotante. Elipses de error.*

Posteriormente, en un segundo ajuste, se fijó el sistema WGS-84 con todos los vértices Regente que constituían la red. Las precisiones así obtenidas son las que se reflejan en la figura 6, con precisión bastante similar a la obtenida en la solución anterior, con precisiones mejores a los 2.4 cm en planimetría y de 4.9 cm en altimetría, para todas las estaciones. Esto indica no sólo la alta precisión de las redes observadas, sino además, la gran coherencia con el marco de referencia global existente en España.



*Figura 6. Ajuste conjunto en el sistema WGS-84. Elipses de error.*

Para finalizar, indicar que los resultados obtenidos dentro de este proyecto, tanto coordenadas de vértices de las redes básicas, como puntos de apoyo, están teniendo una posterior utilización en el apoyo topográfico para la obtención de una ortofoto 1:5.000 de Andalucía, a partir de un vuelo b/n 1:20.000. Para ello se ha realizado una



densificación de puntos de apoyo, levantándose a partir de puntos de las redes básicas correspondientes, y aplicando los parámetros de transformación calculados para cada hoja 1:100.000.

## **Referencias**

AGUILERA UREÑA, M.J. *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS. Análisis de la influencia de los mecanismos de cálculo en la precisión*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 2001.

AGUILERA UREÑA, M.J. et al. UCORed-GPS. Aplicación informática para el cálculo de redes GPS. 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Tomo I. Pp 134-138 Valencia. Febrero 2002.

CAPDEVILA, et al. *Curso sobre técnicas GPS*. Palencia, Septiembre 1994.

LEICK, Alfred. *GPS Satellite Surveying*. J. Wiley and Sons. New york. Segunda Edición. 1995



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ESTIMACIÓN DE LA ONDULACIÓN DEL GEOIDE EN ANDALUCÍA

AGUILERA UREÑA, María Jesús (1), GARCÍA CASTILLO, Rafael (2), GÓMEZ MOLINA, Alfonso (3), Jiménez Berni, José Antonio (4), MEROÑO DE LARRIVA, José Emilio (5).

<sup>(1)</sup>Universidad de Córdoba  
ETSIAM, Dpto, Física Aplicada  
Correo electrónico : [fa1agurm@uco.es](mailto:fa1agurm@uco.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Córdoba  
ETSIAM, Dpto. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica  
Correo electrónico [ma2gacar@uco.es](mailto:ma2gacar@uco.es)

<sup>(3)</sup>Universidad Politécnica de Madrid  
Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría  
Correo electrónico [agomez@stereocarto.com](mailto:agomez@stereocarto.com)

<sup>(4)</sup>Universidad de Córdoba  
SCAI. Unidad de Técnicas Geoespaciales.  
Correo electrónico [irl1melaj@uco.es](mailto:irl1melaj@uco.es)

<sup>(5)</sup>Universidad de Córdoba  
ETSIAM, Dpto. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica  
Correo electrónico [irl1melaj@uco.es](mailto:irl1melaj@uco.es)

### RESUMEN

Es conocido que para la obtención de alturas ortométricas a partir de las alturas elipsoidales medidas con el sistema GPS, es necesario tener información sobre la ondulación del geoide en la zona de trabajo.

Los geoides gravimétricos disponibles en la actualidad para Andalucía son de limitada precisión, por lo que se plantea la necesidad de obtener información sobre el geoide de manera local más precisa. Así, el objetivo del presente trabajo es la estimación de un modelo de geoide para Andalucía, a partir de la información que nos suministra la red Regente, evaluando las precisiones obtenidas aplicando distintas técnicas de interpolación espaciales. Para la evaluación de las precisiones obtenidas se dispone de una red GPS observada y calculada, cubriendo la región andaluza y formada por más de 100 vértices ROI.

**Palabras clave:** Geoide, GPS, Altimetría, Geodesia, Técnicas de interpolación.

## ABSTRACT

It is known that, to obtain orthometric heights from the ellipsoidal heights measured with GPS system, it is necessary information about geoid ondulation in the area of work

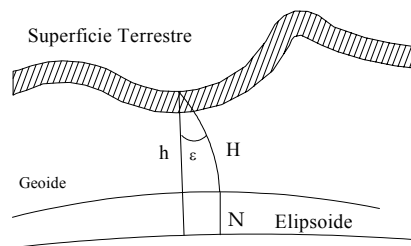
The gravimetric geoids availables at the present time for Andalucía have limited precision, reason why the necessity to obtain information about local geoid more precise. So, the objective of the present work is the estimation of a geoid model for Andalucía, from information that provides REGENTE network, evaluating precisions applying different space interpolation techniques. For this evaluation, it will be used a GPS network observed and calculated in Andalucía, with more than 100 ROI stations.

**Key words:** Geoid, GPS, Height, Geodesy, Interpolation Techniques.

## 1. Introducción.

En las dos últimas décadas ha habido un incremento en el interés por la determinación del geoide. Como es sabido, el geoide es la superficie equipotencial dentro del campo gravitatorio terrestre que más se aproxima al nivel del agua en los océanos, prolongada por debajo de los continentes. Esta superficie, de definición física, es la que se toma de referencia para las denominadas cotas ortométricas, cotas en las que viene definido el sistema de referencia altimétrico local.

El uso del sistema GPS, cada más extendido, ha motivado una mayor necesidad en el conocimiento de los denominados modelos de geoide. El sistema GPS permite obtener posiciones precisas tridimensionales referidas al sistema de referencia global WGS-84. A partir de estas posiciones tridimensionales se podrán obtener posiciones altimétricas expresadas como alturas elipsoidales sobre el sistema de referencia mencionado. El problema que surge es a la hora de referir estas alturas elipsoidales, obtenidas con gran precisión, a alturas ortométricas para poder así referir las posiciones verticales al datum vertical local. La relación entre ambas superficies de referencia, elipsoide y geoide, se muestra en la figura 1



*Figura 1. Relación entre elipsoide y Geoide*

Despreciando el valor local que toma la desviación de la vertical y la curvatura de la línea de la plomada, se puede obtener la siguiente expresión matemática que relaciona de manera simple los dos sistemas de referencia altimétricos, a través de la denominada ondulación del geoide N:

$$H = h - N$$

## 2. Objetivos.

El modo de obtener la posición del geoide respecto al elipsoide global WGS-84 es mediante una combinación de observaciones de satélites y medidas gravitatorias terrestres para grandes áreas, aplicando la denominada solución de Stokes (Featherstone, W.E. 2001).

A nivel mundial, existen distintos modelos de geoide, siendo el más reciente el basado en el modelo geopotencial EGM96. A nivel nacional, con la colaboración del Instituto de Astronomía y Geodesia, el Instituto Geográfico Nacional y el Instituto Portugués de Cartografía y Catastro, se ha desarrollado el modelo Ibergeo, modelo gravitacional de geoide para la península Ibérica, basado en el modelo geopotencial global OSU91 y medidas locales de anomalías de la gravedad (Sevilla, M.J. 1995).

Sin embargo, a la hora de trabajar localmente, la utilización de estos modelos de geoide presentan una limitada precisión, haciéndose necesario la obtención de información sobre el geoide de manera local. Una posible solución para este problema es plantear una transformación local entre alturas elipsoidales WGS-84 y alturas ortométricas aplicando técnicas de interpolación espacial a partir de puntos en los que ambas alturas sean conocidas. ((Yanalak, M 2001).

El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable en un conjunto de puntos de posición definida por un par de coordenadas X,Y, partiendo del valor que adopta la variable en una muestra de puntos situados en el mismo área de estudio. Todos los métodos de interpolación se basan en la correlación espacial de las variables consideradas.

Se plantea así, como objetivo de este trabajo, la obtención de un modelo de geoide de manera local, para el territorio de Andalucía, aplicando distintas técnicas de interpolación espacial a partir de puntos distribuidos por el territorio de los que se conoce la ondulación del geoide, evaluando las precisiones obtenidas.

## 3. Datos de partida.

Para lograr el objetivo planteado, los datos utilizados son las siguientes:

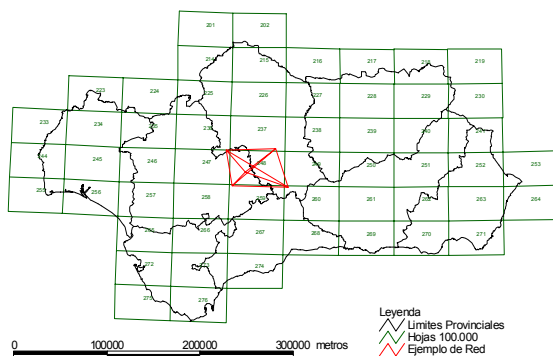
### **Red Regente.**

El marco de referencia WGS-84 está materializado en España a través de la Red Regente, proyecto llevado a cabo por el IGN a partir de 1994. La red está constituida por una estación por cada hoja del mapa topográfico 1:50.000, coincidentes en su mayoría con estaciones de la ROI. La precisión estimada para las coordenadas de estas estaciones es de 5 cm en sus tres componentes.

Así, se han seleccionado los 195 vértices Regente que cubren el territorio de Andalucía, de los que se dispone de coordenadas tridimensionales longitud, latitud y altura elipsoidal sobre el elipsoide WGS-84. Así mismo, se conocen la altura ortométrica de estos vértices por ser pertenecientes a la ROI, alturas obtenida por técnicas de nivelación trigonométrica, con una precisión estimada de  $rms=30$  cm.

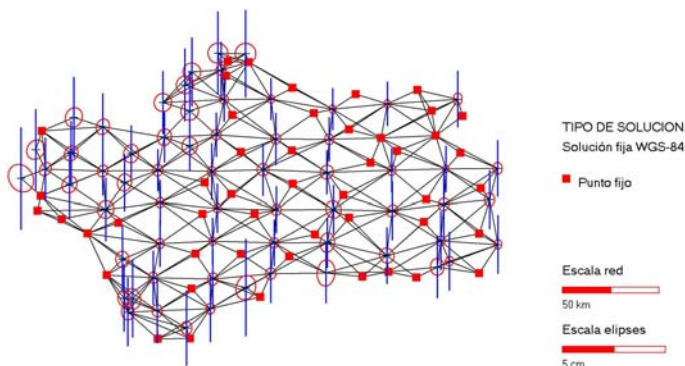
### Red GPS de Andalucía.

Dentro del proyecto “Realización de una Ortofotografía color de detalle del conjunto de la región de Andalucía”, proyecto de la Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, y ejecutado por la empresa Stereocarto S. L., dentro de la fase de apoyo fotogramétrico con GPS, se levantó una red GPS que cubre el territorio de Andalucía. El objetivo de esta red era determinar unos parámetros de transformación del sistema WGS-84 al sistema local para cada hoja del MTN 1:100.000. Para ello, en cada hoja del MTN 1:100.000 se observó una red constituida por un vértice ROI en cada una de las esquinas, vértice coincidente para hojas contiguas, más una vértice central, siendo éste Regente para aquellas hojas en las que en el momento del levantamiento se disponía de Regente (Aguilera et al, 2004). La figura 2 muestra la estructura de redes levantadas, y la figura 3 muestra la red completa ajustada en el sistema WGS-84, fijando las coordenadas de las estaciones Regente. La elipses de error muestran la precisión de las coordenadas obtenidas, con precisiones mejores de 2.5 cm en planimetría y 5 cm en altimetría.



*Figura 2. Estructura de observación de la Red GPS de Andalucía.*

Con esta red GPS observada se dispone de un conjunto de 61 estaciones repartidas homogéneamente por la comunidad andaluza, de las que se dispone de coordenadas WGS-84 obtenidas mediante ajuste con la precisión mencionada anteriormente, adicionales a las estaciones Regente. Por ser todas estas estaciones vértices de la ROI, también es conocida la altura ortométrica en cada una de ellas.



*Figura 3. Resultados del ajuste WGS-84 de la Red Geodésica de Andalucía.*

#### 4. Metodología.

Como se ha dicho anteriormente, en este trabajo se plantea la obtención de información sobre la ondulación del geoide local a partir de la aplicación de distintas técnicas de interpolación espacial, partiendo de valores de ondulaciones de geoide calculados a partir de las coordenadas conocidas en ambos sistemas de las estaciones de la red Regente. La definición de cada punto se hace a partir de las coordenadas WGS-84 planimétricas del mismo, expresadas en coordenadas UTM huso 30. La obtención de estos modelos nos permitirán posteriormente interpolar valores de ondulación del geoide para cualquier posición dentro del territorio de Andalucía.

Para la obtención de estos modelos se han seleccionado los 195 vértices Regente que cubren todo el territorio de Andalucía. En este punto hay que especificar que mientras que la posición WGS-84 de estos vértices está referida a la parte superior del pilar, las cotas ortométricas están referidas a la base del pilar, por lo que un paso previo fue restar la altura del pila correspondiente a la cota elipsoidal WGS-84, para tener ambas alturas, elipsoidal y ortométrica, referidas al mismo punto, y así poder obtener un valor de ondulación del geoide para cada vértice.

Para obtener distintos modelos de interpolación se ha utilizado la herramienta informática ampliamente extendida Surfer v. 7., que nos permite obtener una malla de puntos aplicando los siguientes métodos de interpolación:

- Krigeado
- Método inversa de la distancia
- Métodos de mínima curvatura
- Regresión Polinomial
- Método de funciones básicas radiales
- Método de Shepard

- Método de interpolación Lineal por Triangulación.

La precisión del modelo así obtenido dependerá de varios factores (Mocquet, J.M, 2000):

- Precisión del marco de referencia WGS-84 en el que se enmarcarán las observaciones GPS, es decir, Regente.
- Precisión del marco de referencia local altimétrico.
- Precisión en la determinación de la altura elipsoidal con GPS.
- Densidad de puntos utilizados.
- Método de interpolación utilizado. En este sentido es necesario asociar criterios estadísticos para la estimación de la precisión obtenida.

Para la validación de los modelos generados a partir de los vértices Regente se utilizarán los 61 vértices de la Red Andalucía que no son Regentes (no usados para generar el modelo), y de los cuales se puede calcular un valor de la ondulación del geoide a partir de la cota ortométrica (ROI) y la altura elipsoidal WGS-84 (obtenida mediante ajuste). La diferencia entre el valor de N obtenido mediante interpolación en el modelo y el valor de N calculado para estos puntos nos dará idea de la precisión que se puede obtener interpolando posteriormente en los modelos generados.

## 5. Resultados.

Dada la gran superficie de Andalucía, y con el objeto de tener en cuenta la influencia de la extensión del área de trabajo a la hora de obtener un modelo de geoide mediante técnicas de interpolación, se ha planteado aplicar la metodología propuesta para distintas extensiones territoriales. Así, se han generado los distintos modelos de interpolación mencionados anteriormente para:

- Andalucía
- Andalucía Oriental y Andalucía Occidental
- Para cada una de las 8 provincias que forman Andalucía

Con los modelos obtenidos, se han interpolado el valor de ondulación de geoide para todos los puntos de validación existentes dentro del ámbito territorial de cada modelo. Comparando el valor interpolado con el valor calculado a partir de las coordenadas conocidas WGS-84 y ED-50 de los mismos, se ha podido calcular un valor para el error cometido aplicando la interpolación. La tabla 1 muestra el resumen de los valores de errores obtenidos utilizando modelos de interpolación calculados para toda Andalucía, la tabla 2 los errores utilizando un modelo de interpolación calculado para Andalucía Oriental y otro para Andalucía Occidental, y la tabla 3 los

errores correspondientes a la utilización de modelos generados para cada una de las 8 provincias andaluzas:

Tabla 1. Resumen de errores obtenidos aplicando modelos calculados para Andalucía.

	Media (m)	Desviación estándar (m)	Máximo (m)	Mínimo (m)
Inverso de la distancia	0.667	0.472	2.149	0.047
Krigado	<b>0.162</b>	<b>0.157</b>	<b>0.724</b>	<b>0.005</b>
Mínima curvatura	0.204	0.223	1.087	0.004
Shepard	0.187	0.194	0.948	0.000
Polinomio cúbico de regresión	0.717	0.497	1.797	0.014
Función Básica Radial	0.171	0.186	0.871	0.003
Interpolación lineal por triangulación	0.167	0.158	0.775	0.005

Tabla 2. Resumen de errores obtenidos aplicando modelos calculados para Andalucía Occidental y Andalucía Oriental.

	Media (m)	Desviación estándar (m)	Máximo (m)	Mínimo (m)
Inverso de la distancia	0.536	0.437	1.933	0.031
Krigado	<b>0.159</b>	<b>0.160</b>	<b>0.723</b>	<b>0.005</b>
Mínima curvatura	0.205	0.205	0.879	0.003
Shepard	0.196	0.199	0.966	0.001
Polinomio cúbico de regresión	0.354	0.303	1.413	0.010
Función Básica Radial	0.171	0.189	0.869	0.002
Interpolación lineal por triangulación	0.189	0.197	0.911	0.002



Tabla3. Resumen de errores obtenidos aplicando modelos calculados para cada una de las 8 provincias.

	Media (m)	Desviación estándar	Máximo (m)	Mínimo (m)
Inverso de la distancia	0.299	0.241	0.881	0.010
Krigeado	<b>0.160</b>	<b>0.159</b>	<b>0.719</b>	<b>0.012</b>
Mínima curvatura	0.221	0.265	1.260	0.006
Shepard	0.200	0.220	0.963	0.001
Polinomio cúbico de regresión	0.226	0.188	0.729	0.006
Función Básica Radial	0.168	0.186	0.856	0.000
Interpolación lineal por triangulación	0.163	0.160	0.779	0.005

Las figuras 4 y 5 muestran, a modo de ejemplo, la representación del modelo de geode obtenido para Andalucía aplicando la técnica krigeado.

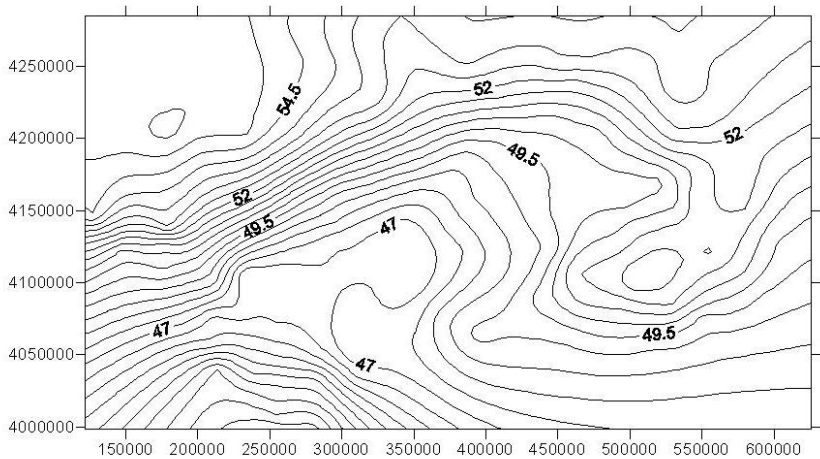
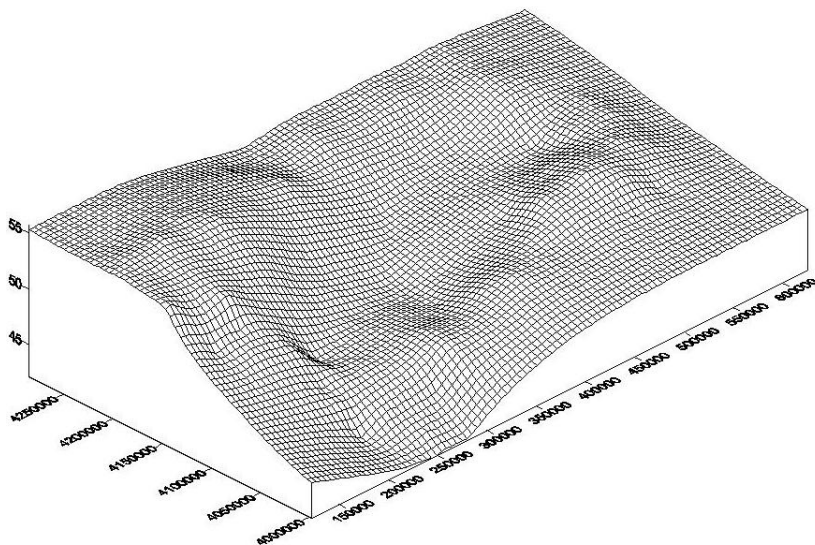


Figura 4. Representación por curvar de nivel del modelo de geode obtenido para Andalucía, con el método de krigeado.



*Figura 5. Vista 3D del modelo de geoide obtenido para Andalucía, con el método de krigeado.*

## 6. Conclusiones.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Los métodos de interpolación Inversa de la distancia y Polinomio de regresión son métodos que se ven fuertemente afectados por la extensión del área de estudio, de manera que la precisión obtenida con ellos disminuye de manera importante considerando un único modelo para Andalucía respecto a utilizar distintos modelos obtenidos para cada una de las 8 provincias.

En algunos métodos, como Mínima curvatura o Shepard, se puede apreciar incluso una disminución de la precisión al reducir el área del estudio, aunque no de manera importante. Esto puede estar motivado por el hecho de disminuir el número de puntos a partir de los que se genera el modelo, o por la mayor influencia de errores locales puntuales en la ondulación del geoide utilizada para obtener el modelo.

El método de krigeado es el que mejores resultados obtiene, siendo la precisión independiente de la extensión del área de estudio. A este método le siguen el método de Función Básica Radial e Interpolación Lineal por Triangulación.

Las mejores presiones obtenidas, del orden de 16 cm de error medio, con desviación estándar de 16 cm y error máximo de 71 cm, son totalmente coherentes con

la precisión de las cotas ortométricas ROI de partida (30 cm rms), con lo que se demuestra la utilidad de la metodología empleada.

La limitación en la precisión obtenida no es debida a la precisión de las observaciones GPS utilizadas, sino a la precisión de las cotas ortométricas utilizadas para generar el modelo. Así, el modo de mejorar las precisiones obtenidas sería partir de cotas ortométricas más precisas, obtenidas por nivelación geométrica.

## Referencias.

AGUILERA UREÑA, MJ, et al. *Apoyo de campo con GPS para la obtención de una Ortografía Color 1:10.000 en Andalucía*. XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Zaragoza-Huesca Junio 2004.

FEATHERSTONE, W.E. *Absolute and relative testing of gravimetric geoid models using Global Positioning System and orthometric height data*. Computers & Geosciences 27. 2001.

LÓPEZ AMADOR, S. *Desarrollo de un modelo de Geoide para la C.A.M.* Mapping Marzo 2003.

MARTENSSON, SG. *Height Determination by GPS. Accuracy with respect to different Geoid Models in Sweden*. FIG XXII International Congress. Washington, D.C. USA. April 2002.

NOCQUET, J.M., et al. *Conversion altimétrique RGF93-IGN69. Correction des altitudes GPS en France*. Conseil National de l'information géographique. Groupe de Travail Permanent "Positionnement Statique et Dynamique". 2000. [http://mail.esgt.cnam.fr/sites/CNIG/cnig.psd/CNIG.PSD/pdf/conv\\_alti.PDF](http://mail.esgt.cnam.fr/sites/CNIG/cnig.psd/CNIG.PSD/pdf/conv_alti.PDF)

SANCHEZ FERNÁNDEZ, B. et al. *Estudio sobre la estimación de la ondulación del geoide en Asturias*. Mapping Septiembre 2002.

SEVILLA, M.J. *A new gravimetric geoid in the Iberian Peninsula*. Instituto de Astronomía y Geodesia. Universidad Complutense de Madrid. 1995. <http://www.eosgis.com/ibergeo95.pdf>

YANALAK, M. BAYKAL. O. *Transformation of ellipsoidal heights to local leveling heights*. Journal of Surveying Engineering. Agosto 2001.

---

## G-MAP UNA APLICACIÓN MULTIPLATAFORMA PARA TOPOGRAFÍA CON GPS

JIMÉNEZ BERNI, José Antonio (1); AGUILERA UREÑA, M<sup>a</sup> Jesús (2) ;  
LÓPEZ HERNÁNDEZ, Manuel (3); MEROÑO DE LARRIVA, José Emilio (4)

<sup>(1)</sup>Universidad de Córdoba, España  
Servicio Central de Apoyo a la Investigación, Unidad de Técnicas Geoespaciales  
Correo electrónico:ma2jibej@uco.es

<sup>(2)</sup>Universidad de Córdoba, España  
ETSIAM, Dpto. Física Aplicada  
Correo electrónico:fa1agurm@uco.es

<sup>(3)</sup>TRAGSA, España  
Jefe de División I+D e Innovación  
Correo electrónico:mlopez@tragsa.es

<sup>(4)</sup>Universidad de Córdoba, España  
ETSIAM, Dpto. Ingeniería Gráfica e Ing. Y Sistemas de Información Cartográfica  
Correo electrónico:ir1melaj@uco.es

### RESUMEN

El sistema GPS es cada vez más una herramienta básica en la topografía y está sustituyendo a los métodos tradicionales en muchos ámbitos de la ingeniería. No obstante, los profesionales tienen que enfrentarse en muchas ocasiones a programas complejos de utilizar y no adaptados a sus necesidades reales. El objetivo que se pretende con la realización del programa que se presenta en esta ponencia es el de desarrollar una aplicación híbrida entre un sistema de información geográfica y un CAD, con capacidad de gestión de cartografía, generación de mapas e informes y exportación a otros programas. Todo esto debe permitir su fácil manejo para el usuario medio sin perder por ello funcionalidad. Otro objetivo no menos importante que se ha procurado es que dicha aplicación sea ejecutable en distintas plataformas y sistemas operativos, de manera que el número de usuarios a los que se pueda llegar sea máximo.

**Palabras clave:** GPS, Java, CAD, GIS.

### ABSTRACT

Nowadays GPS is becoming a basis tool in topographic surveying and is prevailing over traditional techniques in many fields of engineering. Nevertheless, most of the professionals have to deal often with complex software which not always fits to their requirements. The aim was to develop an application hybrid of geographic information systems and CAD packages, with the choice of cartography management, map and report generation and export to other software. At the same time, the application should be simple enough to any medium user work with it without losing functionality. Another aim was that this application should run in different hardware platforms and operating systems, so that the number of potential users should be the maximum.

**Key words:** GPS, Java, CAD, GIS.

## 1. Introducción

*GMap* versión 1.0 es la primera versión de una aplicación informática destinada a profesionales del sector de la topografía y de la ingeniería que realizan trabajos no muy complejos de topografía mediante GPS, y que en muchas ocasiones tienen que enfrentarse a programas difíciles de manejar y con un sin fin de opciones y parámetros que dificultan aun más su utilización. Es por eso por lo que uno de los objetivos principales de diseño ha sido la facilidad de uso para usuarios no expertos en la materia de la topografía con GPS. Aun anteponiendo como criterio principal la facilidad de uso, se ha pensado también en usuarios más avanzados que busquen una mayor funcionalidad para los que se ha procurado que la aplicación sea lo más completa posible y que sobre todo permita exportar los resultados a otras aplicaciones para su posterior explotación.

*GMap* es un híbrido entre un sistema de información geográfica y un CAD ya que consta con características de ambos sistemas. Por un lado se dispone de una serie de herramientas de edición gráfica de los distintos elementos medidos en campo: puntos, líneas y recintos; y por otro es posible la gestión de cartografía asociada a un proyecto de manera que el usuario pueda superponer las mediciones sobre cartografía existente y así comparar resultados, generar mapas de situación, informes de superficies, etc.

En 1.995 la Universidad de Córdoba junto con las empresas TRAGSA y GMV comienzan el desarrollo de un equipo GPS monofrecuencia orientado al control de superficies en las ayudas de la PAC. Fruto de la labor investigadora y de desarrollo aparece el sistema TOPSAT que consta de un software de postproceso GPS (TOPSAT proceso). La función de *GMap* es actuar como herramienta de visualización y edición de los datos medidos, evitando a la vez el tener que recurrir a herramientas externas.

## 2. Estructura y descripción del programa

*GMap* está programado en su totalidad en el lenguaje Java. Java es un lenguaje de programación orientado a objetos cuya principal característica es que los programas generados son multiplataforma, es decir, que se pueden ejecutar en cualquier arquitectura informática en la que exista Java. Actualmente existen

versiones de Java que abarcan desde varios sistemas UNIX hasta cualquiera de las versiones de Windows, además de versiones más reducidas para teléfonos móviles y otros dispositivos portátiles (PDAs). El fundamento de esta característica radica en que el código binario generado en realidad se ejecuta en una *máquina virtual* (JVM o Java Virtual Machine) que interpreta este código y lo traduce al código máquina nativo de la arquitectura del ordenador donde está siendo ejecutado. Esto tiene el inconveniente de que los programas tienen un rendimiento ligeramente inferior al que tendrían si estuvieran compilados en código nativo, aunque con el paso del tiempo las diferencias se han ido haciendo menores.

*GMap* está constituido por seis módulos básicos que definen la funcionalidad del programa y que se describen a continuación.

## **Módulo de entrada y salida de información**

En un principio la aplicación se diseñó como la aplicación de explotación de resultados del sistema GPS desarrollado por la UCO, TRAGSA y GMV, tomando como datos de entrada los resultados del post-procesado GPS que se realiza mediante el software *TOPSAT Proceso*. Dichos resultados se almacenan en un fichero G84 que contiene la información de la posición WGS84 para cada punto, así como los datos de número de punto y código introducidos por el usuario. Con el paso del tiempo, la aplicación ha ido incorporando la posibilidad de importar desde otros formatos de datos como tablas *ASCII* o archivos *shapefile* de ESRI..

Este módulo se encarga principalmente de gestionar los proyectos que crea el usuario, de manera que se definen una serie de opciones como el sistema de referencia, directorio de trabajo, etc. para luego ir cargando los datos que compondrán nuestro proyecto, ya tengan su origen directamente del sistema GPS o del otros archivos con fuentes diversas como topografía clásica o cartografía existente.

La otra cara de este módulo es el almacenamiento de los trabajos con una estructura propia de la aplicación, así como la posibilidad de exportar los resultados a otras aplicaciones utilizando para ello formatos de datos estándar. Las posibilidades de exportar que tenemos actualmente son: DXF de Autocad, Shapefile de ESRI (ESRI 1998) y archivos de texto ASCII en distintos formatos. La elección de estos formatos de salida se debe a que son los que la gran mayoría de aplicaciones permiten como formatos de entrada, ya sean aplicaciones CAD o sistemas de información geográfica.

## **Módulo de procesamiento de códigos y topología**

La automatización de la entrada de datos es algo muy importante en las aplicaciones de topografía. De esta forma, si se introducen en campo una serie de códigos asociados a cada punto es posible ahorrarse todo el proceso de dibujar las entidades de líneas o recintos que constituyen el trabajo, minimizando no solo el trabajo de gabinete, sino también el de campo, ya que no es necesario la realización de croquis complejos como en la metodología de trabajo tradicional.

Con este módulo lo que se pretende es que a partir de los números de punto y los códigos asociados a dichos puntos generar una serie de entidades de puntos, líneas y recintos de manera totalmente automática. En definitiva se trata de generar la topología del proyecto, ya que una vez creadas las entidades se actualizan las propiedades geométricas asociadas a las mismas (longitud, perímetro y superficie) en tiempo real cada vez que el usuario realiza algún cambio en los nodos que forman dichas entidades.

El modo de trabajo es el siguiente: En el campo, usuario introduce junto con cada punto un número que normalmente la libreta electrónica numera secuencialmente, un código alfanumérico que define cada entidad medida y una descripción o comentario libre. En el caso de que se trate de un punto que es compartido por más de una entidad (por ejemplo el límite de dos parcelas) se puede introducir el carácter '+' como separador de ambos códigos. Una vez importados los datos en *GMap*, el programa lee los puntos y los clasifica por entidades y dentro de cada entidad por orden ascendente. Por defecto, los códigos que empiecen por la letra "L" se consideran de elementos de líneas, los que comiencen por "P" como elementos puntuales y el resto como elementos poligonales o recintos. De esta forma todos los puntos con el mismo código forman una entidad que puede ser del tipo punto, línea o recinto y que estará formada por nodos que son los puntos que componen dicha entidad y que pueden ser compartidos por más de una entidad. Un esquema resumido del funcionamiento del procesado de códigos se puede ver en la figura 1.

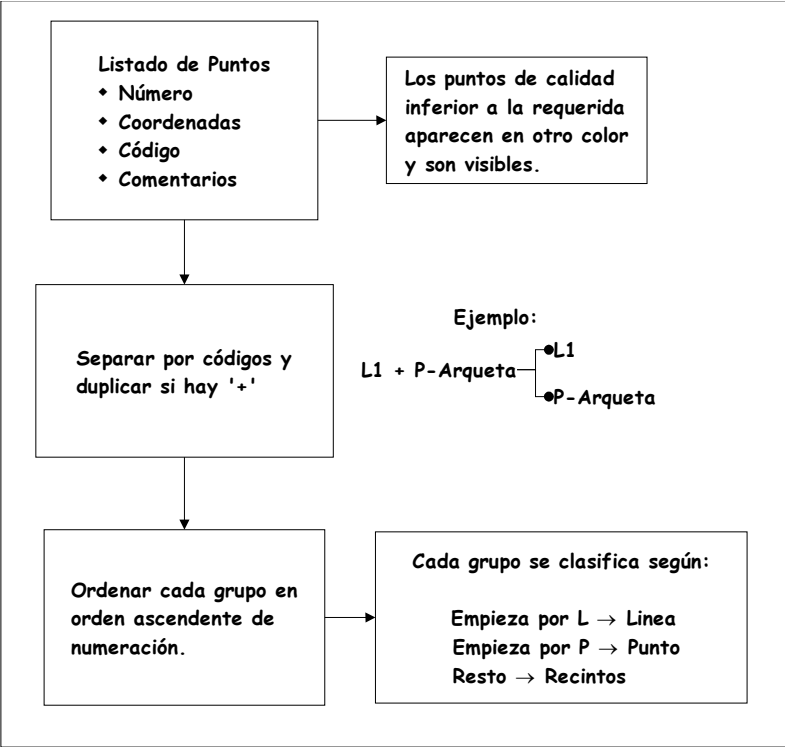


Figura 1: Procesado de códigos en *GMap*

## Módulo de transformación de coordenadas

Al ser el origen de los datos fundamentalmente el sistema GPS, dicho datos vendrán dados como coordenadas geográficas referidas al sistema global WGS84. Normalmente dichas coordenadas deberán ser transformadas a un elipsoide y datum local conforme a la zona de trabajo donde nos encontremos, para lo que será necesario aplicar una serie de parámetros de transformación. Posteriormente dichas coordenadas geográficas deberán ser proyectas a un sistema plano que vendrá dado por la naturaleza del trabajo y por la zona donde se haya realizado. En el caso particular de España, el elipsoide utilizado será el Internacional de Hayford, con datum en Postam y la proyección UTM en los husos 29, 30 o 31 según la zona donde nos encontremos.

*GMap* cuenta con un módulo de transformación de coordenadas entre distintos sistemas de referencia que permite la integración coherente de datos provenientes de diferentes orígenes, ya sea el sistema GPS, cartografía oficial o datos referidos a otros datums distintos de los oficiales. Actualmente sólo está implementada la proyección UTM (Maling, 1992), y aunque por defecto está seleccionada la transformación oficial del IGN (Dalda) es posible seleccionar otras como la de Andalucía (Aguilera, 2001 y Aguilera, 2002), la de tres parámetros de Molodensky o introducir una personalizada por el usuario.

## Módulo de visualización y edición

La visualización y edición de los datos medidos en campo es el objetivo fundamental que se persigue con la realización de esta aplicación. Una vez importados los datos iniciales, transformadas sus coordenadas a un sistema plano y obtenidas las entidades iniciales del procesado de códigos, se procede a determinar las primitivas gráficas que compondrán el mapa sobre el que actúa el usuario. Las primitivas gráficas podrá ser líneas, rectángulos, elipses, curvas paramétricas, cadenas poligonales, textos e imágenes.

Las primitivas gráficas tienen sus coordenadas expresadas en un sistema cartesiano arbitrario denominado *espacio del usuario* (*User Space*). Al dibujar dichas primitivas en el dispositivo de salida, el motor de renderizado transforma dichas coordenadas al sistema de coordenadas de referencia llamado *espacio del dispositivo* (*Device Space*), que se corresponde con el sistema de coordenadas utilizado por el monitor o la impresora. La transformación que se aplica dependerá de los sistemas de coordenadas de partida (normalmente UTM) y de destino, siendo éste último definido por el nivel de zoom que esté aplicando el usuario en ese momento y el área de interés que esté visualizando.

El motor gráfico de esta aplicación está basado en Java2D, la librería gráfica que Java implementa por defecto. Dicha librería nos permite definir las primitivas gráficas y representarlas a través de una serie de funciones gráficas en un espacio de trabajo creado por el usuario. Una vez hecha la composición gráfica, le decimos a la librería que la represente en el dispositivo de salida (pantalla, impresora, archivo de imagen) mediante unas reglas y una transformación de coordenadas que habremos definido



anteriormente. Este proceso se denomina rasterización. Un esquema de este proceso se puede apreciar en la figura 2.

Java2D permite también el uso de transparencia en los rellenos utilizados para los polígonos o la cartografía. Esto es especialmente interesante cuando se trata de superponer las mediciones sobre cartografía preexistente o cuando se superponen distintas mediciones (figura 4). De esta forma, a la hora de seleccionar el color de relleno es posible también definir el grado de transparencia que se aplicará a dicho relleno.

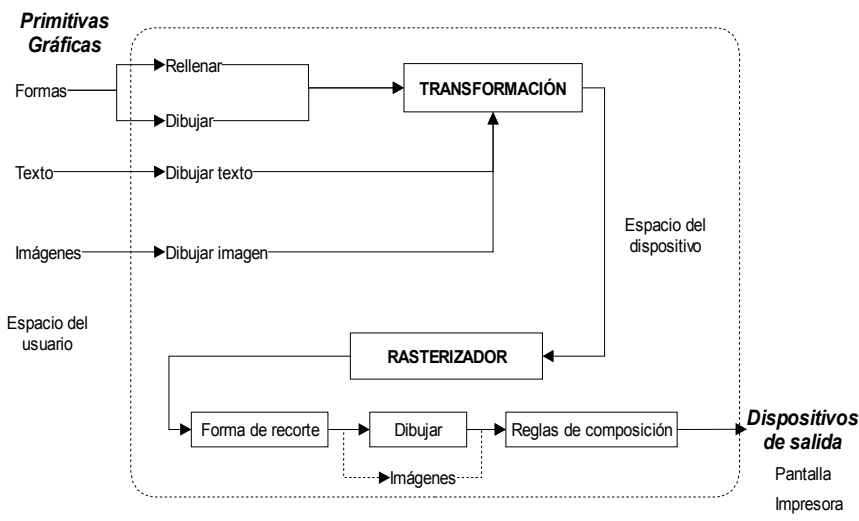


Figura 2: Funcionamiento de la librería gráfica 2D de Java

En cuanto a la edición, el usuario dispone de una serie de herramientas de control de vista similares a las que incorpora cualquier programa de dibujo: zoom, desplazar vista, zoom extensión; y unas herramientas de edición, orientadas sobre todo a la edición de los puntos medidos y que por tanto tendrán efecto sobre la topología de la medición. De esta forma al modificar los atributos de algún punto (número y código) se modifica la topología automáticamente. El acceso a dichas herramientas se ha dispuesto en las típicas barras de herramientas de windows con iconos lo más intuitivos posible (figura 3).



Figura 3: Barra de herramientas

El usuario dispone también de una serie de herramientas de consulta para la medición de distancias y superficies, aunque lo más interesante es la calculadora de superficies. Al contar con una topología preestablecida, el usuario puede conocer en cada momento la superficie de cualquiera de las entidades definidas como recintos, e incluso operar con distintos recintos sumando y restando superficies. Un ejemplo de esta utilidad es cuando queremos conocer la superficie total de varias parcelas en las que además hemos medido enclaves interiores que queremos descontar de la superficie total. Ver figura 5.

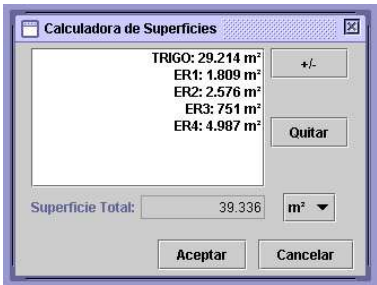


Figura 5. Calculadora de superficies.

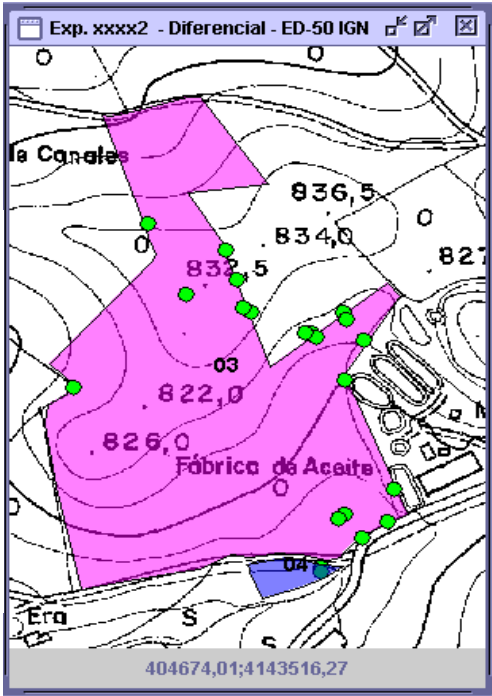


Figura 4. Utilización de la transparencia en la superposición de cartografía

## Módulo de gestión cartográfica

Una función muy utilizada en este tipo de aplicaciones es la superposición de las mediciones realizadas sobre cartografía existente para de esta manera contextualizar la medición, y obtener así una especie de plano de situación. Una vez que se dispone el plano sobre la cartografía es posible editar las mediciones en función de esa cartografía, digitalizar nuevas formas basándonos en la misma o eliminar posibles errores. En la mayoría de estos casos hay que recurrir a programas adicionales, tipo SIG ya que la mayoría de los programas CAD simples no soportan archivos raster georeferenciados.

El módulo de gestión cartográfica de *GMap* es el encargado de cargar cartografía raster y representarla como fondo de la visualización y superponer sobre ella las mediciones realizadas. De esta forma el usuario puede cargar una serie de imágenes y seleccionar las que serán visibles en cada momento (figura 6). Otro punto fuerte de dicho gestor es que permite al usuario dejar a *GMap* la elección automática de la cartografía a cargar. Para ello el usuario selecciona la ruta donde tiene la cartografía (la unidad de CDROM por ejemplo) y el programa localiza todas las imágenes que se correspondan con la zona de trabajo. Esto agiliza en gran medida el proceso de localizar las imágenes cuando no tenemos claro en qué zona exacta nos encontramos.

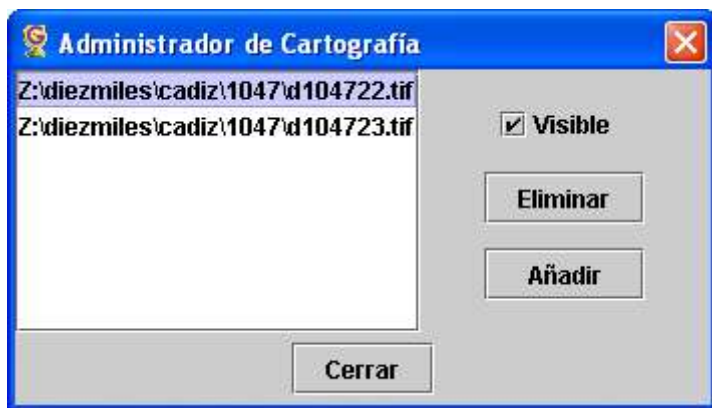


Figura 6. Administrador de cartografía

## Módulo de impresión

La salida de gráficos por impresora o trazador es otra de las tareas básicas con las que debe contar este tipo de aplicaciones. Uno de los objetivos que se ha tratado de conseguir en este módulo es que dicha tarea sea lo más fácil y simple posible sin perder flexibilidad a la hora diseñar la salida por impresora.

El usuario define qué elementos serán los que aparezcan en el dibujo: escala numérica, logotipo de empresa, título del trabajo y una leyenda para las parcelas (figura 7). Posteriormente puede con el ratón definir la posición y tamaño de la vista del trabajo (figura 8). De esta forma es posible definir el formato de impresión en un tiempo realmente corto y con unos resultados más que aceptables.

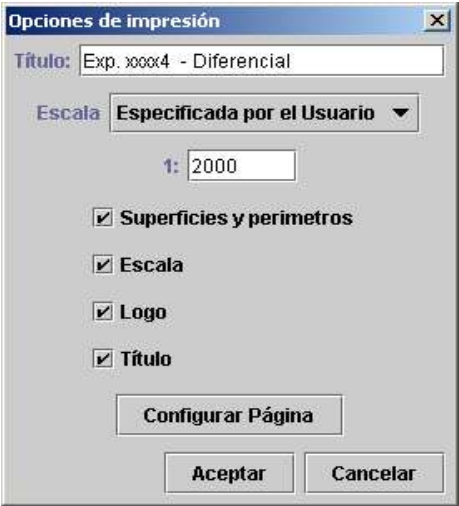


Figura 8. Opciones de impresión

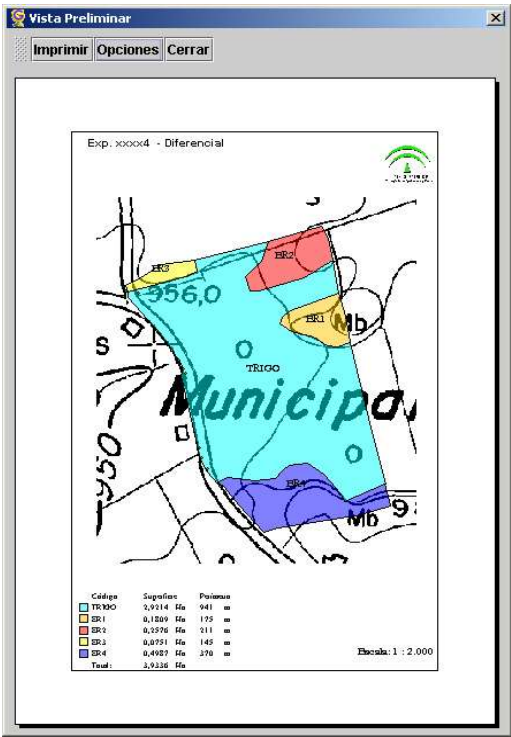


Figura 7. Vista preliminar de impresión

### 3. Conclusiones o Consideraciones Finales

*GMap* se presenta como una completa aplicación para el manejo de mediciones GPS, de una manera sencilla e intuitiva para el usuario. La medición de superficies mediante este sistema es realmente simple y se puede realizar en un tiempo muy reducido, ya que aprovechando la capacidad de procesamiento de códigos podemos obtener un mapa de parcelas sin dibujar una sola línea.

Al estar realizado en Java, uno de los puntos más fuertes de *GMap* es su capacidad multiplataforma, ya que es posible utilizar el programa en prácticamente cualquier sistema operativo.

Al ser un híbrido entre un sistema de información geográfica y un CAD se integra en un solo programa lo que antes se tenía que realizar con más de una aplicación. De todos modos, no se ha perdido de vista la interacción con otros programas, tipo CAD o SIG y es posible exportar los resultados a otros formatos que son soportados por la mayoría de aplicaciones existentes actualmente en el mercado.

## Referencias

AGUILERA UREÑA, M.J., Meroño, J.E. et al. UCORed-GPS. Aplicación informática para el cálculo de redes GPS. 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Tomo I. Pp 134-138. Valencia. Febrero 2002.

Aguilera Ureña, M.J.; Meroño de Larriva, J.E.; Manzano Agugliano F.; Colomer de la Oliva, I.; Manzano Agugliano, G. "Comparación de la precisión alcanzada al aplicar unos parámetros WGS84-ED50 calculados para Andalucía, con los calculados a nivel de Córdoba. Comparación con los métodos de transformación directos". Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz 2001. I.S.B.N. 84-699-5057-6

Dalda Monrón, A. "DGPS y levantamientos topográficos. Su empleo en actualización y control del Mapa Topográfico Nacional". MAPPING. Mayo 1997.

ESRI. ESRI Shapefile Technical Description. Whitepaper. Julio 1998.

Maling, D.H. Coordinate Systems and Map Projections. Pergamon Press. Oxford. 1992.

Manzano-Agugliaro, F., Meroño, J.E., Pérez, M., López M., Ortiz, V. "Ayudas de superficie y política agraria con una aplicación GPS", Geoconvergencia: Aplicaciones de Tecnologías Geográficas Integradas, 1998, pág. 38-44

Manzano-Agugliaro, F., Meroño J.E., Pérez, M., López M., Ortiz, V. "Farming Pays: Andalucía's Agricultural Application of GPS". GPSworld. Julio 1998. Vol 9. pag. 30-34. I.S.S.N.:1048-5104.

Sun Microsystems. 2002. Web oficial de Javasoft. <http://java.sun.com>

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### PROBLEMÁTICA DE LA INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN DIGITAL A DISTINTOS NIVELES DE ESCALA

CASTILLEJO GONZÁLEZ, I. L.; SÁNCHEZ DE LA ORDEN, M.;  
GARCÍA-FERRER PORRAS, A.

Universidad de CÓRDOBA, ESPAÑA  
Dep. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica  
ilcasti@uco.es

### RESUMEN

Este trabajo se centra en los problemas derivados de generación de los Mapas de Cultivos Y Aprovechamientos a escala 1/50.000 de toda la Comunidad Andaluza acometidos por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía durante los años 1.996-2.000. Estos problemas se deben principalmente al nivel de escala de cada uno de los mapas utilizados en el proceso: Mapas de Cultivos Agrícolas (1/10.000) y Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía (MUCV) (1/50.000) y a la interpretación efectuada en cada uno de ellos. No obstante, la edición de la cartografía temática final realizada a escala 1/50.000 disminuye los problemas enunciados anteriormente.

**Palabras clave:** SIG, cartografía temática, fotointerpretación

### ABSTRACT

During the years 1.996-2.000, the Consejería de Agricultura y Pesca of the Junta de Andalucía attempted the generation of the Mapas de Cultivos Y Aprovechamientos to scale 1/50.000 of the whole Andalusia. The methodology created by this project had several problems because of the scale of every map used in the study: Mapas de Cultivos (1/10.000), Mapas de Usos y Aprovechamientos del Suelo de Andalucía (1/50.000), and the interpretation carried out in each of them. Nevertheless, the edition of the final thematic cartography realized to scale 1/50.000 decreased the problems enunciated previously.

**Key words:** GIS, thematic cartography, fotointerpretation.

## **1. Introducción**

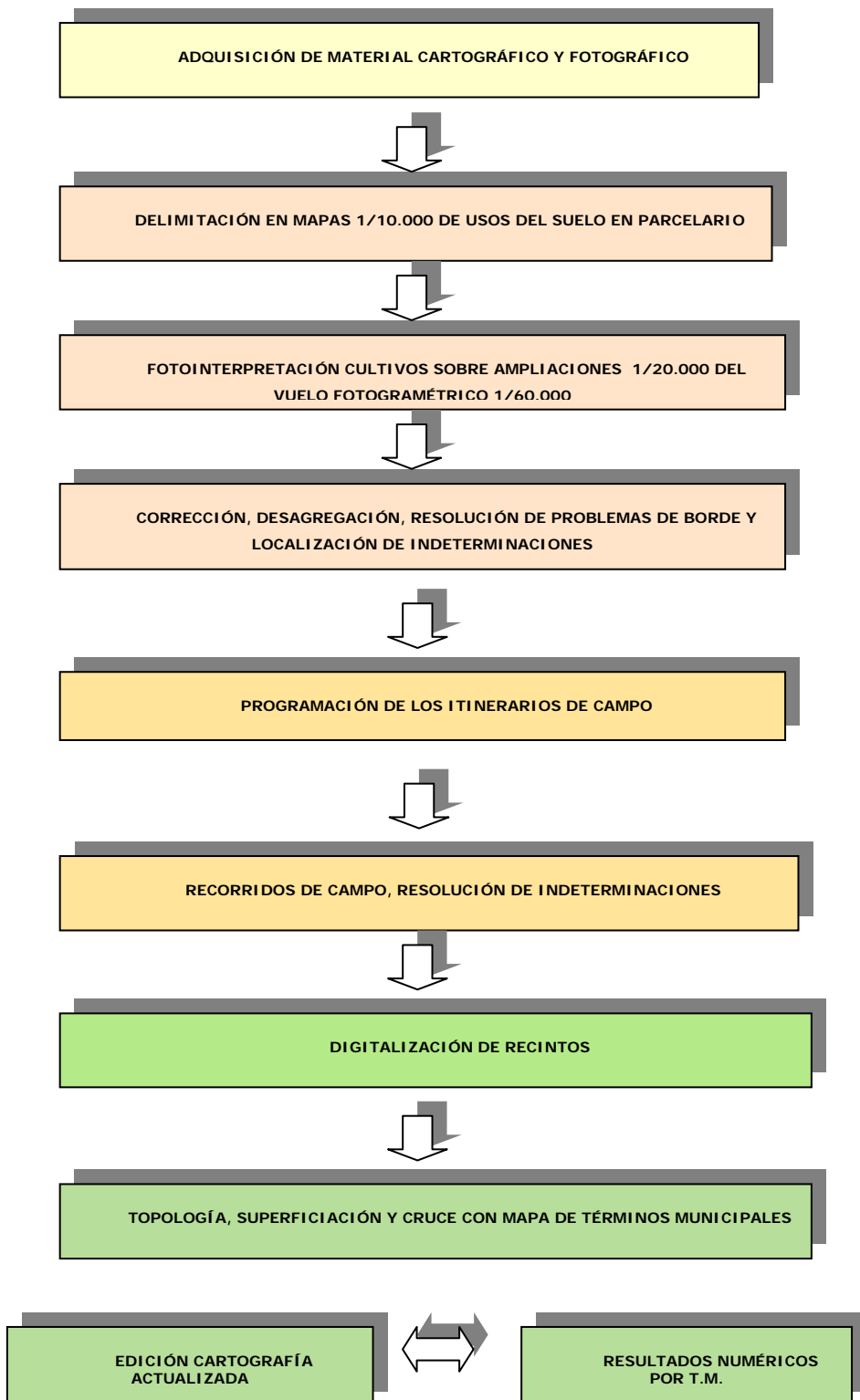
Por la antigua Dirección General de la Producción Agraria del MAPA se realizaron los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos por hojas del M.T.N. a escala 1/50.000 en todo el territorio de la C.A. de Andalucía, en el periodo comprendido entre los años 1975 y 1985. Dichos trabajos contienen un mapa con delimitación de grandes grupos de cultivos y aprovechamientos, llegando a un nivel de detalle de diferenciación de parcelas a nivel de especies o variedades, y una memoria resumen donde se exponen las características generales y agronómicas de las zonas, así como las superficies planimetradas de los distintos grupos de cultivos cartografiados a nivel de municipios.

Estos mapas con sus datos numéricos han sido y son de gran interés para técnicos de la Administración y del sector privado, que los demandan como única fuente de ubicación en el territorio de los grupos de cultivos y conocimiento de su superficie.

En la actualidad y dado el dinamismo agrícola en el uso del suelo, fundamentalmente arranque y nuevas plantaciones de cultivos leñosos y transformaciones en superficie dedicadas a herbáceos, han ocasionado que estos mapas y sus datos numéricos asociados hayan quedado desfasados en determinadas zonas, lo que origina que haya sido necesario proceder a su actualización para obtener la información mas próxima a la realidad.

## **2. Metodología**

El proceso de obtención del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos se ha realizado en dos fases. La primera de ellas se ha basado en la generación del Mapa de Cultivos Agrícolas, donde toda la superficie no considerada de uso agrícola, a excepción de los improductivos, se ha englobado en una clase denominada No Cultivado (NC). El esquema metodológico de esta fase se observa a continuación.





El resultado final de este proceso da lugar a la cartografía de Mapas de Cultivos Agrícolas y a una base de datos asociada a ella como se muestra a continuación.

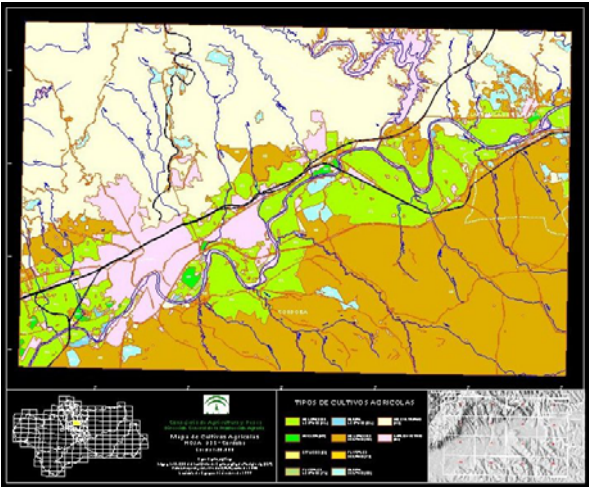


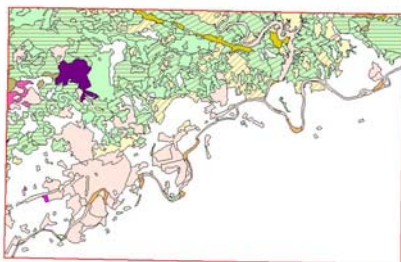
Figura 1: Mapa de Cultivos Agrícolas.

Tabla 1: Base de datos del Mapa de Cultivos Agrícolas.

HOJA 923 CORDOBA										
Superficie en Has. por Cultivo y Término Municipal										
TERMINO MUNICIPAL	Herbáceos Regadio	Huerta	Citricos	Frutales Regadio	Olivar Regadio	Herbáceos Secano	Frutales Secano	Olivar Secano	No Cultivado	Inaprovechable
ADAMUZ	0	0	0	0	0	0	27	459	0	492
CORDOBA	7103	224	10	56	112	18021	17	810	15833	6182
EL CARPIO	45	0	0	0	5	12	0	1	13	4
OBEJO	0	0	0	0	0	11	0	0	936	109
VILLAFRANCA DE CORDOBA	742	28	0	2	39	2103	0	607	1899	337
VILLAVICIOSA DE CORDOBA	0	0	0	0	0	0	0	0	468	1
TOTAL	7890	252	10	58	156	18153	17	1446	19608	6633
HOJA 923 CORDOBA										
Superficie en % por Cultivo y Término Municipal										
TERMINO MUNICIPAL	Herbáceos Regadio	Huerta	Citricos	Frutales Regadio	Olivar Regadio	Herbáceos Secano	Frutales Secano	Olivar Secano	No Cultivado	Inaprovechable
ADAMUZ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	5.5	93.3	0.9
CORDOBA	15.3	0.5	0.0	0.1	0.2	34.6	0.0	1.7	34.1	13.3
EL CARPIO	55.6	0.0	0.0	0.0	6.4	15.3	0.0	1.9	15.9	5.0
OBEJO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	88.7	10.3
VILLAFRANCA DE CORDOBA	12.9	0.5	0.0	0.0	0.7	36.5	0.0	10.5	33.0	5.9
VILLAVICIOSA DE CORDOBA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.1
% Sup. Cultivo/Hoja	14.6	0.5	0.0	0.1	0.3	33.5	0.0	2.7	36.2	12.2

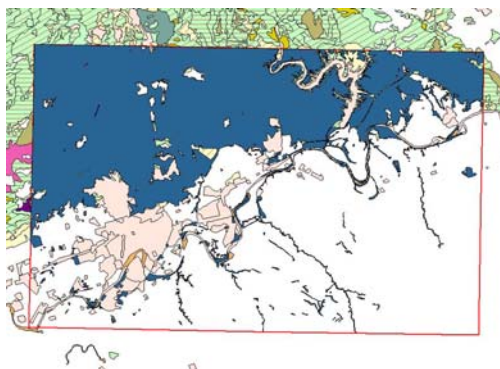


**DEL MUCV SE EXTRAHE TODA LA INFORMACION CORRESPONDIENTE AL  
LIMITE DE LA HOJA EN LA QUE SE ESTE TRABAJANDO**



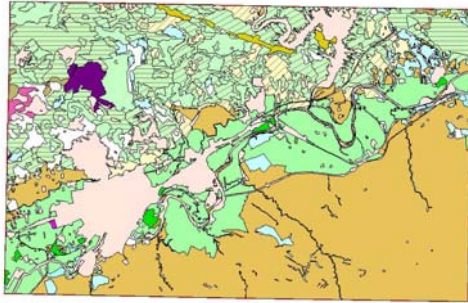
*Figura 4: Extracción de la información del MUCV.*

**CRUCE ENTRE LA INFORMACION DEL MUCV Y NO CULTIVADO, PARA OBTENER LAS  
CUBIERTAS VEGETALES DE LA HOJA**



*Figura 5: Cruce de la información del MUCV y No Cultivado del Mapa de Cultivos Agrícolas.*

**UNION DE LA INFORMACION CORRESPONDIENTE A CULTIVOS AGRICOLAS Y  
CUBIERTAS VEGETALES PARA GENERAR HOJAS DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS**

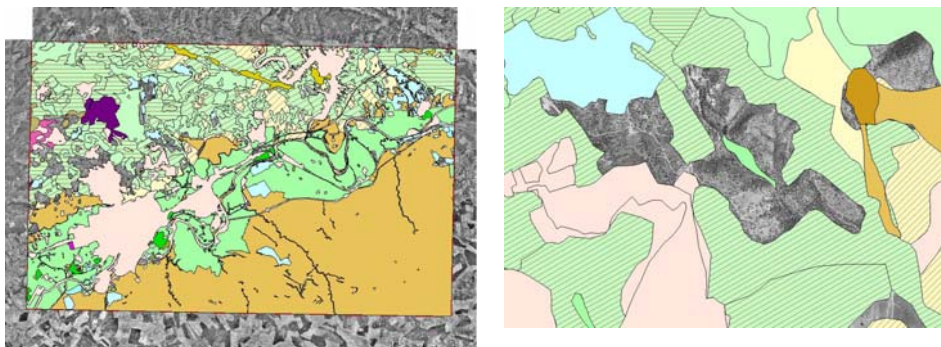


*Figura 6: Unión de la información de cultivos agrícolas con la de cubiertas vegetales.*

**CORRECCION DE INDETERMINACIONES Y AJUSTES DE BORDES CON LA  
ORTOFOTOGRAFIA**

En el desarrollo de esta fase se presentan una serie de problemas derivados del nivel de escala de cada uno de los mapas utilizados para el desarrollo de la metodología: Mapas de Cultivos Agrícolas (1/10.000) y Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía (1/50.000) y, por tanto, en la interpretación de los usos efectuada en cada uno de ellos. No obstante, la edición de la cartografía temática final realizada a escala 1/50.000 disminuye los problemas enunciados anteriormente.

Para solventar este problema se ha procedido a superponer la capa de usos del suelo sobre una ortofoto de 1m de resolución, lo que permite la fotointerpretación de las zonas donde el MUCV no presenta información.



*Figura 7: Superposición de capas de usos del suelo sobre ortofoto.*

Debido a que el Mapa de Cultivos se ha realizado sobre hojas del 10.000, en esta fase se produce discontinuidades entre los usos de una hoja y los contiguos en otra hoja. Para ellos se unen las distintas hojas y se vuelven a fotointerpretar las zonas que crean conflicto.



*Figura 8: Fotointerpretación de bordes de hojas.*

**IMPORTACION DESDE ARC-INFO Y CREACION DE TOPOLOGIA**



**EDICION HOJA DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS**

### **3. Conclusiones**

La elaboración de este Mapas de Cultivos Agrícolas a escala 1/50.000 de toda la Comunidad Andaluza ha dado lugar a un mapa que refleja la situación actual de aprovechamiento del suelo, dando especial importancia a los usos agrarios. Este mapa se caracteriza por tener una continuidad en todo el territorio andaluz, lo que permite obtener una caracterización agraria a diferentes niveles que pueden ir desde toda la comunidad andaluza hasta pequeñas zonas localizadas, pasando por mapas provinciales, municipales, etc.

### **Referencias**

Consejería de Medio Ambiente de la J.A. *Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía*. Sevilla, 1.995.

Consejería de Agricultura y Pesca de la J.A. *Mapa de Cultivos Agrícolas*. Dirección General de la Producción Agraria, MAPA 1.999.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO DEL MECANISMO DE UN SIMULADOR ECUESTRE

GARCIA MATÉ, Esteban; BAÑOS GARCIA, M<sup>a</sup> Esther; RAMOS BARBERO, Basilio;  
MELGOSA PEDROSA, Carlos; RUIZ CALVO, Justo

<sup>(1)</sup>Universidad de BURGOS, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA

Correo electrónico: [egarciam@ubu.es](mailto:egarciam@ubu.es) ó [ebayos@ubu.es](mailto:ebayos@ubu.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de BURGOS, España

Escuela Politécnica Superior, Departamento de CALCULO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA

### RESUMEN

El objetivo de esta ponencia es el diseño de un mecanismo simple que pueda transmitir las sensaciones que experimenta un jinete a lomos de un caballo. El mecanismo tendrá un movimiento plano y podrá realizar los diferentes aires naturales del caballo (paso, trote, galope).

En su desplazamiento el caballo utiliza movimientos que coordinan entre sí las cuatro extremidades, la cabeza y el cuerpo. En el estudio nos fijaremos exclusivamente en el cuerpo del animal ya que es el que trasmite los movimientos al jinete.

Para analizar las sensaciones de los movimientos del caballo consideramos dos puntos del mismo: la cruz y el lomo, donde se ubica la silla para el jinete. Estos dos puntos se consideran como un sólido rígido.

La obtención de las curvas de movimiento se realizará mediante una grabación en vídeo de un caballo en condiciones reales (pista de equitación), la cual nos proporcionará los datos necesarios para el diseño del mecanismo (posiciones, velocidades, aceleraciones, ...).

Las gráficas de movimientos se obtendrán a través de un software multimedia específico y con los fotogramas filmados, previamente digitalizados, obtendremos los puntos de desplazamiento (cruz y lomo). Analizando dichos puntos, con las curvas de movimiento diseñaremos un modelo en 3D del equino, al cuál incorporaremos unos actuadores (cilindros motorizados) para realizar la simulación de los movimientos del caballo.

**Palabras clave:** Simulador, ecuestre, aplicaciones, multimedia, animación .

## ABSTRACT

The object of this paper is the design of a simple mechanism that could transmit the sensations of a horseman when riding. The mechanism will have a flat movement and will be able to simulate the different natural ways of a horse (gait, trot and gallop).

When moving, a horse uses movements which coordinate the four extremities, head and body. In this study, only the body of the animal will be considered because it is through the body that the movements of a horse are transferred to the rider.

To analyse the sensations of the movements in a horse, two points have been taken into account: withers and back, where the saddle is located. These two points are regarded as a “rigid solid”.

The curves of movements will be obtained using a video recording of a horse in real conditions (in a riding track). This recording will provide us with the data necessary to design our mechanism (positions, velocities, accelerations . . .)

The graphs of movements will be obtained by means of some specific multimedia software, and with the filmed shots, previously digitalized, the points of displacement (withers and back) will be obtained. An analysis of these points and the curves of movements should result in the design of a “3D model” of the horse, to which some servo actuators (motorized cylinders) will be added to simulate the movements of the horse.

**Key words:** Simulator, equestrian, applications, multimedia, animations.



## 1. Introducción

Inicialmente la idea de un simulador surge por la inquietud de algunas escuelas de equitación y centros de formación ecuestre de Burgos, por adquirir un simulador para personas con miedo, de edad avanzada, para la iniciación de niños pequeños, personas discapacitadas, etc. En la actualidad existen varios tipos de simuladores ecuestres en Inglaterra, EEUU etc, los cuales son impensables de conseguir debido a sus costos. Entonces surge la idea por nuestra parte de diseñar un simulador (figura 0). Cuando analizamos la idea, surgen multitud de problemas, como la ausencia de presupuesto para analizar los movimientos del caballo en rampas de pruebas, la disponibilidad de un caballo etc.

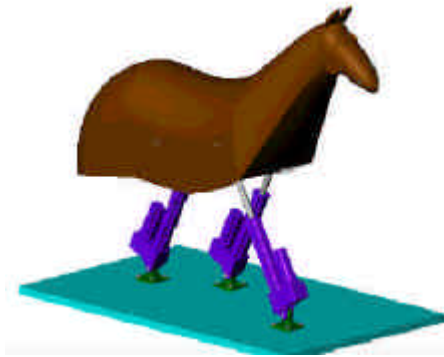


Figura 0

Tras muchas discusiones llegamos a la conclusión de que la mejor forma de obtener las curvas de movimiento del caballo es in situ, filmando a un caballo con una cámara de vídeo convencional, en el picadero de procedencia de dicho equino.

Posteriormente comentaremos la metodología para la obtención de las curvas, su tratamiento, el diseño del equino y la animación del mismo

## 2. Revisión Bibliográfica

## 3. Desarrollo del Trabajo

En una primera fase y antes de realizar las filmaciones del caballo en sus diferentes aires (paso, trote y galope), haremos las siguientes consideraciones:

Consideraremos el punto 1 y el punto 2 como si estuvieran unidos por una barra rígida e indeformable. Hay que analizar la posición de esta barra (analizando por

separado la posición del punto 1 y el punto 2) a lo largo de un tranco completo (ciclo completo) del caballo en sus tres tipos de aires naturales de desplazamiento.

Luego el estudio del movimiento del caballo se restringe al análisis de los desplazamientos de estos dos puntos que están unidos por una barra.

Veamos el la Figura 1 las consideraciones descritas.

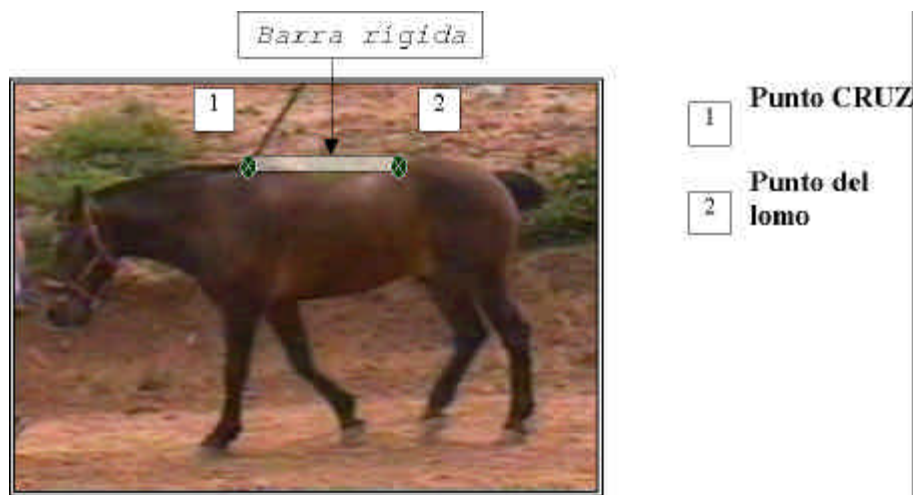


Figura 1

Descripción de la filmación; ésta se realizó sobre una pista de tierra de unos 16 metros de longitud y unos 10 metros de anchura (Figura 2).

Se utilizó una videocámara ( Hitachi VM-H 520E 8mm) con el centro de la lente del objetivo situada a una altura de 1,5 metros del suelo, colocada perpendicularmente a la pista y a una distancia aproximada de 10 metros al caballo. La amplitud del campo de visión fue de unos 6 metros, lo que permitió grabar al menos un tranco completo.

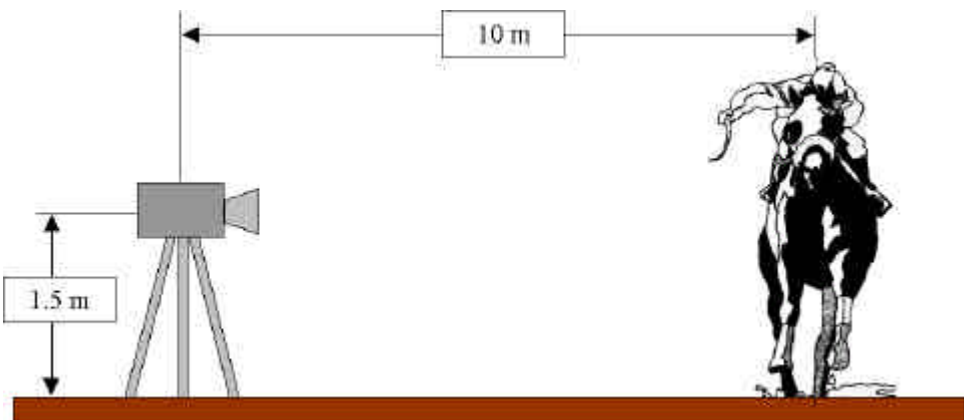


Figura 2

Filmamos al caballo en los tres aires de paso, trote y galope. Con cada uno de esos aires realizamos tres grabaciones del animal: sin silla, con silla y con jinete. En las dos primeras grabaciones (sin silla y con silla) llevamos al animal "a la cuerda".

En una segunda fase digitalizamos la tomas de vídeo, con el fin de obtener los fotogramas que nos definen los puntos a analizar, con los que hemos obtenido las curvas de movimiento que nos han servido para realizar el automatismo que generará los movimiento del caballo simulador.

Para la obtención de las curvas hemos realizado un seguimiento digital de los puntos de control como muestra la Figura 3.

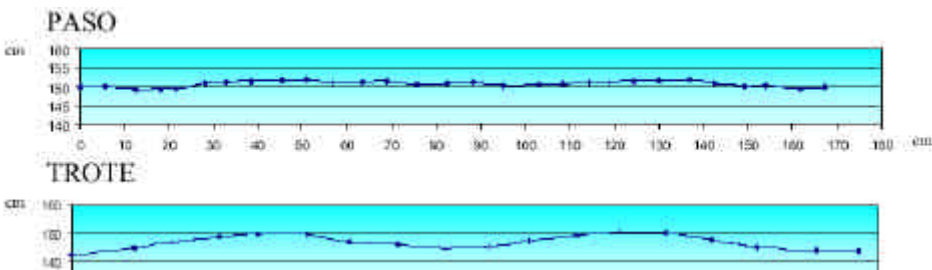


Figura 3

Con la técnica de digitalización obtenemos de forma bastante fiable la relación entre el desplazamiento vertical y horizontal de los puntos de control a lo largo del tiempo como se vé la figura 4, que muestra las curvas de desplazamiento de la cruz en los distintos aires naturales del caballo.

Una vez obtenidas las curvas de movimiento, estudiamos los actuadores que existen en el mercado y que generaran dichos movimientos, seleccionando los actuadores electromecánicos por su versatilidad y precisión de movimientos.

Con los actuadores ya seleccionados definiremos la estructura que nos permita generar los movimientos que simulan los aires del caballo. Esta estructura se puede apreciar en la figura 5.



La Fase tercera consiste en la generación de un modelo 3D al cual dotaremos de animación para ver los resultados finales. El modelo 3D lo componen una estructura rígida que simula la morfología del caballo, así como los actuadores o elementos que generan el movimiento simulado y la estructura o soporte de la estructura, que simula el cuerpo del caballo que son barras rígidas. El resultado final lo podemos ver en la Figura 5.

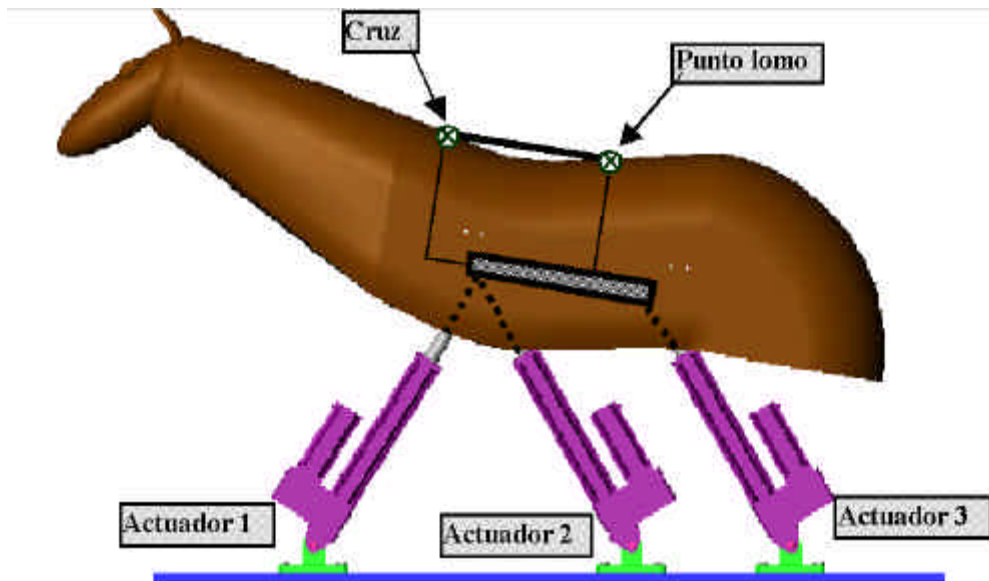


Figura 5

#### 4. Conclusiones o Consideraciones Finales

En la ponencia objeto de esta comunicación, “Diseño del mecanismo de un simulador ecuestre”, el problema fundamental era la obtención de las curvas de movimiento del lomo de un caballo real, tras una serie de estudios llegamos a la conclusión de que la mejor forma de obtenerlas era a través de aplicaciones multimedia.

Estas aplicaciones consisten en la filmación in situ del equino, posteriormente se digitalizan las secuencias de vídeo filmadas y a continuación se localizan los puntos a analizar para reconstruir las curvas deseadas.

A continuación realizaremos un modelo 3D al que animaremos de forma que reproduzca los movimientos deseados.

Para finalizar y como conclusión final diremos que el coste de este simulador básico ronda los 45.000 Euros, aproximadamente 2 o 3 veces menos que los simuladores ya existentes en el mercado y con similares características.

## Agradecimientos

Agradecemos al propietario del picadero FUENTE HELADA de Burgos a D. Tomás González, por permitirnos la utilización del picadero y de un caballo para las pruebas realizadas, así como a los alumnos D. Javier de la Hera barriuso Y D. Lorenzo Berezo Carcedo, por encargarse de realizar el trabajo de campo.

## Referencias

Como referencia para el análisis de las curvas de movimientos nos referimos al estudio realizado por el Department of Physiology, Istituto Tecnologie Biomediche Avanzate, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Fratelli Cervi 93, 20090 Segrate, Milano, Itali. Las curvas en cuestión se ven reflejadas en la figura 6.

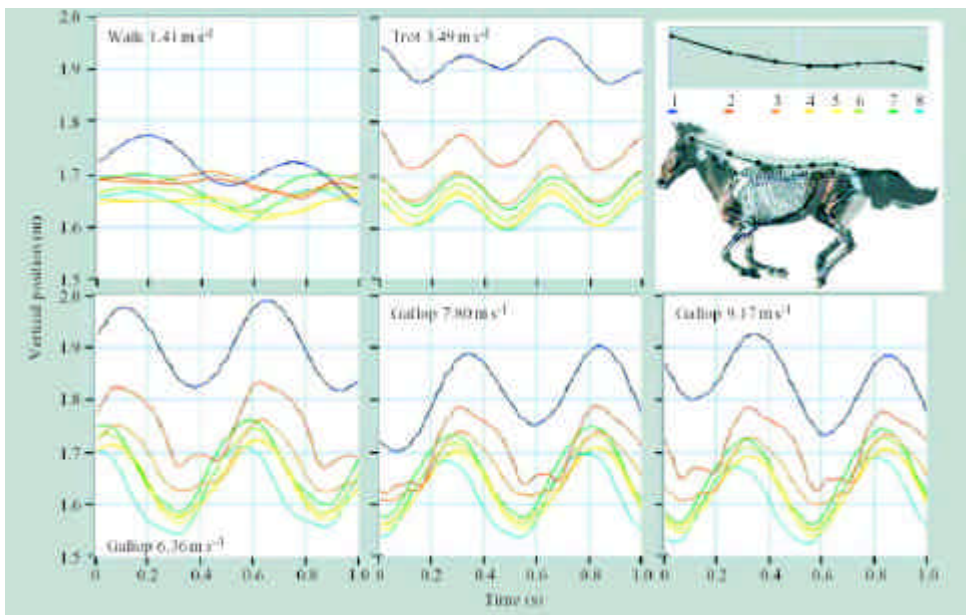


Figura 6

## **4. COMPLEMENTOS**

# UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA EXPRESIÓN GRÁFICA

CÁRDENAS CÁRDENAS, Ramón R; ALFONSO PARDO, José A  
Universidad de Ciego de Ávila. Cuba  
Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica.  
E-mail: [rricard@ingenieria.unica.cu](mailto:rricard@ingenieria.unica.cu)

## RESUMEN

Dentro del entorno de AutoCAD el uso de atributos constituye la forma principal del manejo de datos. Pero el empleo de datos dinámicos, que se modificarán con el tiempo, justifica la utilización de datos externos al dibujo. En el presente trabajo se muestra una propuesta para la enseñanza de la expresión gráfica a partir de la realización de consultas de bases de datos externas, que son visualizadas desde la interfase de AutoCAD, permitiendo al usuario su acceso e incluso su modificación. Se muestra un ejemplo donde se utiliza el MICROSOFT ACCESS como soporte de la información. Esta propuesta constituye una alternativa que contribuye a la optimización del proceso de elaboración de documentos de proyecto. Esta experiencia docente innovadora se ha utilizado de forma experimental en la carrera de Mecanización Agrícola e Ingeniería Mecánica con resultados alentadores.

**Palabras clave:** “enseñanza de la expresión gráfica”, AutoCAD, base de datos.

## ABSTRACT

Whithin the AutoCAD, the use of attributes constitutes the main form of the handling of data. But the use of dynamic data that will be modified with time, justifies the use of external data to drawing. In the presrent work it is showed a proposal for the education of the graphical expression from the accomplishment of consultations of external data bases that are visualized from the AutoCAD interface, allowing to the user its access and even its modification. It is showed an example where the MICROSOFT ACCESS is used like support of the information. This proposal constitutes an alternative that contributes to the optimization of the elaboration of projects documents. This innovating educational experience has been used of experimental form in Agricultural Mechanization Engineering careers with encouraging results.

**Key words:** “education of the graphical expresión”, AutoCAD, data bases.

## **1. Introducción**

La computación es un componente esencial en la formación del Ingeniero, una de las vías de comunicación de los profesionales actuales y futuros. En la actualidad el desarrollo alcanzado por la informática en la creación de software de aplicación que cubren las principales necesidades del trabajo profesional del ingeniero, así como la precisión del papel de la computación como herramienta de trabajo, tanto durante la carrera como en el ejercicio de la profesión, permite dar una orientación del sistema de conocimientos y habilidades hacia la explotación y/o personalización de sistemas profesionales de trabajo.

Las tendencias actuales del desarrollo de la expresión gráfica corroboran esta afirmación. La utilización de datos externos en AutoCAD no es algo nuevo, ya que esta presente desde la versión 12 a través de su extensión ASE. AutoCAD 2000 dispone de funciones simples que permiten resolver casos de conexión con bases de datos externas y que pueden visualizarse desde la interfase de AutoCAD. El usuario puede acceder e incluso modificar dicha base de datos.

## **2. Desarrollo del trabajo**

Con independencia de las tendencias actuales en el uso de tecnología de avanzada para el desarrollo de la expresión gráfica, no puede haber un divorcio con las formas tradicionales de su enseñanza. Deben compatibilizarse los conocimientos fundamentales de la enseñanza tradicional, con el uso del ordenador en la aplicación práctica de los conocimientos.

En las asignaturas de Dibujo técnico para las especialidades de Mecánica y Mecanización Agropecuaria, en el proceso de elaboración de planos de trabajo con el uso de AutoCAD, se hace necesaria la consulta de información para la elaboración de dichos documentos. Fundamentalmente el trabajo con tablas de distintos elementos normalizados utilizados en la asignatura. Para solucionar en parte esta situación surge la idea de este trabajo.

Para utilizar esta alternativa, se hace necesario crear una base de datos con los elementos necesarios para el trabajo. En nuestro caso la base de datos se creó en ACCEES. Esta base de datos puede ser modificada de forma independiente, ya sea para su ampliación o actualización.

El trabajo fundamental del docente está en el análisis de los contenidos, en la concepción de la base de datos tratando de garantizar un proceso de enseñanza aprendizaje centrado en este último aspecto de forma tal que contribuya a una formación más integral del educando al utilizar en el desarrollo de la asignatura las nuevas tecnologías de la información y prepararlo así para su desenvolvimiento posterior en la sociedad.



## Consulta de bases de datos en el ambiente de AUTOCAD.

Una vez que se dispone de una base de datos se esta en condiciones de operar con ella desde AutoCAD.

Se debe abrir el **db Connect Manager**, una ventana desde la cual se manejan todas las conexiones con el icono **dn connect**, presente en la barra Standard de herramientas. Luego se puede abrir en AutoCAD el dibujo sobre el cual se trabajará.

El proceso de conexión no representa mayores dificultades y se intentará resolverlo con el mínimo de opciones, aceptando las condiciones por defecto cuando esto lo permita el sistema.

### *Procedimiento para la conexión con los datos.*

- ? En Microsoft ACCESS se crea una base de datos.
- ? Se define una tabla X con los campos XXX...
- ? Se ejecuta **db connect** desde la barra principal de autoCAD 2000 (Abrir la ventana **db Connect Manager** desde la cual se manejarán las conexiones)
- ? Accionar el botón derecho del mouse sobre **Data Sources** y se despliega **Configure data sources**.
- ? Darle un nombre a la conexión. Aceptar (**OK**).
- ? Cuando se solicita el tipo de base de datos, especificar **Microsoft Jet 3.51 OLE DB Provider**. Seguir con **Next**.
- ? Especificar el nombre y ubicación de la base de datos.
- ? Con **Text Connexion** probar la conexión (verificar si los parámetros de la conexión son correctos).
- ? Debajo de **Data Sources** aparecerá el nombre de la conexión. Con el botón derecho del mouse se despliega un menú contextual: seleccione **connect**.
- ? AutoCAD despliega la lista de tablas por debajo del nombre de la conexión.
- ? Seleccionar una tabla, con el botón derecho desplegará una serie de opciones: la opción **Table** permite visualizar la tabla directamente desde AutoCAD. La opción **Edit table** permite cambiar los valores de la tabla.

### Resultados de su aplicación.

La aplicación de esta alternativa ha propiciado que el desarrollo del proceso se dinamice, se optimice la elaboración de documentos de proyecto, logrando la incorporación de las nuevas tecnologías con un adecuado vínculo con la enseñanza

tradicional. Los resultados obtenidos demostraron que es aplicable a todas las carreras donde se utilice la expresión gráfica.

### **3. Conclusiones**

La conexión con bases de datos externas constituye una alternativa interesante en AutoCAD. Con el uso de esta alternativa se agilizan las labores de consulta, al poder acceder a los datos desde la interfase de AutoCAD, contribuyendo al ahorro de tiempo y en consecuencia a optimizar el trabajo.

Los resultados obtenidos a través de aplicaciones prácticas en el proceso de enseñanza de la expresión gráfica, han demostrado la utilidad de esta experiencia.

### **Referencias**

**CÁRDENAS, Ramón R.** Tesina “La optimización del proceso de elaboración de documentos de proyecto utilizando el Microsoft Access y Autocad”. 2001. UNICA.

**SERVER García, P.** León Díaz, P. Manual Básico de ACCESS. UNICA. 1997.

**MARÍA Sarriegui, J.** Serrano, N. Muro, I. Aprenda Microsoft Access 97. Universidad de Navarra. 1998.

**RODRÍGUEZ, O.** Manual de trabajos prácticos de Dibujo Aplicado. Pueblo y Educación. La Habana. 1996.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DESARROLLO DE LA GEOMETRÍA DESCRIPTIVA EN EL SIGLO XIX.

ALTEMIR GRASA, José María (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de Zaragoza, País España  
Centro Politécnico Superior de Ingenieros  
Correo [altemir@unizar.es](mailto:altemir@unizar.es)

### RESUMEN

Desde la época del Renacimiento, la calidad gráfica de las representaciones se mejora significativamente y se utiliza la Geometría como base fundamental. Así, en el siglo XVI, se fundan los primeros centros de enseñanza técnica, crece la importancia teórica del dibujo y, como consecuencia, aparecen publicados un buen número de libros sobre este tema.

Aunque los siglos posteriores, XVII y XVIII, son fundamentales para sentar las bases de la teoría del dibujo, el siglo XIX puede, sin duda, catalogarse de "Siglo de Oro" en el desarrollo de la Geometría Descriptiva. Por ello, se presenta su desarrollo en Europa y en España, a través de los principales personajes, que como Gaspar Monge, han contribuido con sus obras al desarrollo de esta disciplina hasta el estado actual.

### ABSTRACT

The quality of technical drawings improves significantly from Renaissance and it uses the Geometry. The first schools are founded in the century XVI, and many drawing books are published.

The centuries XVII and XVIII are very important in the descriptive Geometry; but the century XIX is the "Gold Century". In this record is presented the principal scientifics in Geometry, like Gaspar Monge, who have contributed to develop this science.

### 1. Introducción

Desde el Renacimiento, la calidad gráfica en la representación experimenta un avance significativo mediante la precisión en las medidas, la elección con esmero de plumas, papel, y tinta de colores, así como el uso frecuente de técnicas de grabado, y la Geometría como base científica.

Ya en el s. XVI, aparecen los primeros centros de enseñanza técnica, como la Real Academia de Matemáticas, fundada por Felipe II en Madrid en 1582, para ofrecer una sólida formación a los futuros técnicos en diversas ramas. La dirección de la Academia recae en Joao Baptista Lavanha y su Plan de Estudios es diseñado por el conocido arquitecto Juan de Herrera. La Real Academia desaparece en 1634; pero surge con fuerza en 1625 el Colegio Imperial, fundado por la Compañía de Jesús, que se convierte en el centro especial de los estudios superiores de Arquitectura e Ingeniería en la España del s. XVII.

A partir de la creación de estos centros de enseñanza, va creciendo la importancia teórica del Dibujo, y aparecen los primeros libros como el "Breve tratado del Arte de Artillería, Geometría y artificios de fuego" de Lázaro de Isla y la "Teoría y práctica de fortificaciones" de Cristóbal de Rojas, publicado éste último en 1598.

A comienzos del s. XVII, aparece una versión española de la teoría de Zuccaro, el libro titulado el "Poema de la Pintura" de Pablo Céspedes, que usa la cuadrícula como ayuda al dibujo; y en 1715 se publica el libro "Museo Pictórico y Escala Óptica" de Antonio Palomino de Castro, que se utiliza más tarde como libro de texto de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, fundada en 1752. En relación con este centro, se puede citar la contribución de su director D. Benito Bails con la obra "Perspectiva y Geometría aplicada", que emplea el método de proporciones del cuerpo humano de Arfe, formado por treinta y una partes geométricas.

Es a finales del siglo XVIII cuando Julián de Velasco, miembro de la Sociedad Económica de Madrid, establece la diferencia entre el dibujo académico, también llamado artístico, y el dibujo posteriormente denominado industrial, y aconseja que tengan procesos de aprendizaje bien diferenciados.

## **2. La Geometría Descriptiva en la Europa del s. XIX.**

Aunque el uso de la representación planimétrica se habían utilizado desde la antigüedad, durante el Renacimiento aparecen mapas de una notable calidad gráfica que pueden considerarse precursores del Sistema de Planos Acotados. Estos mapas resuelven la preocupación por la representación del terreno, que urgía con los descubrimientos de los nuevos territorios americanos, y los levantamientos planimétricos se desarrollan durante el siglo XVI. Otro hecho importante, que contribuye al desarrollo del sistema, es la evolución de la ingeniería militar que necesita la representación de superficies extensas para planificar sus maniobras.

El Sistema Acotado, también llamado en sus orígenes Sistema de Acotaciones, se desarrolla, a principios del siglo XVIII, en la práctica de unas construcciones hidráulicas en Holanda. El concepto de curva de nivel es empleado, por primera vez, por el holandés Nicolás Samuel Cruquius para la representación de la batimetría del lecho del estuario del Merdewe, en la confluencia de los ríos Mosa y Vaal en el año 1730.

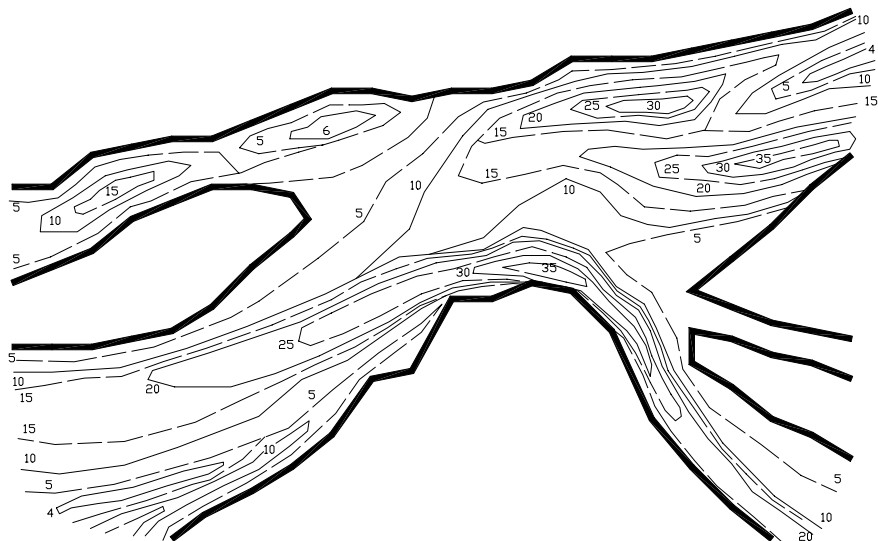


Figura 1: Curvas de nivel del lecho del río Merdewe.

Sin embargo, la primera consideración científica se fragua en la Escuela de Ingeniería Militar de Mezières en Francia, donde se guarda como secreto militar hasta la época de Napoleón. Un ejemplo de este dato, es la representación de los fondos marinos del Canal de la Mancha por curvas de nivel, isóbatas, obtenidas mediante sondas por los navegantes, que efectúa el ingeniero Philippe Bouache en 1738 y que permanece oculto durante bastante tiempo.

A finales del siglo XVIII, se inicia, por el coronel del ejército austríaco Johan Georg Lehmann, un sistema de relación entre el dibujo de las normales y las pendientes del terreno representado. Es en 1828, cuando la comisión francesa del "Département de la Guerre" enuncia una regla debida al geógrafo Benoit, que se conoce como "ley del cuarto". Esta regla establece que las distancias entre las normales consecutivas deben estar en razón inversa a las pendientes e igual al cuarto de la distancia tomada sobre el mapa entre dos curvas consecutivas. Este método de las normales es un procedimiento muy extendido durante el siglo XIX en la cartografía europea.

En 1750 Cassini inicia, apoyándose en su red de triangulación, la realización del primer mapa topográfico nacional de un país realizado a escala 1/86.400. Se trata del "Mapa Geométrico", empezado en 1756 y conocido como "Mapa de Cassini" y en el que también intervienen su hijo Cesar Francois y su nieto Jacques Dominique, quien en 1789 logra acabar la obra. El Mapa Geométrico puede considerarse el más notable ejemplo de la representación cartográfica por el método de las normales.

La preocupación por definir correctamente los movimientos de tierra, hace que el francés Lespinnasse publique en 1768 su "Tratado sobre la Teoría y la Práctica de la Nivelación". En 1782, en la Escuela de Ingeniería Militar, Ducarla y Jean Dupaix-Triel publican el libro "Expresión de las nivelaciones o método nuevo para representar

rigurosamente en el plano terrestre o marino las alturas y las configuraciones del terreno”, que contiene un nuevo método más evolucionado que el anterior sobre la representación de terrenos. En 1791, Jean Dupaix-Triel publica un mapa que representa el relieve de Francia con curvas de nivel equidistantes 10 toesas, equivalente la toesa a un metro y 946 milímetros, y un perfil de norte a sur.

En 1808 Betourné, alumno de la asignatura de Geometría Descriptiva de la Escuela Politécnica de París, obtiene la solución a la cuestión de las líneas de máxima pendiente en el Sistema Acotado, y el mismo año Barnabé Brisson y Perre-Louis Dupuis-Torcy publican en el Periódico de la Escuela Politécnica el artículo titulado “Sobre el arte de proyectar los canales navegables”, un estudio geométrico de las divisorias de cuencas y de las vaguadas.

Sin duda el personaje fundamental de la Geometría Descriptiva es Gaspar Monge, geómetra y matemático francés, considerado el inventor del Sistema Diédrico, que nace en Beaune, en el sureste de Francia, el 10 de mayo de 1746. Lo que hace que Monge adquiera dimensión histórica es su gran aportación a la representación inequívoca de los objetos, ito significativo en el desarrollo de la Revolución Industrial y sin el cual resultaría difícil, por no decir imposible, la transmisión de información a través de los planos entre las oficinas técnicas y las plantas de fabricación, o la ejecución de la obra en el caso de la ingeniería civil.

En 1766, Monge dibuja el plano de la fortificación de la ciudad de Mézières; para ello, idea un método gráfico propio, que mejora los complicados métodos hasta entonces conocidos, y lo combina con sus conocimientos matemáticos. Este método es, al final, reconocido en la Escuela de Ingeniería Militar y pasa a ser secreto militar, hasta que en 1795 se le permite exponerlo públicamente en sus conferencias y clases.

En la Escuela Normal de París, creada para formar a los futuros profesores de la enseñanza secundaria, Monge imparte la Geometría Descriptiva, por primera vez, en el curso 1794-95. En junio de ese mismo año, la Escuela Central de los Trabajos Públicos, creada el 11 de marzo de 1794, se transforma en la Escuela Politécnica, y Monge da clases de Geometría Descriptiva, Analítica y Diferencial a partir del 9 de Noviembre. Sus clases de Geometría Infinitesimal son la base de su libro “Aplicación del análisis a la Geometría” publicado en 1809 [5].

Después de varios viajes internacionales en apoyo de Napoleón Bonaparte, Monge vuelve a París el 16 de octubre de 1799, retoma su puesto de director de la Escuela Politécnica y descubre que sus apuntes de Geometría Descriptiva han sido publicados precipitadamente, como recopilación de las lecciones impartidas en la Escuela Normal, bajo el título “La Colección de Apuntes de Geometría Descriptiva”, en colaboración con su discípulo Juan Pedro Nicolás Hachette.

El libro la “Geometría Descriptiva”, es publicado en 1795 -aunque otras fuentes apuntan el año 1799- y póstumamente, en 1827, se amplía con la “Teoría de sombras y perspectiva”. Esta parte es realizada por M. Brisson a partir de documentos de Monge. Además de la exposición del método de obtención de las sombras, analiza características métricas de los objetos en perspectiva, así como la influencia del color en determinadas circunstancias. Monge, en el desarrollo de su “Geometría

Descriptiva” se inspira en los trabajos de Jeurat y Dupain sobre perspectivas y sombras de 1750 y, especialmente, en “La théorie et la pratique de la cupe de pierres et des bois” de Frézier.

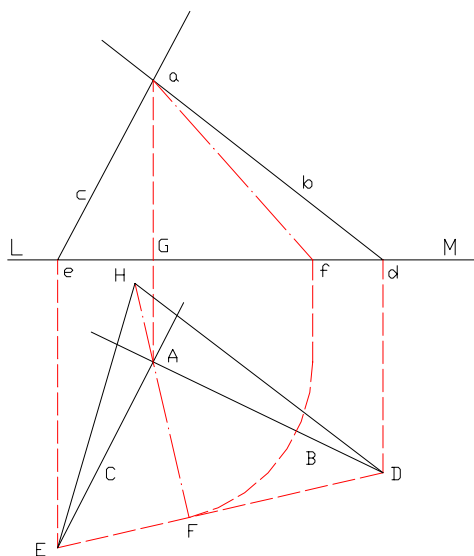


Figura 2: Determinación del ángulo que forman dos rectas por Monge.

La obra “Geometría Descriptiva” resulta ser un tratado detallado y completo sobre el tema, que se desarrolla dando explicaciones claras y profusas de las diversas partes estudiadas, haciendo referencia a cincuenta figuras que se encuentran al final en 24 láminas, realizadas casi todas ellas por L.J. Girard y L. Stévinny, alumnos de la Escuela Politécnica. Los problemas que resuelve siguen vigentes, si bien para aplicaciones más actuales y con procedimientos para la obtención de datos más precisos, sobre todo en Topografía.

Se constata que una cualidad que caracteriza este trabajo, es que surge de la necesidad de resolver ciertos problemas de carácter práctico y va mostrando, en su momento, las aplicaciones a las que se orienta la resolución de los problemas que desarrolla, como es el trazado de las desenfiladas en las fortificaciones, las construcciones de formas abovedadas, los relativos a levantamientos topográficos, otros relacionados con profesiones artesanales y con el arte en general.

La Geometría Descriptiva, junto con la Proyectiva desarrollada por Kleim, Steiner, Nobius, etc. es inicialmente desarrollada por el discípulo de Monge, el matemático y general francés Jean Victor Poncelet, que cae prisionero de los rusos en la retirada de Napoleón en 1812. Preso en Saratow y sin ninguna ayuda científica, salvo los conocimientos de la Geometría Descriptiva de Monge y la “Géométrie de la position”, de Lazare-Nicolas Carnot publicada en 1803, establece las bases de la Geometría, que empieza llamándose Perspectiva para llamarse Proyectiva después. Poncelet generaliza las transformaciones geométricas de Monge y descubre las

transformaciones proyectivas, que permiten unificar el estudio de las cónicas y dar a la Geometría un nivel de generalidad que hasta entonces se consideraba propio del Álgebra. Puesto en libertad en 1814, al llegar a Metz y presentar los trabajos son tan poco tenidos en cuenta que la Academia francesa rechaza su publicación en el “Journal de Grelle”. Su principal obra de Geometría es el “Traité des propriétés projectives des figures” publicada en 1822, con ella se inicia el periodo de mayor esplendor para los métodos de la Geometría Descriptiva, y basándose en estos procedimientos, Friedler y Wiener conciben la representación con la proyección cónica o central, Olivier en el Sistema Acotado y Gournerie en la perspectiva caballera. En el Sistema Isométrico, el catedrático de Cambridge William Farish formula en 1820 los conceptos de la proyección isométrica en su obra “On Isometrical Perspective”, si bien es el alemán Weisbach el verdadero creador de la axonometría moderna con su obra publicada en 1857.

En 1823, el capitán del arma de ingenieros Noizet, publica la memoria titulada “Memoria sobre la Geometría aplicada al diseño de la fortificación” [7], que contribuye en gran medida a la sistematización del Sistema Acotado. Este sistema, en su estructura actual, puede ser atribuido a Theodore Olivier, profesor de Geometría Descriptiva de la Escuela Central de Artes y Oficios desde 1829 hasta 1853, como se comprueba en el Capítulo V de su obra “Curso de Geometría Descriptiva” [8] publicada en 1843. También F. Leroy, profesor de Geometría de la Escuela Politécnica desde 1816 hasta 1824, recoge este Sistema en su libro “Tratado de Geometría Descriptiva” [4] publicado en 1872, el más popular texto francés de la disciplina del siglo XIX.

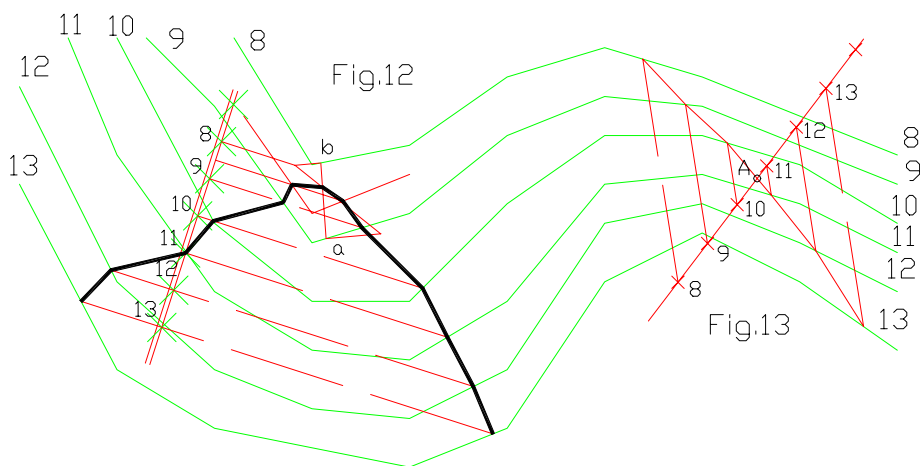


Figura 3: Figuras 12 y 13 de la Lámina 65 de Leroy.

En la representación se muestra el procedimiento para la intersección de un plano y una recta con el terreno.



El “Tratado de Geometría Descriptiva” de M. de la Gournerie publicado en 1891, incluye cuestiones de Geometría Diferencial para el tratamiento gráfico de superficies, expone la teoría de las figuras homológicas para aplicarlas a secciones planas de superficies radiadas y el estudio de los Sistemas de Representación. Mannheim, discípulo de la Gournerie, estudia la perspectiva caballera, conocida es su construcción de los ejes de una elipse a partir de los diámetros conjugados basado en la transformación afin.

Después de Gaspar Monge, muchos y célebres geómetras han cultivado esta materia: G. Fr. Gauss, K. Pohlke, R. Standigl, E. Müller –que funda la Escuela de Viena-, E. Papperitz – autor de una historia de la Geometría Descriptiva hasta 1906-, etc.. Los geómetras posteriores a Monge, se dividen en dos grupos: aquéllos que, como Poncelet, razonan exclusivamente en términos geométricos (geómetras sintéticos), y aquéllos que prefieren emplear el álgebra como herramienta (geómetras algebraicos). Al primer grupo pertenecen, entre otros, Karl Georg Christian von Staudt y Jacob Steiner en Alemania, Michel Chasles en Francia, Arthur Cayley en Inglaterra y Luigi Cremona en Italia. Al segundo pertenecen August Ferdinand Möbius y Julius Plücker.

Ya en el s. XX se duda sobre el nombre de Geometría Descriptiva y E. Kruppa, profesor de la Escuela Técnica Superior de Viena, propone en 1953 el nombre de Geometría Constructiva por tener un sentido más ajustado a la aplicación; pero no consigue la unificación del término, permaneciendo todavía el indicado por Monge.

### **3. La Geometría Descriptiva en la España del s. XIX.**

Los levantamientos de terrenos, tanto geográficos como militares, poseen una larga tradición en España durante los siglos XVI y XVII. Es a partir del siglo XVIII, cuando se acometen los levantamientos de mayor interés, como el realizado por Jorge Juan y Santacilia en su “Examen marítimo” de 1755, recopilación de los planos de las costas españolas para ejecutar obras de infraestructuras en dársenas y astilleros, y su obra de 1809 titulada “Método de levantar y dirigir el mapa o plano general de España”. También es de destacar los trabajos desarrollados en las academias militares como el Colegio Naval de Cádiz y el Colegio de Artillería de Segovia.

Como sucede en Francia, el interés no solo está centrado en las aplicaciones marítimas o militares, sino que se extiende a la preocupación por la resolución de los problemas de movimientos de tierras. Sobre este tema Pedro María de Lucuze, profesor de la Real Academia Militar de Barcelona, publica en 1766 la obra “Advertencia para la medida y cálculo de los desmontes o excavaciones de terrenos irregulares con una regla general para todos ellos”.

En 1778 se publica la obra “Compendio de Geometría elemental especulativa y práctica. Forma de levantar los planos y modo de hacer las tintas para su manejo” de Antonio Gabriel Fernández, patrocinada por la antigua Universidad de Mareantes del Real Seminario de San Telmo en Sevilla.

Prácticamente se puede afirmar que la Geometría en España se inicia con la creación de la Escuela de Caminos y Canales en 1802 y la fundación de la Real

Academia del Cuerpo de Ingenieros Militares en Alcalá de Henares en 1803, la consolidación se produce con la creación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales el 25 de Febrero de 1847, así como la instauración oficial de las Facultades de Ciencias mediante la Ley Moyano en 1857.

El texto de “Geometría Descriptiva” del año III de la República [6], traducción para la Inspección General de Caminos en 1803, es prueba de ello. La amistad que une a Monge con Agustín de Betancourt y Molina - fundador de la Escuela de Ingenieros de Caminos- es decisiva; en el campo de la Expresión Gráfica. Agustín de Betancourt cuenta para la traducción del texto con la inestimable colaboración de José María de Lanz y Zaldívar, también becario en la Escuela Politécnica de París; juntos escriben en 1808 el "Ensayo sobre la composición de las máquinas" [3], el primer tratado moderno de mecánica.

A principios del siglo XIX, los militares de artillería utilizan en la enseñanza académica de la Geometría analítica el texto de Giannini, cuya redacción corresponde a finales del siglo XVIII. Sin embargo, en la Academia de Ingenieros hay un movimiento a favor de la redacción de libros de texto que sustituyan a los textos franceses de Leroy, Adhemar y Olivier, hasta entonces utilizados, para lo cual se crea una comisión formada por varios oficiales. En agosto de 1807, en el informe emitido por esta comisión, consta que Antonio Sangenís está escribiendo el “Tratado analítico de las secciones cónicas”; pero la Guerra de la Independencia –en la que Sangenís muere- paraliza todo el trabajo.

Durante la Guerra de la Independencia, se cierran los centros de enseñanza en la península, y se prosigue la docencia en los centros gaditanos. Fuera de las instituciones militares, hay que incluir las aportaciones del granadino José-Mariano Vallejo Ortega, profesor del Real Seminario de Nobles, realiza prácticas de levantamientos en los alrededores de Madrid desde 1804, en 1812 publica el “Tratado completo del Arte Militar”, verdadero origen del sistema de Planos Acotados, en 1819 y 1841 aparecen nuevas ediciones de esta obra. Sobre este mismo Sistema, cabe destacar los estudios realizados por Isidro Giol Soldevilla y J. Goyanes Soldevilla que publican el “Tratado de las acotaciones” en 1874 también en Madrid.

Como comenta M.A. Velamazán [11], después de la Guerra, es el Coronel Mariano de Zorraquín, profesor de la Academia de Ingenieros, quien unifica el Álgebra y la Geometría, e inspirándose en la Geometría de Posición de L. Carnot, escribe como libro de texto el tratado de “Geometría Analítica-Descriptiva” [12] que se publica en Alcalá de Henares en 1819, hasta esa fecha, es el primer libro de texto sobre Geometría Descriptiva escrito en español. El ayudante del Coronel José García Otero, Arquitecto, Ingeniero Militar y de Caminos, Director de la Escuela de Caminos y Canales, es también un significado Profesor de Geometría Descriptiva. Durante este período de tiempo es legado científico de interés la “Disertación sobre las Sombras” de Gutierrez Pinto, manuscrito de 50 páginas, que publicado en 1826 puede considerarse el primer planteamiento serio que, sobre esta aplicación, se da en España.

Zorraquín indica que la Geometría es la expresión algebraica y la representación gráfica de todo problema, por lo que deben combinarse en concordancia con los

deseos de Monge de enseñar ambas ciencias a la vez, unificando los grupos de géometras sintéticos y algebraicos.

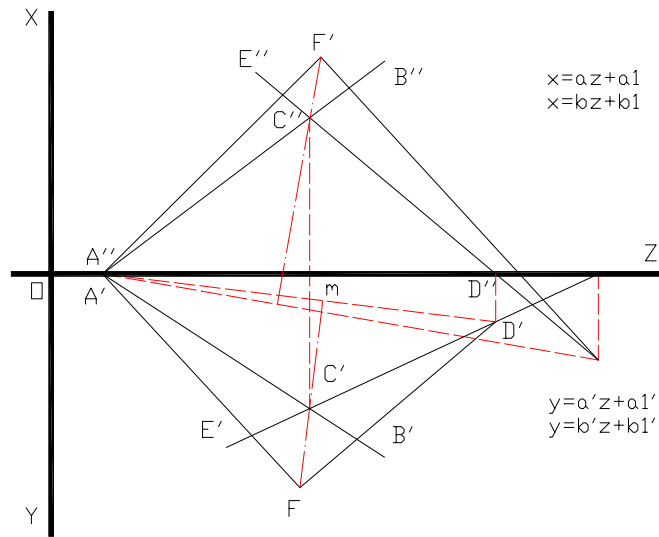


Figura 4: Determinación del ángulo que forman dos rectas por Zorraquín.

Tras el régimen absolutista de Fernando VII, y acabada la guerra civil, se plantean diversas reformas en la formación y competencias de los profesionales de la ingeniería civil y militar. Para el caso de la ingeniería militar, se aprueba un nuevo Plan de Estudios el año 1839 y se inicia un período de importantes inversiones en la organización de gabinetes, bibliotecas y nuevos textos científicos.

Respaldados por este apoyo inversor, otro profesor que también escribe un libro de texto de Geometría es el artillero José Bielsa Ciprián, quien en 1846 redacta para el Colegio de Caballeros Cadetes de Artillería de Segovia su “Tratado elemental de Geometría Descriptiva y Sombras” [2]. A diferencia de Zorraquín, Bielsa utiliza exclusivamente la descriptiva y afirma haber utilizado los textos de Leroy y de Olivier, y para la teoría de sombras el texto de Cloquet. El propio Bielsa añade un apéndice del Sistema Acotado a la segunda edición aparecida en 1857.

Después otros militares escriben sobre esta materia, como: Angel Rodríguez Arroquia en 1850, capitán de Ingenieros, autor del “Complemento a la Geometría Descriptiva. Empleo de un solo plano de proyección valiéndose del sistema de acotaciones para servir de aplicación de los principios generales de la ciencia a las superficies irregulares y como preliminar a la Topografía y a la Desenfila de las obras de fortificación” [9], es el primer texto español dedicado únicamente al sistema Acotado.

Desde entonces se multiplican por toda la península las publicaciones y entre las más antiguas se pueden citar: el “Tratado de topografía” de R. Clavijo publicada en 1852 en Madrid, el “Curso completo de dibujo topográfico o colección de modelos para uso de las escuelas especiales, civiles y militares” de L. Mas publicado en 1857 en Barcelona, el “Tratado completo de dibujo topográfico” de J. Papell y Llenas publicado en 1859 también en Barcelona, el “Curso elemental de topografía y agrimensura” de D. de los Ríos y Serrano publicado en 1862 en Sevilla, el “Manual de dibujo topográfico” y las “Adiciones al manual de dibujo topográfico” de J. Morales Ramírez publicados respectivamente en 1861 y 1874 en Madrid, las “Lecciones fundamentales de Geometría Descriptiva como estudio preliminar necesario para el de topografía y fortificación” de A. Lozano Ascarza publicado en 1866 en Toledo, y las “Lecciones de Geometría Descriptiva” de V. Correa Palavicino publicado en 1881 en Segovia.

José Jiménez y Baz, profesor del Colegio de Infantería, escribe en 1857 los “Elementos de Geometría Descriptiva, Trigonometría rectilínea y Topografía” para los alumnos del colegio. Su breve exposición de la Geometría Descriptiva –sólo consta de 34 páginas- la concluye remitiendo al lector a las obras de Zorraquín, Monge y Lacroix para cualquier ampliación o aclaración.

Más interés tiene el libro “Tratado elemental de Geometría Descriptiva, Perspectiva y Sombras” escrito por el artillero, Luis Felipe Alix [1] - director de la revista el Memorial de Artillería desde 1882 a 1885-, publicado en 1866, donde cita, además de a Leroy, a La Gourneriè y a Adhemar. En esta obra es gran novedad la introducción a la perspectiva axonométrica con la incorporación de la fórmula de Schlämilch.

José A. Elizalde, arquitecto y matemático, publica su “Tratado de Geometría Descriptiva” en 1873 y sirve de texto a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Madrid. Su sustituto en la Cátedra de Geometría Descriptiva es el valenciano Eduardo Torroja Caballé –que ocupa la cátedra desde 1876 hasta 1919- publica sus trabajos de Geometría en 1874 y 1876, en la Revista de la Sociedad de Profesores de Ciencias y en los Anales de la Construcción y de la Industria, donde aparecen una serie de artículos sobre perspectiva axonométrica, recogidos después en un libro en 1879.

En el último cuarto del siglo, Pedro Pedraza y Miguel Ortega Sala, ingenieros y profesores de la Academia de Ingenieros, publican en 1879 el libro “Geometría Descriptiva de rectas y planos”; además Pedro Pedraza, escribe el libro “Geometría Descriptiva de las superficies”; J. Cabanyes publica otro libro de “Geometría Descriptiva” en 1880; Lorenzo Gallego Carranza publica el libro “Sistema de acotaciones. Complemento a la Geometría descriptiva” en 1886; J. Montero Gabutti escribe en 1887 un “Manual de Geometría proyectiva”; y Enrique Valenzuela publica en 1896 la “Axonometría rectangular o perspectiva axonométrica rectangular” [10], en el que incluye la perspectiva caballera y las sombras.

En la Academia de Ingenieros, en los años 1880 y 1892, los textos utilizados son: los libros de Pedro Pedraza y Miguel Ortega, el de Rodríguez Arroquia para los planos

acotados, el de Leroy para la parte de Sombras y Perspectiva y el de Adhemar para el Corte de Piedras.

En la Academia de Artillería el libro de texto elegido para la Geometría Descriptiva en el año 1892 es el de Cabanyes.

En la Academia General Militar en 1892 los libros de texto elegidos son: para la Geometría Descriptiva de rectas y planos el texto de Pedraza y Ortega; para la Geometría Descriptiva aplicada a las superficies el de Pedraza; para la Perspectiva el libro de Aranaz; para la Teoría de Sombras el de Govantes, y para los Planos Acotados el de Gállego Carranza.

Algunos oficiales de Estado Mayor también escriben textos sobre Geometría; U. Mas y Abad en 1879 traduce el Curso de Geometría Descriptiva de Olivier y R. Aparici en 1881 publica sus "Lecciones de Geometría Descriptiva". Finalmente, oficiales de Infantería que también elaboran textos de Geometría Descriptiva, son: E. Orozco y de la Puente (1881), J. López Torrens (1881), J. Montemayor (1895) y F. Salazar y de la Vega (1896) sobre "Principios y reglas fundamentales de perspectiva lineal".

#### **4. Conclusiones.**

Las principales conclusiones que podemos extraer del desarrollo de la Geometría Descriptiva en el siglo XIX son:

La figura más relevante es el matemático francés Gaspar Monge que desarrolla la Geometría Descriptiva y sienta la base científica de la representación de los objetos.

La cualidad fundamental que caracteriza la Geometría Descriptiva es que surge de la necesidad de resolver problemas de carácter práctico, por ello es una ciencia aplicada.

Los conceptos de la Geometría Descriptiva sirven para el desarrollo definitivo de los Sistemas de Representación, alguno de ellos - como el de los Planos Acotados- iniciado antes de 1795.

En España la evolución de los sistemas de representación es similar a Francia, rápidamente se integran los contenidos de Geometría Descriptiva a los planes de estudio a comienzos del siglo XIX, y pronto se sustituyen los textos franceses por los de autores españoles. Los ingenieros militares y los artilleros desempeñan un papel fundamental en este proceso.

#### **5. Bibliografía.**

[1] ALIX, L.F.: "Tratado elemental de Geometría Descriptiva". (1866). Valencia, Imp.Ferrer.

[2] BIELSA, J.: "Tratado elemental de Geometría Descriptiva y Sombras". (1846). Segovia, Imp. Espinosa.

[3] LANZ, J.M.; BETANCOURT, A.: "Ensayo sobre la composición de las máquinas". (1808). Editorial CASTALIA, Madrid. 1990. ISBN 84-380-0037-1.

[4] LEROY, F.: "Traité de Geometrie Descriptive", París, Gautier-Villars, 1872.

[5] MONGE, G.: "Application de l'analyse a la Géometrie, a l'usage de l'Ecole Impériale Polytechnique. (1809). 4ª edición. París. Bernard.

[6] MONGE, G.: "Geometría descriptiva". (1803). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1996. ISBN 84-380-0121-1.

[7] NOIZET, F.: "Mémoire sur la geometrie appliquée au dessin de la fortification". (1823). Reeditada como "Leçons sur le dessein de fortification" en 1831.

[8] OLIVIER, T.: "Curso de Geometría descriptiva". París, Carilian, 1843.

[9] RODRIGUEZ ARROQUIA, A.: "Complemento a la Geometría descriptiva. Empleo de un solo plano de proyección valiéndose del sistema de acotaciones para servir de aplicación de los principios generales de la ciencia a las superficies irregulares y como preliminar a la Topografía y a la Desafilada de las obras de fortificación". (1850). Madrid, Imp. Boix.

[10] VALENZUELA, E.: "Axonometría rectangular o perspectiva axonométrica rectangular". (1896). Guadalajara, Imp. Provincial.

[11] VELAMAZAN, M.A.: "Nuevos datos sobre los estudios de Geometría Superior en España en el siglo XIX: La aportación militar". LLULL, vol. 16, páginas 587-620.

[12] ZORRAQUIN, M.: "Geometría analítico-descriptiva". (1819). Alcalá, Imp. Ma

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### “OPTIMIZACIÓN DE PERIFÉRICOS DE ENTRADA EN EL MANEJO DE PROGRAMAS DE DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR - USO DE FILTROS EN PROGRAMAS CAD”

VALLE FEIJÓO, Miryam Elena (1); ALVAREZ DE PRADO, Laura (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de LEÓN, España  
Departamento de INGENIERÍA MINERA  
Correo electrónico: [dimmvf@unileon.es](mailto:dimmvf@unileon.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de LEÓN, España  
Departamento de INGENIERÍA MINERA  
Correo electrónico: [dimlap@unileon.es](mailto:dimlap@unileon.es)

### RESUMEN

Se presenta esta experiencia docente inédita, que desde hace seis años se está utilizando con éxito por parte de tres profesores del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de León.

Mediante una sencilla aplicación informática (operable con cualquier sistema operativo: Win 95 hasta Windows XP), se produce un cambio parcial en la configuración del teclado, consiguiéndose el uso independiente de la parte numérica del mismo.

Durante la grabación de datos numéricos (coordenadas rectangulares, polares y/o relativas) necesarias para el diseño geométrico en general y para usos topográficos en particular, únicamente se usará la parte derecha del teclado, utilizando una metodología docente que redunda en velocidad, precisión y comodidad.

Se inicia a los nuevos alumnos del programa Autocad (se dispone de la correspondiente licencia) en el uso coordinado, metódico y ordenado del teclado y del ratón (éste último sigue teniendo el mayor peso de todos los periféricos de entrada).

**Palabras clave:** Docencia – CAD – Nuevo Software – Optimización – Teclado numérico.

## ABSTRACT

Here we show this unpublished teaching experience that since more than six years ago it's been successfully employed by three different teachers of the Cartographic, Geodesic and Photogrammetric Engineering Department at León's University.

Thanks to a simple software (which works with all operative systems such as Win 95, Win 98, Windows 2000 and Windows XP), there is a change in the keyboard's configuration that makes us able to use independently the numeric part of the keyboard.

During the electronic recording of all the numeric information (rectangular, polar and/or relative coordinates), needed for geometric design in general or for surveying in particular, only the right part of the keyboard will be used, employing a more fast, precise and comfortable teaching methodology. So we have a better technician which is full of speed and more accurate.

We initiate new students and users of Autocad (with the appropriate license) in the coordinated and methodical use of the keyboard and the mouse (being the last one the main input peripheral of the computer).

**Key words:** Teaching – CAD – New Software – Better use – Numerical keyboard.

## 1. Introducción

Se pretende acostumbrar a todos los nuevos alumnos del programa Autocad (se dispone de la correspondiente licencia) en el óptimo manejo del teclado, con el fin de utilizarlo de la forma siguiente: separando la parte principal del mismo, para accionarlo con la mano izquierda, respecto del uso independiente y autónomo de la parte numérica (parte derecha) del mismo.

El objetivo a conseguir es un uso metódico y ordenado del teclado, óptimamente combinado con el manejo del ratón, sin dejar que éste último pierda el protagonismo y máximo uso de todos los periféricos de entrada.

Esto se consigue con la ayuda de software específico, consistente en dos sencillos archivos, cuya utilización es totalmente permeable respecto del programa de diseño asistido en que se utilice.

## 2. Desarrollo del trabajo

Su uso se ha llevado a efecto tanto en las clases prácticas regladas (Diseño Asistido por Ordenador, Expresión Gráfica, Sistemas de Información Geográfica y



Topografía), como en los diversos cursos que anualmente se han venido impartiendo (Cursos de verano, instrumentales, experimentales y otros).

**Finalidad:** Utilizar una metodología docente que redunde en velocidad, precisión y comodidad, en la fase de usuario no – principiante del programa Autocad (en la fase de principiante el uso de filtros no resulta más engorroso que cualquiera otra herramienta de Autocad).

**Uso específico:** Durante la grabación de coordenadas y todo tipo de datos numéricos necesarios para el diseño geométrico en general y para usos topográficos en particular.

**Efecto:** Se produce un cambio parcial en el teclado, totalmente reversible (en cualquier momento se activa/desactiva) de forma que cambia la configuración de en cuatro teclas del mismo.



### **Ejemplos prácticos de aplicación:**

- **Coordenadas rectangulares:** punto A:  $X_A = 5.25$        $Y_A = 7.87$

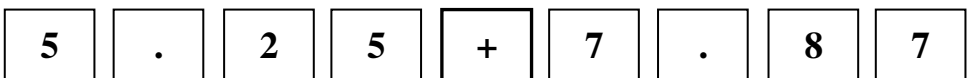
*Se sustituye la tecla de suma (parte derecha del teclado) de forma que al pulsarla ejecuta la orden “,” para separar la coordenada X de la Y.*



LA TECLA DE SUMA PASA A EJECUTAR LA COMA



Secuencia final de teclas a pulsar:



- **Coordenadas relativas:** Es necesario en Autocad indicar las coordenadas relativas con el signo “@”, cuya grabación desde el teclado convencional es

muy engorrosa, por lo que con los filtros se cambia la tecla de multiplicación de la parte numérica del teclado “\*” de forma que ejecuta el comando “@”.

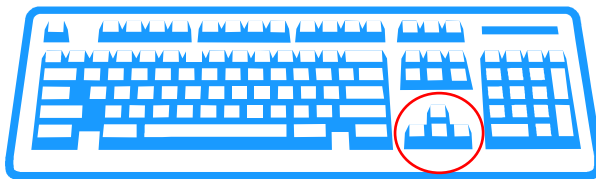


LA TECLA “MULTIPLICACIÓN” SE CAMBIA POR “ARROBA”:

- Coordenadas polares (ángulo y distancia):

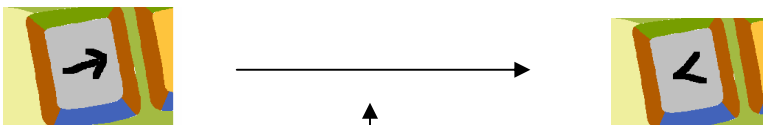
Definir el punto B a partir de A: Distancia 5 m; Ángulo: 78°

En Autocad es necesario usar el signo “<”, que está alejado de la zona numérica del teclado, concretamente en el lado opuesto y casi en el extremo izquierdo del mismo.

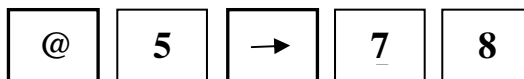


*Se sustituye la tecla de flecha hacia la derecha (parte derecha del teclado) de forma que al pulsarla ejecuta la orden “<” para indicar la separación entre distancia y ángulo.*

LA TECLA “FLECHA DERECHA” SE CAMBIA POR “MENOR QUE”:



Secuencia final de teclas a pulsar:



**Ventajas:**

- Mayor velocidad, precisión y comodidad en la grabación manual de datos y en toda introducción de información numérica.

- Uso metódico y ordenado del teclado, óptimamente combinado con el manejo del ratón, sin dejar que éste pierda el protagonismo y mayor peso de entre los periféricos de entrada.
- Se consigue usar la mano izquierda, que estará pendiente del teclado, y se aprenden diversos recursos diferentes para conseguir un mismo objetivo, de forma que si falla alguno de ellos, se puede recurrir a otro.
- El uso de filtros tiene idéntico uso y características en todo el entorno Windows.
- Operable con cualquier sistema operativo (Win 95, Windows 98, NT, Windows 2000, Windows XP).

### 3. Consideraciones Finales

Se ha conseguido organizar el uso del teclado (el ratón sigue siendo el periférico de mayor uso) por zonas diferenciadas, de forma que la parte derecha (zona numérica) es autónoma para la grabación de coordenadas rectangulares, polares y relativas.

Por la experiencia a lo largo de los últimos seis años con diferentes grupos y niveles de formación, se ha podido comprobar la eficacia de la técnica, dado que repercute en un aprendizaje marcadamente metódico y fiable.

### Bibliografía

ALCALDE, E; MORERA, J.; PÉREZ – CAMPANERO, J. A. *Introducción a los Sistemas Operativos*. Ed. Mc Graw – Hill, 1991.

CHANES, Milton *AutoCAD 2004: diseño y productividad, rasgos esenciales de la nueva versión..* Ed. Anaya Multimedia, 2003.

FÉLEZ, J. y Otros . *Fundamentos de ingeniería gráfica*. ISBN 84-7738-416-9 Año 1996.

FÉLEZ, Jesús; MARTÍNEZ, M<sup>a</sup> Luisa; CARBANELLAS, J. M.; CARRETERA, Antonio. *Fundamentos de Ingeniería Gráfica*. Ed. Síntesis, 1996.

HAWKES, Barry. *Cadcam*. Ed. Paraninfo, 1989.

JOHNSON, Nelson. *Autocad – Manual de referencia*. Ed. Mc Graw – Hill, 1990.

LÓPEZ FERNÁNDEZ, J.; TAJADURA ZAPIRAIN, J. A. *Autocad avanzado*. Ed. Mc Graw – Hill, 1995.

*Manual del usuario – Autocad release 14*. Publicado por Autodesk Development B. V., Mayo 1997.

RODRÍGUEZ VEGA, Jorge *Autocad 14 – Guía práctica para usuario*. Ed. Anaya Multimedia, 1999.

## NUEVOS PLANTEAMIENTOS METODOLOGICOS EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOMETRIA. GEOMETRIA DINAMICA CON CABRI

GOMEZ GABALDÓN, José Arquímedes

Universidad de Alicante, España  
Escuela Politécnica Superior. Departamento de Expresión Gráfica..  
[Arquimedes.Gomez@ua.es](mailto:Arquimedes.Gomez@ua.es)

### RESUMEN

El desarrollo de las nuevas tecnologías y la existencia de nuevos recursos en las aulas, impone cambios metodológicos cada vez mas alejados de la tradicional pizarra. En este sentido las aplicaciones desarrolladas a través de la utilización de un programa de geometría dinámica como CABRI II nos permiten alejarnos de las exposiciones estáticas en pizarra.

Las ventajas sobre sistemas "convencionales" de enseñanza son innegables dado que: A) Posibilita que las figuras adquieran vida propia mediante el movimiento. B) Permite ir a una fase del dibujo cualquiera que sea el momento de la exposición en la que nos encontremos. C) Permite aplicaciones para geometría en 2D y 3D. D) Permite un aprendizaje individualizado ya que los diferentes dibujos realizados son susceptibles de ser colgados en la red mediante un applet en Java para que el alumno pueda repasar, desde su casa, la construcción paso a paso de acuerdo al ritmo que su aprendizaje impone.

**Palabras clave:** Geometría dinámica, CABRI, metodología.

### ABSTRACT

The development of new technologies and the existence of new resources in the classrooms, imposes methodological changes increasingly removed from the traditional blackboard.

In this respect the applications developed across the utilization of a program of dynamical geometry as CABRI II allow us to move away from the static exhibitions in blackboard.

The advantages on "conventional" systems of education are undeniable since: a) Makes possible that figures acquire own life by means of the movement. B) There allows to go to a phase of the drawing whatever is the moment of the exhibition in which we are. C) Allows applications for geometry in 2D and 3D. D) Allows an individualized learning since the different made drawings are susceptible of being hung on the net by means of an applet in Java in order that pupils can revise, from their houses, the construction step by step in agreement to the pace that their learning imposes.

1. **Key words:** Dynamic geometry, CABRI, methodology.

## 1.Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías ha llevado consigo que el docente se plantee nuevas estrategias metodológicas para el desarrollo de su labor.

Una reducción en el número de créditos con los que contamos para el desarrollo de nuestras asignaturas obliga, si cabe aún mas, a que se haga necesario buscar nuevos caminos experimentales con los que seamos capaces de encorsetar los contenidos que creemos imprescindibles que el alumno debe recibir dentro de su formación como ingeniero.

Frente a la pizarra que, cada vez , va teniendo un papel mas secundario dentro del proceso de enseñanza, se han ido imponiendo otros métodos que intentaban paliar las carencias que, a todas luces, tenía aquella. Proyectoras de diapositivas, de transparencias fueron un correcto complemento para el desarrollo de las exposiciones dentro de las clases, sin embargo, seguían teniendo fuertes limitaciones:

- Daban como resultado figuras estáticas con las que únicamente se podía mostrar el resultado final y no las fases de realización, so pena de invertir esfuerzo y dinero en la creación de aquellas.
- El distinto ritmo de aprendizaje de cada alumno hacía que algunos quedaran "descolgados" durante la exposición y fuera necesario retomar en pizarra el punto en que se había producido esa "ruptura " obligaba a borrar lo realizado.
- Modificar las condiciones del ejercicio en "tiempo real" era algo imposible, puesto que la secuencialidad del desarrollo obligaba a retomar desde el inicio cualquier variación que se quisiera introducir en la exposición.

Sólo he nombrado algunos de los inconvenientes con los que nos hemos encontrado en el desarrollo de nuestras clases sin contar la preparación previa de clases en el que modificar un ejercicio "tipo" significa la reelaboración y redibujo del ejercicio en cuestión.

Hasta aquí me he centrado en los aspectos que son inherentes al profesor pero es que las dificultades con los métodos tradicionales no solo afectan a aquel, también el alumno se ve desasistido en su tarea desde casa, solamente paliada con la asistencia a las tutorías.

## 2.Geometría Dinámica.

Los programas de geometría dinámica, en esencia, permiten llevar a cabo dos tipos de acciones de carácter independiente (LSD94):

- Tratamiento y control perceptivo basado en el reconocimiento de formas o de fenómenos como la alineación, la perpendicularidad, el paralelismo.
- Tratamiento y control por los conocimientos teóricos de geometría, que permiten explicar, predecir, producir.

La interacción entre percepción y geometría se da cuando se utilizan las funciones de los programas para verificar las observaciones.

Características importantes de estos programas son:

- Holística: poder ver una situación en forma global, visualizando configuraciones con relaciones entre diversos elementos.
- Dinamismo: permite animar las configuraciones y observar los cambios.

Por otro lado, se produce interacción entre dos aspectos: la investigación de un problema (donde se despliegan cualidades de invención, de originalidad, de adaptación) y la tarea técnica (que exige método, precisión y minuciosidad).

Estos programas permiten generar figuras por su nombre, construirlas especificando partes y propiedades o dando las medidas, realizar transformaciones en forma interactiva, medir y utilizar las medidas (para realizar operaciones aritméticas, para usarlas en la misma construcción). Su utilización fuerza a los alumnos a ser precisos y a conocer definiciones, generando conflictos entre su intuición y la construcción que aparece en pantalla. AZINIAN 97.

Los alumnos pueden plantear conjeturas y verificarlas. La prueba, mas que por su función tradicional de verificación, es percibida como útil y necesaria por los alumnos como actividad explicativa de la evidencia experimental.

Otra ventaja importante es la posibilidad de visualización de un lugar geométrico, concepto de difícil visualización.

Los programas que tienen la posibilidad de registrar una secuencia de operaciones (crear un algoritmo sin escribirlo) para luego reproducirlo, son de especial utilidad para la enseñanza.

¿De que manera podemos implementar estos programas en el aula?. Este tipo de programas posibilitan realizar construcciones, desplazar algunos elementos con el ratón para validar, analizar relaciones: ¿qué varía? ¿por qué? ¿qué es lo que no varía? ¿por qué?. Por otra parte, la opción de "revisar construcción" abre la posibilidad de búsqueda de errores de construcción que afectan los resultados esperados.

### **3.El proceso de aprendizaje de la geometría.**

Con objeto de clarificar los obstáculos inherentes al aprendizaje de la geometría trabajaremos dentro de la teoría propuesta por FISCHBEIN(1993), donde el objeto geométrico es tratado como poseedor de dos componentes, uno conceptual y otro figural. Una componente conceptual, a través del lenguaje escrito o hablado, con mayor grado de formalismo dependiendo del nivel de axiomatización con la que se esté trabajando, expresa propiedades que caracterizan una cierta clase de objetos. Una componente figural corresponde a la imagen mental que asociamos al concepto, y que en el caso de la Geometría, tiene la característica de poder ser manipulada a través de movimientos como translación, rotación, y otros, pero manteniendo invariantes ciertas relaciones. La armonía entre estas dos componentes es la que determina la noción correcta sobre el objeto geométrico.

La formación de la imagen mental, en el dibujo asociado al objeto geométrico desempeña un papel fundamental. Para un alumno no es del todo claro que el dibujo es una parte de la representación del objeto. Si por un lado el diseño es un soporte concreto de expresión y entendimiento del objeto geométrico por otro lado, puede ser un obstáculo a este entendimiento. Debido a que guarda características particulares que no pertenecen al conjunto de condiciones geométricas que definen un objeto. Es interesante observar que, dependiendo del estadio de desarrollo mental, los alumnos trabajan meticulosamente buscando la perfección en el diseño, como si este fuese "un objeto geométrico", dejando las propiedades abstractas, que dan existencia al objeto, en segundo plano. Así mismo, confunden características físicas del dibujo con propiedades geométricas.

La interacción entre percepción y geometría se da cuando se utilizan las funciones de los programas para verificar las observaciones.

#### **Características.**

A continuación se comentan algunas de las características mas importantes de este tipo de programas. Programas informáticos como Cabri, Sketchpad, se mueven en esta filosofía y aunque generalmente han sido "patrimonio" de matemáticos para la explicación, esencialmente, de geometría tienen, sin embargo, una grandísima utilidad para la docencia de temas desde una perspectiva del dibujo y geometría descriptiva.

- Modificación de configuraciones.

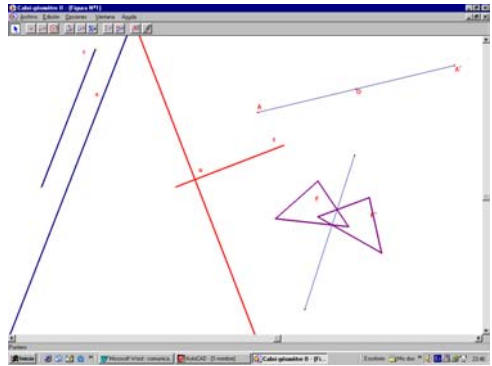
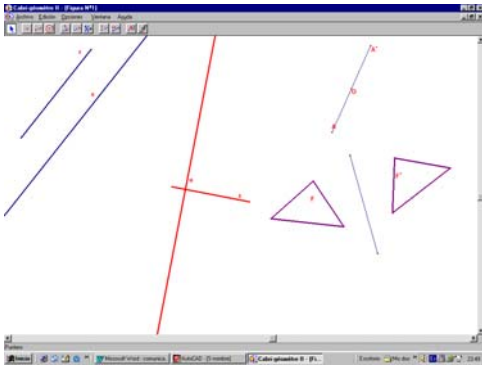
Las figuras pueden ser modificadas atendiendo a su posición, orientación, tamaño y forma preservando o cambiando su estructura.

- Modificación por arrastre.



Las relaciones siguientes son generalmente invariantes durante transformaciones en modo arrastre.: paralelismo, ortogonalidad,, proporcionalidad, simetría central, simetría axial.

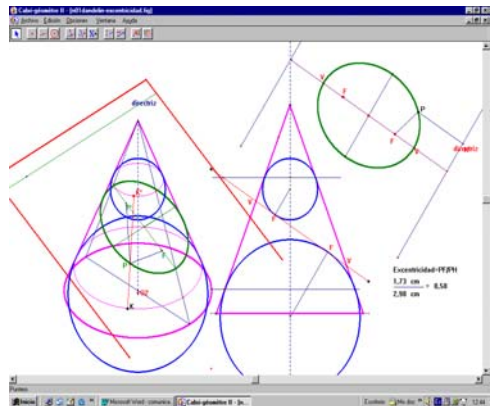
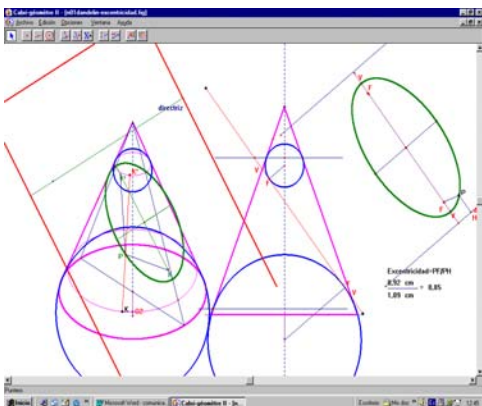
Tengamos presente que las figuras de la segunda pantalla se han obtenido sin mas que variar los elementos de referencia de la primera es decir la recta  $r$  a la que era paralela la  $s$ , la  $t$  a la que era paralela la  $u$ , modificando la figura  $F$  se modifica su correspondiente  $F'$  en la simetría axial, o modificando el punto  $A$  se modifica su simétrico  $A'$  en la simetría central.



- Modificación por redefinición.

La redefinición de objetos posibilita que la estructura de una figura cambie con el consecuente ahorro en las construcciones.

En el caso del ejemplo siguiente vemos como en la aplicación del teorema de Dandelin basta con **modificar un punto** para que **todo** el dibujo se modifique.



Hay que reseñar que la modificación se hace en "tiempo real" lo cual implica que podemos estar desarrollando la clase con una explicación a los alumnos y modificar el parámetro deseado para que se reconfigure instantáneamente todo el ejercicio.

#### **4.Impactos metodológicos en la enseñanza y aprendizaje de la geometría.**

La utilización de sistemas con gráficos dinámicos nos llevan a nuevos métodos en el aprendizaje de geometría plana, especialmente en:

- Resolución de problemas geométricos.
- Adquisición inductiva de teoremas geométricos y formación de conceptos.
- Aplicación e investigación de transformaciones.
- Investigación de relaciones funcionales de figuras geométricas.
- Simulación de movimiento.

#### **Resolución de problemas geométricos.**

Podemos citar como deficiencias en la resolución de problemas de construcción con herramientas tradicionales:

Poco apoyo en la fase heurística del proceso de construcción.

Escasas posibilidades de corregir los resultados constructivos.

Nula posibilidad de cambiar la posición o tamaño del resultado de la construcción parcial.

Ninguna posibilidad de repetir el proceso de construcción.

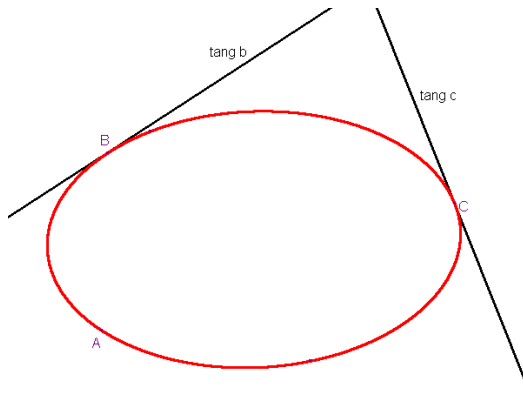
Nuevos métodos permiten:

Encontrar soluciones constructivas a través de medios heurísticos.

Definición de construcciones macro: Una macro se define basándose en una parte de la figura. Una vez definida, la macro puede ser utilizada como cualquier otra herramienta, y reproduce la construcción de esa parte usando los elementos de base seleccionados por el usuario.

Así podríamos definir una macro para dibujar una elipse en la que los datos fueran dos tangentes  $b$  y  $c$ , tres puntos  $A$ ,  $B$ ,  $C$  de la elipse. De esta manera una vez definida y guardada dicha macro podría ser llamada en cualquier momento para su utilización, en

ese momento bastaría con indicar los datos que la macro espera: tres puntos y dos rectas.



### **Adquisición inductiva de conceptos.**

Los métodos tradicionales hacen que las configuraciones estáticas en la mayoría de los casos sólo pueden ser hechos flexibles con imaginación (relaciones funcionales y una relación dinámica a penas puede ser representada).

Con geometría dinámica se produce la variación interactiva de configuraciones mediante el cambio de posiciones de los objetos constitutivos. Los objetos iniciales de una construcción pueden ser movidos libremente mediante arrastre, de manera que todos los objetos conectados siguen el movimiento de acuerdo a la construcción. La transición de una configuración a la otra es continua (se produce un procesamiento en tiempo real) de acuerdo con el movimiento del cursor.

### **Aplicación e investigación de transformaciones.**

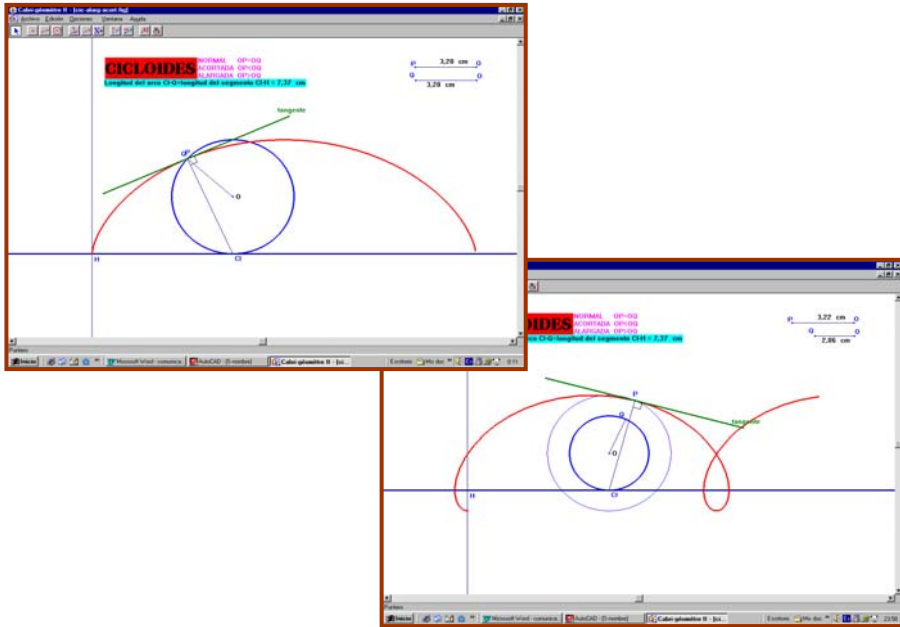
Las deficiencias en el tratamiento de las transformaciones utilizando herramientas tradicionales suelen ser:

La no representación de la transformación como un todo.

El tiempo consumido en redibujar por variaciones de parámetros y por combinación de transformaciones.

A través de la geometría dinámica existe una fácil generación de figuras dada la facilidad de los sistemas dinámicos para su manipulación directa, definición de macros, etc.

Imaginemos el caso del trazado de trocoides. Bastaría con modificar (arrastrando) el valor del radio de la ruleta en este trazado de la cicloide para que automáticamente se redefinieran los valores y tuviéramos redibujada la nueva cicloide.



## Investigación de relaciones funcionales en figuras geométricas.

Los lugares geométricos son especialmente indicados para el examen e ilustración de relaciones funcionales en figuras geométricas.

Las deficiencias de sistemas tradicionales en la generación de lugares geométricos son:

El tiempo consumido en la repetición del mismo proceso de construcción.

Interpolación a mano alzada poco segura.

De acuerdo con programas de geometría dinámica: la manipulación directa en la generación de lugares geométricos mediante movimientos individuales de un punto sujeto a ciertas restricciones, produce la generación de puntos de la curva punto a punto.

## 5.Geometría dinámica y tutorías.

Un aspecto a tener en cuenta a la hora de aplicar este tipo de metodología es la capacidad que tiene de ser aplicado en tutorías virtuales.

Existe la posibilidad de que cada alumno desde su puesto de trabajo informático pueda acceder a una base de datos con ejercicios tipo, de manera que pueda:

- Ser capaz de repasar la construcción del ejercicio acomodando el ritmo de repaso a su propio ritmo de aprendizaje.
- Ser capaz de interactuar con las figuras posibilitando generar diversos tipos de ejercicio a partir de uno tipo.

En caso de utilizar el programa Cabri éste posibilita crear un applet en Java a partir de la figura en Cabri previamente realizada, una vez hecho ésto se puede colgar en la web para ser utilizado por los alumnos.

### CabriJava

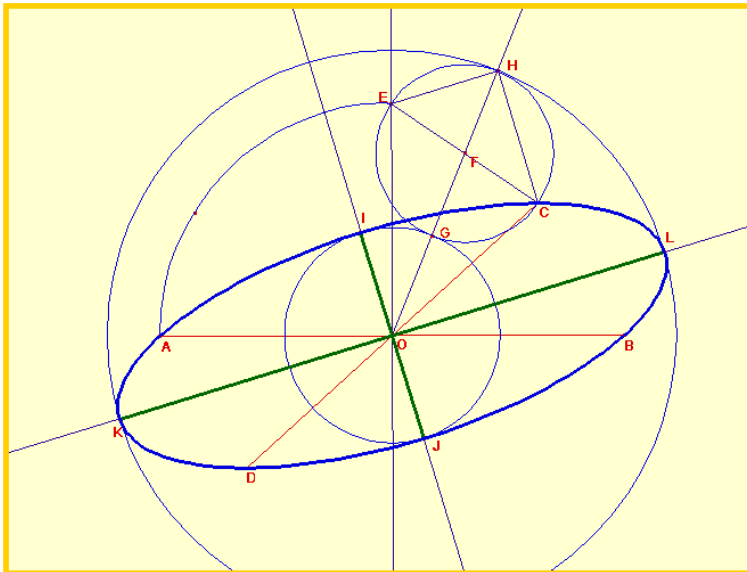


Figure EJES CONOCIDOS DIAMETROS CONJUGADOS.fig

Applet created on 26/10/02 by jose arquimedes gomez with [CabriJava](#)

## 6.Conclusiones

Las presentes líneas no han pretendido ser sino una breve exposición de lo que la utilización de programas de geometría dinámica puede significar para la enseñanza de la Geometría dentro de las aulas.

Se ha adoptado una doble perspectiva por un lado se ha pretendido hacer ver las ventajas que para el docente puede tener en su labor dentro del aula, mostrando la simplificación que este tipo de programas produce en la explicación de los temas.

Por otro lado se ha intentado adoptar el punto de vista del alumno y las ventajas que para su proceso de aprendizaje tienen estos programas.

Las tutorías han sido otro punto tratado y en ellas se ha intentado hacer ver las posibilidades que para la tutoría virtual tiene el adoptar soluciones de este tipo.

## Referencias.

AZINIAN, H. *Resolución de problemas matemáticos. Visualización y manipulación con computadora*. Novedades Educativas. Buenos Aires. 1997.

FISCHBEIN, E, *The theory of figural concepts* Educational Studies in Mathematics, pp.139-162. 1993.

LSD2 y otros *Cabri-classe - Apprendre la geometrie avec un logiciel*. Eds Archimede.1994.

---

## “EXPERIENCIAS EN LA FORMACIÓN UNIVERSITARIA SOBRE LAS TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES DEL ACTOR VIRTUAL”

LÓPEZ, Carmelo (1); ROYO, Emilio (1); OLIVEROS, María José (1); YOLDI, Víctor (1)

(1)Universidad de Zaragoza, España  
Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación  
Correo electrónico: melopez@unizar.es

### RESUMEN

Esta ponencia presenta los resultados de una experiencia formativa llevada a cabo en la Universidad de Zaragoza por el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. El objetivo era la puesta en marcha de una asignatura optativa relacionada con el desarrollo metodológico, estudio de las tecnologías y aplicaciones industriales, relacionadas con los personajes generados mediante ordenador. Este campo de la realidad virtual reúne una serie de materias muy específicas y directamente relacionadas con la ingeniería gráfica y el uso intensivo de las nuevas tecnologías, en su sentido más amplio. La industria audiovisual y del ocio ha popularizado este “producto”, no obstante su aplicación en otros campos es incesante: Medicina, deporte, industria textil, ergonomía son algunos ejemplos. La formación de especialistas en esta materia puede ser esencial dentro de un futuro nada lejano. En este trabajo se revisan los contenidos, eminentemente prácticos, la metodología aplicada para la formación actualizada en las diversas técnicas relacionadas con los personajes de síntesis y el sistema de evaluación orientado hacia el proyecto integral sobre un personaje 3D.

**Palabras clave:** Materias optativas, realidad virtual, personajes de síntesis, infografía, animación 3D.

### ABSTRACT

This study presents the results of an academic activity at the University of Zaragoza by a team of professors of the Department of Manufacturing Engineering and Product Design. The main task was the definition and development of a new free choice course about design principles, methods, devices and industrial or commercial uses of the computer generated characters and virtual actors ("vactors"). This digital creation is an ongoing matter of the computer graphics science and a well known sample of applied technologies. We can usually find "vactors" at computer games or broadcasting productions and their industrial applications have also increased: sports training, medical research, ergonomics or cloth testing. The need for professional with those special technical skill is a logical conclusion. This paper presents the guidelines to accept the contents, the methods to teach this subject at university environment and describes the exercises for students evaluation. Everything is focused to a full 3D character design project.

**Key words:** Free choice courses, virtual reality, computer generated characters design, 3D animation.

## **1. Introducción**

El Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación lleva trabajando en proyectos relacionados con los personajes generados por ordenador desde 1998. Fruto de los mismos son algunas de las ponencias presentadas en este Congreso (**REF.03, 04, 05**).

Atendiendo a la experiencia acumulada en esos desarrollos, se ha constatado un fuerte déficit coyuntural: la falta de personal cualificado en tecnologías avanzadas y específicas relacionadas con el tratamiento de personajes de síntesis. Esta deficiencia tiene reflejo directo en el contexto universitario, quizás por tratarse de una materia cuando menos inusual y novedosa y que está en la frontera conceptual de muchas disciplinas ya consolidadas como el diseño gráfico, la expresión audiovisual, artes escénicas e incluso la anatomía humana o psicología de la conducta. La baja calificación académica y profesional otorgada comúnmente a la formación en informática gráfica aplicada ("de consumo") y por ende, a aquellas iniciativas que presenten cierta afinidad, es otro problema que debería ser subsanado de forma inmediata.

Al margen de las carencias ya comentadas existen motivos estratégicos. Uno de ellos es la demanda de especialistas ante la previsible expansión en el mercado nacional de sectores industriales como la producción de software audiovisual para el ocio en sus múltiples formatos (mini consolas, videojuegos y juegos de ordenador personal). Otros focos de trabajo pueden ser la creciente demanda de material interactivo multimedia para la realidad virtual, interfaces de usuario inmersivos y amigables o simuladores de aprendizaje, que incorporen personajes de síntesis. Finalmente la publicidad, la televisión y el cine incorporan personajes de síntesis de forma habitual, que requieren profesionales con formación específica en la materia.

Los límites de aplicación del personaje de síntesis están por definir. La investigación en realidad virtual recurre a ellos en disciplinas muy heterogéneas: análisis de tejidos para confección de prendas, medicina legal o deportiva, análisis de la conducta mediante gestos faciales o reconstrucción de ecosistemas extintos, por citar algunos ejemplos.

## **2. Objetivos de la asignatura y perfil de los alumnos**

El objetivo principal de una materia universitaria es la transmisión-adquisición del conocimiento o saber mediante un método pedagógicamente contrastado. En esta propuesta, el alumno recibe formación en ingeniería informática gráfica especializada, que le capacita para la toma de decisiones en proyectos audiovisuales que incluyan, o puedan incluir, actores virtuales. Para ello se revisan de forma integral las diferentes tecnologías relacionadas con el diseño, desarrollo y animación de este producto digital. Todo ello se formaliza en un contexto documental (bibliografía, catálogos, software), que se modifica y actualiza constantemente debido a la fuerte competencia comercial del sector.

Otro de los objetivos es potenciar el bagaje profesional o curricular de la persona que cursa la asignatura. Esto supone la revisión del contexto industrial de la



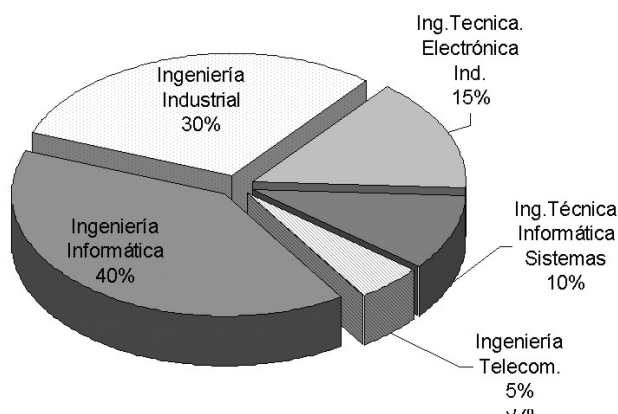
animación 3D bajo una filosofía pragmática y realista que facilite o mejore las expectativas para la incorporación al mercado laboral convencional (local o nacional) o la adaptación de las nuevas modalidades de trabajo (autoempleo, teletrabajo, generación de microempresas, proyectos de colaboración a través de la Red etc.).

Atendiendo a las actividades de investigación y desarrollo acometidas por nuestro Departamento, esta asignatura facilita la incorporación de los alumnos a las tareas de apoyo, becas de investigación o proyectos fin de carrera, relacionados con los mismos. Se reduce considerablemente el periodo de formación, agilizando su transición a etapas más creativas.

Las asignaturas departamentales se ofertan como créditos de libre elección a cualquier alumno de la Universidad de Zaragoza como un complemento a su formación reglada establecida por los planes de estudio. Quizás los alumnos de mayor afinidad con la materia que trata este trabajo sean, el Ingeniero Informático, cuyo plan de estudios incorpora diversas asignaturas en informática gráfica como materia optativa (18 créditos) y el Ingeniero Técnico en Diseño Industrial, que dispone de una intensificación en imagen y sonido.

La formación previa puede ser un factor limitante. Los contenidos conllevan el uso intensivo de la informática y requieren ciertas nociones en geometría espacial. La Ingeniería, especialmente la Industrial, que incluye la formación en CAD/CAM, es un punto de referencia con ciertas similitudes en cuanto a exigencias curriculares de partida. La animación de mallas tridimensionales mediante “huesos” articulados y los conceptos de grado de libertad y uniones aplicados a la robótica industrial, presentan también numerosas analogías. La cinemática inversa y la programación de trayectorias son conceptos que se manejan en ambas disciplinas.

Al margen de la afinidad académica y de los conocimientos previos recomendables, tratándose de una materia de libre elección, puede ser elegida por cualquier estudiante con cierta motivación o gusto por los temas directamente relacionados: el cine de animación, el cómic o el diseño gráfico en sus múltiples facetas. Esta motivación es especialmente recomendable al ser el componente creativo relevante dentro del mundo de las aplicaciones visuales. Afortunadamente aún existe cierta afición por las expresiones más vanguardistas de la tecnología entre los alumnos de carreras técnicas. La **figura 01** recoge la procedencia por titulación de los alumnos matriculados durante el curso 2003-2004. Los resultados reflejan algunos de los criterios expuestos con anterioridad.



**Figura 01** Distribución de los alumnos del curso 2003-2004 por titulaciones.

### **3. Descripción de la asignatura**

#### **3.1 Contexto general**

Las asignaturas departamentales están reguladas por la normativa vigente en cada centro, escuela o facultad y se someten al control regular de las Comisiones Docentes respectivas, previa homologación por parte de la Comisión Docente de la Universidad.

Resulta habitual que los estudiantes utilicen estos resortes académicos a partir del segundo o tercer año de carrera. A la hora de elegir una asignatura optativa, los alumnos evalúan diversos factores, resultando cada vez más exigentes, por lo que a la hora de incorporar una materia se deben sopesar numerosas variables y no sólo los contenidos.

La asignatura ha recibido la denominación de "Desarrollo y aplicaciones de los actores virtuales 3D". Este nombre, un tanto prolijo, evidencia el enfoque fundamental que se ha dado a la materia y por tanto, a sus contenidos. En ella se hace un estudio metodológico del proceso de la generación del carácter y una revisión de sus posibilidades, aprovechamiento y estado de las técnicas y sectores que los demandan. Se ha acompañado del concepto "3D", un termino coloquial, aunque comercial y sugerente. Estos argumentos deben esgrimirse cada vez más en las asignaturas de tipo optativo, en las que el volumen de oferta es cada vez más amplio.

Se le han asignado 4.5 créditos para su convalidación como libre elección. Esta cantidad equivale a 45 horas lectivas, estructuradas en 15 sesiones de dos horas de duración con el formato de clase magistral, más 15 horas de prácticas.

#### **3.2 Principios metodológicos para la elaboración del contenido.**

Para la configuración de los temas se han tenido en cuenta las siguientes directrices generales:

- Contenido práctico orientado a la problemática concreta de los personajes 3D. No se pretende que sea un curso de infografía generalista. Se han omitido temas más propios de esa materia como fundamentos de la composición tridimensional, técnicas de iluminación o algoritmos para el "*render*" fotorealista. En cambio, se han incluido otros de contenido tecnológico más orientado a la revisión de dispositivos y estado del arte de tecnologías aplicadas a la generación de personajes 3D: digitalización tridimensional de modelos reales, captura de movimientos mediante dispositivos ópticos, rotopscopia, etc.
- Empleo de un entorno de trabajo estándar y de bajo coste. El software elegido en las demostraciones didácticas deberá operar en ordenadores personales con configuraciones estándar. Se primarán las necesidades operativas frente al prestigio comercial de la aplicación. El alumno debe tener acceso a las citadas aplicaciones para practicar de forma independiente.
- No se trata de una formación basada en una herramienta comercial concreta. Los contenidos se centran en los métodos y no en sucesiones de comandos o combinaciones de instrucciones de una aplicación software dada. Especialmente en el modelado se analizan las alternativas y se comparan distintas soluciones frente a un mismo problema.

- Uso intensivo de Internet como fuente documental primaria que, además de proporcionar información actualizada, es esencial para el acceso a programas demostrativos, software de libre uso, localización de bibliotecas o material auxiliar, resolución de problemas, foros de información en temas especializados etc.

- Presentación de casos, ejemplos, galerías y clips o creaciones de profesionales. Esto promueve la curiosidad por el método de trabajo y la comprensión de los trucos que se emplean en las obras artísticas. Al comprenderse, permiten superar los complejos creativos.

- El orden en que se revisa cada materia se corresponde con la secuencia lógica de tareas necesaria para el desarrollo integral de un personaje 3D complejo ("*synthesprier*" cinematográfico).

### 3.3 Descriptores y relación de temas (sesiones)

Analizando la documentación que se presenta en la bibliografía y gracias a la experiencia acumulada en el desarrollo de este tipo de productos 3D (**REF.01**) se han definido cuatro grandes bloques temáticos, que constituyen los descriptores formales de la materia: principios para el diseño, técnicas especiales de modelado geométrico, estudio de los materiales, fundamentos de la animación de actores virtuales y aplicaciones comerciales.

Las sesiones o temas son la aplicación cronológica ajustada a la duración de la clase magistral. Se detallan a continuación (aparecen algunos términos anglosajones de uso común):

- Sesión 01: Introducción Historia de los personajes 3D. Campos de aplicación. Definiciones básicas en infografía 3D.

- Sesión 02: Principios del diseño conceptual. Fundamentos anatómicos básicos. Revisión de bocetos. Estilos artísticos. Principios para el diseño de "*avatares*", y actores virtuales en videojuegos. Características de los "*synthespiers*" cinematográficos.

- Sesión 03: Principios del modelado orgánico. Métodos básicos. Subdivisión y suavizado poligonal. NURBS y parches Bezier. Modelado por "*metaformas*". Escultura 3D.

- Sesión 04: Técnicas de digitalización de esculturas reales. Revisión de hardware comercial. Estructuras de archivo y estándares para el intercambio de información geométrica 3D. Optimización de número de polígonos. Tecnologías de ingeniería inversa: prototipado rápido.

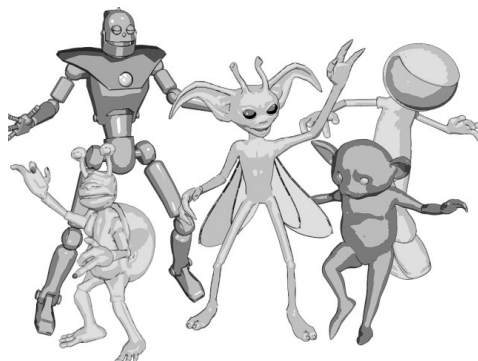
- Sesión 05: Fundamentos para la representación de materiales orgánicos. Texturas y canales. Sistemas básicos de proyección.

- Sesión 06: Mapeado paramétrico. Técnicas especiales para la elaboración de mapas 2D partiendo de mallas poligonales 3D ("*unwrapping*"). Pintura 3D directa sobre malla.

- Sesión 07: Técnicas especiales para la edición de texturas orgánicas. Detallado y representación de materiales complejos mediante retoque fotográfico en 2D (“*skinning*”). Mapas de desplazamiento.
- Sesión 08: Principios fundamentales de la animación lineal de caracteres. Edición de eventos y cronogramas. Fundamentos de la producción audiovisual de video digital. Guiones visuales y “*storyboards*”.
- Sesión 09: Construcción de las articulaciones y cinemática del personaje 3D (“*rigging*”). Aplicación de huesos a mallas. Análisis de articulaciones.
- Sesión 10: Principios básicos de los estados emocionales. Gestos y deformaciones faciales. Técnicas de “*morphing*”. Fonemas y sincronización labial.
- Sesión 11: Tecnología para la captura de movimiento (“*mocap*”) Sistemas mecánicos, ópticos y en tiempo real. Revisión de hardware comercial. Estructuras de archivo y estándares para el intercambio de información en captura de movimientos. La rotoscopia.
- Sesión 12: Complementos en animación. Principios para el modelado y animación del vestuario: Técnicas especiales. Métodos paramétricos para la generación de cabello 3D.
- Sesión 13: Efectos especiales mediante partículas. Incorporación a la animación de condiciones físicas o de contorno.
- Sesión 14: Revisión del software comercial orientado al tratamiento de personajes 3D. Herramientas auxiliares
- Sesión 15: Personajes 3D en la Internet. Foros de debate. Enlaces de interés. Actores virtuales e investigación.

### 3.4 Prácticas y sistema de evaluación.

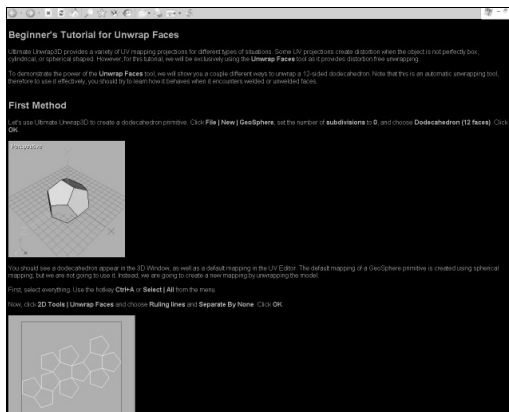
El objetivo de las prácticas es la experimentación directa en cada uno de los bloques temáticos en que se ha dividido la materia, para completar un proyecto de desarrollo global de un personaje 3D.



**Figura 02:** Ejemplos de personajes 3D del tipo de los propuestos como trabajo de curso

La **figura 02** muestra algunos ejemplos de actores 3D que presentan un nivel de dificultad similar al propuesto como trabajo de curso. Se trata de personajes tipo cómic con una malla de menos de 3000 polígonos. Hay que comprender que en la etapa de aprendizaje la complejidad de los modelos no debe exceder unos límites racionales. En la **figura 03** se presenta un guión de autoaprendizaje o “*tutorial*” relacionado con las actividades de una práctica de elaboración de mapas de texturas.

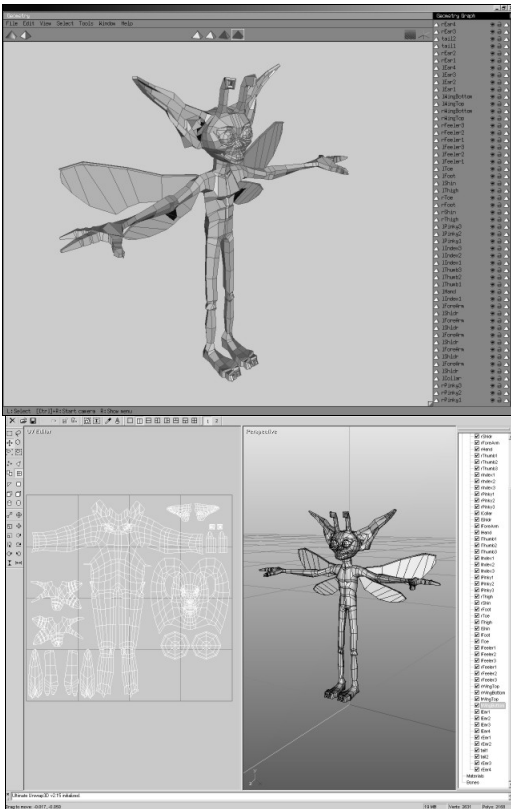
Al final del periodo lectivo, el alumno presenta la recopilación de su labor en soporte digital y bajo un formato estándar (PDF). Este trabajo sirve de sistema de control de las prácticas y como método de evaluación. Se valora el volumen de trabajo, la calidad visual, ejecución técnica y originalidad o creatividad de los resultados



**Figura 03:** Ejemplo de tutorial para el aprendizaje de la técnica de “unwrapping” que permite obtener el desarrollo plano de una malla poligonal de forma asistida, en este caso un poliedro regular.

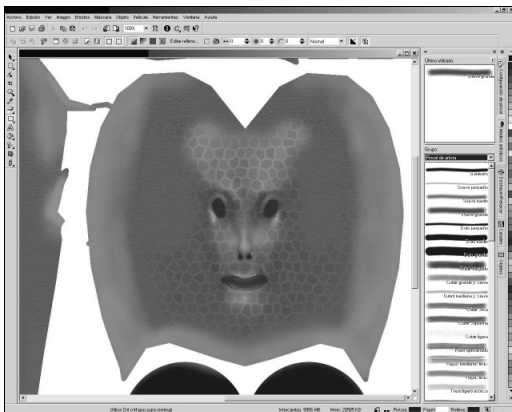
Se han definido cinco sesiones de prácticas organizadas en tareas de ejecución progresiva e interdependientes. Se pueden acometer en régimen de autoaprendizaje con software fácilmente accesible (“shareware”, “freeware” o demos de programas convencionales). Esta circunstancia permite la futura adaptación de la materia a un entorno docente no presencial. El volumen de trabajo previsto debe ajustarse a un mínimo de 15 horas. Son las siguientes:

- **Práctica 1:** Diseño conceptual. Presentación de bocetos 2D. (tiempo estimado, 3 horas)

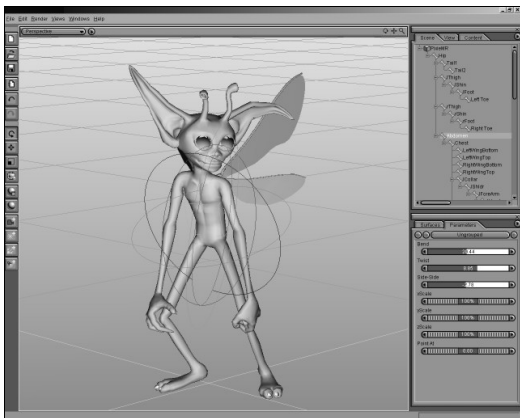


•Práctica 2: Modelado 3D por el método de subdivisión poligonal. (4 horas). La figura de la izquierda muestra la aplicación a utilizar con un modelo acabado.

•Práctica 3: Obtención del mapa de texturas (2 horas). A la izquierda se observa el mapa completo del modelo anterior. Para este cometido se emplea una segunda herramienta que recibe la geometría del modelo en un formato de archivo estándar.



•Práctica 4: Diseño de la piel (4 horas). A la izquierda se aprecia un primer plano del rostro del personaje 3D. Para esta labor se utiliza un programa de retoque fotográfico. Los mapas de texturas son imágenes.



•Práctica 5: Diseño de las uniones y animación (4 horas). La imagen adjunta muestra un programa que permite visualizar los movimientos de las articulaciones. Obsérvese la jerarquía de la mismas que aparece a la derecha de la pantalla.

### 3.5 Referencias bibliográficas

Existen numerosas referencias bibliográficas relacionadas directa o indirectamente con los personajes de síntesis. El principal inconveniente de la mayoría de esos trabajos es que la materia se revisa haciendo uso exclusivo de una aplicación comercial, lo que ofrece una perspectiva sesgada de la técnica al ajustarla al "*modus operandi*" del programa o aplicación 3D concreta en que se basa.

Se recomienda la obra de George Maestri (**BIB.04**) que ha publicado varios títulos específicos sobre personajes animados, desde los principios básicos hasta las técnicas mas avanzadas. Este autor se ha especializado en el análisis riguroso de los fundamentos de la animación facial, dinámica del actor y dirección escénica. Actualiza de forma regular su obra habiendo presentado dos revisiones de su primera edición que data de 1997.

Uno de los creadores más conocidos en el mundo de los personajes 3D es Bill Flemming (**BIB.02**) que ha publicado numerosas obras en la materia. Este autor es también un reputado diseñador de caracteres por lo que son especialmente interesantes sus tratados sobre modelado y desarrollo de texturas.

Doug Kelly (**BIB.03**) ha publicado uno de los compendios más extensos sobre actores virtuales. Alguno de los capítulos, como el de técnicas de digitalización, han quedado superados por el avance en las tecnologías, no obstante, su trabajo ofrece una excelente visión global de las posibilidades de los actores virtuales.

También es muy recomendable la obra de Mark Giambruno (**BIB.01**) en la que se revisan los fundamentos de la creación tridimensional, iluminación o render.

### 4 Conclusiones y agradecimientos

La asignatura ha sido puesta en marcha durante el curso 2003-2004 con grado de aceptación excelente. La oferta de 20 plazas quedo rápidamente cubierta durante la primera fase de la matrícula. El nivel medio de asistencia del alumnado ha sido superior al de otras asignaturas optativas pese al horario de las clases (19:00 a 21:00), un tanto intempestivo .

La mejora de la calidad del material didáctico complementario y la adaptación de las prácticas y proceso de evaluación a sistemas de trabajo colaborativo son algunas de las mejoras previstas, aunque entendemos que se está en proceso de “rodaje”.

Los profesores que han colaborado en el desarrollo y puesta en marcha de esta materia quieren expresar públicamente su agradecimiento al resto de compañeros del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación del Centro Politécnico Superior por su comprensión y el apoyo prestado.

## 5 Referencias

**REF.01:** LÓPEZ, C.; ROYO, E.; DE FRANCISCO, J.C.; “*Elaboración de personajes 3D para su difusión en Internet*” XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander (España).2002. Incluido en los Anales de Ingeniería Gráfica del 2002.

**REF.02:** LÓPEZ, C.; DE FRANCISCO, J.C.; ROYO, E.; “*Desarrollo de un presentador sintético para WWW*” XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz (España).2001

**REF.03:** LÓPEZ, C.; VALERO, C.; “*Desarrollo Sostenible de Personajes Sintéticos 3D*”. XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valladolid (España).2000.

**REF.04:** ROYO, E.; LÓPEZ, C: “*Flexible University Training in CIM*” I International Congress in Quality and Technical Education Innovation”, San Sebastián (España): ISBN: 84-7585-381-1

### 5.1 Bibliografía aludida

**[BIB.01]** Giambruno; M.: “3D Graphics and Animation”, Indianapolis (EE.UU.); Editorial New Riders 1997. ISBN:1-56205-698-0.

**[BIB.02]** Flemming, B.: “3D Creature Workshop”, Rockland, Massachusetts (EE.UU.). Editorial Charles River Media, 1998. ISBN:1-886801-78-9

**[BIB.03]** Kelly, D.: “Character Animation in Depth”, Scottsdale Arizona (EE.UU.). Editorial Coriolis, 1998. ISBN: 1-56604-771-4.

**[BIB.04]** Maestri, G.; Creación digital de personajes animados” Madrid 1997. Editorial Anaya. ISBN: 84-415-0198-X.(Existe una revisión actualizada de esta obra en la misma editorial.)





INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

### ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE CONTENIDOS DE GEOMETRÍA PARA INGENIEROS.

### NUEVOS PLANTEAMIENTOS DE LA INGENIERÍA GRÁFICA

SENTANA GADEA, Irene; SENTANA CREMADES, Eloy; SERRANO CARDONA, Manuel; TOMÁS JOVER, Roberto; PIGEM BOZA, Ricardo; GOMEZ GABALDÓN, Arquímedes; PEREZ CARRION, M<sup>a</sup> Teresa; DIAZ IVORRA, M<sup>a</sup> Carmen; FERREIRO PRIETO, Ignacio; POVEDA PÉREZ, José Luis; MARTINEZ SENTANA, Alberto-

<sup>(1)</sup>Universidad de Alicante, España

Escuela Politécnica Superior. Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía

Correo [irene.sentana@ua.es](mailto:irene.sentana@ua.es)

### RESUMEN

En la presente Ponencia se exponen los trabajos de investigación realizados sobre los nuevos planteamientos de la Expresión Gráfica en relación con los nuevos Planes de estudio y titulaciones de Nuevo diseño.

Se trata con ello de dar un nuevo planteamiento a los retos que se plantea en la formación de los ingenieros del siglo XXI, y afrontar las consecuencias de la progresiva implantación de las nuevas tecnologías en las enseñanzas de la Ingeniería Gráfica, que es el ámbito donde se desenvuelve nuestra actividad docente.

La implantación de los anunciados planes de estudio, la reducción de créditos y la unificación de titulaciones en el ámbito español y europeo, hacen necesario un nuevo diseño de la docencia en el Área.

Los objetivos generales propuestos son:

- Establecer unos criterios sobre los conocimientos mínimos comunes de Geometría básica de aplicación en ingeniería, para cualquier especialidad o titulación.
- Proponer líneas de trabajo de común aceptación entre las ingenierías, de manera que, con las nuevas tecnologías, se pueda llegar a mayor número de interlocutores y puedan aportar sus críticas y sugerencias.
- Presentar una metodología para elaborar contenidos, mediante un proceso que justifique la búsqueda razonada de contenidos de Geometría para ingenieros.

Se trata de sugerir una estrategia global, con criterios posibilistas que permitan mejorar globalmente la formación en Ingeniería Gráfica ante los nuevos planteamientos y cambios sustanciales en las titulaciones técnicas de las universidades españolas.

**Palabras clave:** Planes de Estudio. Ingeniería Gráfica. ECTS. Créditos.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work is to show the investigation works carried out about new approach in Graphic Expression and their connection with news studies plans.

The new integration with European studies, and the new technology will get us to adapt the contents to the education of the new XXI's engineer.

**Key words:** syllabus. Graphic engineering. ECTS. Credits

### **1. Introducción**

El proyecto de investigación pedagógico está ligado a la docencia en Titulaciones de ingeniería, de manera que se diseñe un modelo de enseñanza de la Geometría básica para ingenieros, que encaje en los Nuevos Planes de las Titulaciones de Ingeniería de pronta implantación y pueda así adaptarse como material de trabajo al sistema de medida de los nuevos Créditos Docentes ETCs.

El planteamiento está concebido para dinamizar la enseñanza de la Geometría, de manera que, a partir de la materia base conocida (la Geometría), se busque un método de trabajo que permita a través del proceso (la propia metodología) determinar el producto conocido (lo que serían los contenidos).

### **2. MARCO TEÓRICO EN EL QUE SE SITÚA LA ACTIVIDAD REALIZADA.**

#### **Estado de la cuestión.**

Desde el curso 2002-2003, y como consecuencia de la información sobre proyectos de decretos que el MEC referente a las Nuevas Titulaciones, conferencias que se han impartido por expertos en la materia, tanto por las universidades, Aneca, Colegios profesionales de ingeniería, publicaciones, páginas Web de las Universidades, etc..., han permitido conocer los principios básicos en que se basará la reforma.

Como es sabido, la Ley Orgánica de Universidades (LOU diciembre 2001) establece que: "... se adoptarán las medidas necesarias para la plena integración del sistema español en el espacio europeo de enseñanza superior..." Por parte desde el MEC se han presentado los proyectos de ley de cómo se debe realizar la integración de nuestra enseñanza universitaria en este espacio común europeo, que plantea, además de unificar los nuevos títulos (4 años de duración y supresión de las actuales paridades de titulaciones, se suprimen ciclo corto, ciclo largo), añadir la titulación master, los suplementos al título, así como la nueva unidad de medida como carga de las asignaturas: créditos (ECTS).

En el Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería, de la Universidad de Alicante, como preparación a este proyecto ya se iniciaron contactos y reuniones con profesores

de otras universidades de España.

Se acompañan los resultados de las conclusiones obtenidas por los participantes en los tres grupos de trabajo que se organizó en el 1º seminario sobre contenidos de Geometría básica para ingenieros.

He aquí algunos de los problemas que se plantean para determinar los contenidos de asignaturas básicas de Carreras Técnicas como son las materias relacionadas con la Expresión Gráfica.

### **Por parte del estamento discente**

a) Incorporación de alumnos a la Universidad en Enseñanzas Técnicas, con una falta de conocimientos de geometría básica elemental, los alumnos acceden sin haber cursado las asignaturas previas preparatorias en Bachillerato. Esto es posible, debido a que legalmente se puede hacer y así está previsto en los itinerarios de la LOGSE.

b) Bajo nivel de conocimientos de los alumnos que acceden debido a la proliferación de Titulaciones técnicas que, junto con el descenso cuantitativo (y cualitativo) del número de alumnos, hace que la nota media de acceso sea mínima. Con 5 se puede acceder a muchas titulaciones de Ingeniería.

### **Por parte del estamento docente**

a) Dificultad en impartir la programación debido a la a inercia de reducir contenidos de las asignaturas o suponer conocimientos que en realidad no tiene el alumnado.

b) Poco prestigio o consideración histórico entre el profesorado que se arrastra con la denominación “dibujo técnico” o actualmente “Expresión Gráfica” que induce a ambiguas interpretaciones por los ajenos al Área de Conocimiento.

### **Por parte del estamento Académico Administrativo**

a) Reducción de créditos o “tiempo” de la materia, debido a ajuste del total de créditos por titulación.

b) Baja consideración por las Comisiones Académicas de los Planes de Estudios a conceder mayor tiempo o créditos a materias de ingeniería gráfica, avalado por otras Áreas de Conocimiento que fomentan su menor participación o incluso su desaparición ( por ejemplo Telecomunicaciones).

c) La sociedad(los empleadores, a los que van destinados los titulados) dan por supuesto que saben suficiente diseño o interpretación gráfica para el desarrollo de la profesión (lo cual no siempre es posible conseguir).

El planteamiento de esta investigación se ha desarrollado en el contexto del alumnado (futuro demandante de empleo) y de la sociedad-empresas (potenciales demandadores de ingenieros).

### **Soluciones propuestas**

Aunque las causas anteriores se han clasificado por grupos, todas ellas están ínter conexas, no pudiéndose establecer una solución para cada causa, teniendo que recurrirse a planteamientos de soluciones generales como:

1. Actualizar los contenidos de las asignaturas a la realidad de la sociedad actual, adaptándolos a las necesidades reales. **No dar respuestas de ayer a los problemas del mañana**

2. Lograr un plan de Calidad que prestigie a la expresión gráfica en las Escuelas, y en el ámbito Universitario. Se da la paradoja, que son las Academias las que enseñan y las Universidades las que examinan.

3. Dar amplio protagonismo a las nuevas tecnologías, en el sentido que estas aumentan las POSIBILIDADES, pero no las CAPACIDADES, que son las que se deben desarrollar en la Universidad.

4.- Propuesta de un nuevo planteamiento de los contenidos desde el punto de vista de ingeniería gráfica por materias (pueden tener varias asignaturas), estableciendo el conjunto de conocimientos de la ingeniería gráfica en las titulaciones.

Para responder a lo anterior se plantean, referido a materias de expresión gráfica:

¿Qué tareas debe hacer un Ingeniero? ¿qué enseñar? y ¿cuánto? y ¿cómo hacerlo?

Además hay que tener en cuenta otros factores que influyen en los contenidos:

Competencias de la titulación: conocimientos básicos que se deben adquirir en los estudios, como punto de partida, para posteriores desarrollos.

Competencias profesionales: competencias adquiridas en todas las materias que configuran la ingeniería y que deberán desarrollarse y ampliarse durante toda la vida profesional.

Objetivos de la titulación de grado: mínimos o básicos conocimientos para ejercer la profesión.

Objetivo de la titulación Postgrado: Ampliación de materias o especializaciones concretas.

Por la información aportada en los proyectos del MEC, la carga de troncalidad en las titulaciones será del 75%, (en consonancia con la intercambiabilidad europea) por lo que al margen para las posibles asignaturas obligatorias u optativas a repartir, en todas las materias quedará muy reducido la Expresión Gráfica.

Se pretende que los títulos de Grado sean de tipo más generalista, lo cual ha de presumirse, que de alguna manera, existirán entre asignaturas básicas de las Titulaciones Técnicas algún tipo de transversalidad, esto es, que a nivel básico ya no será tan acusada la diferencia de descriptores entre las diversas titulaciones de ingeniería (los contenidos de esas asignaturas).

**¿Qué conocimientos deben ser exigidos a un ingeniero de un determinado**

## perfil?

¿Cuáles deben ser considerados troncales y cuáles de libre configuración u optativos?

Para contestarlas hay que establecer los objetivos generales que se pretenden alcanzar y las destrezas que se espera desarrollen los alumnos.

Para deducir los contenidos de Geometría de las enseñanzas en las Titulaciones correspondientes hace falta plantear:

1. Propuesta del esquema general que estructura los estudios de Expresión Gráfica.
2. Propuesta de los contenidos básicos.
3. Propuesta de las destrezas mínimas globales y por contenidos.
4. Análisis de los niveles y diversidad.

Resulta evidente que, una vez alcanzado un grado de consenso suficiente sobre objetivos, destrezas y contenidos mínimos de la Expresión Gráfica en la Ingeniería (EGI), será necesario acometer un segundo estadio de desarrollo de este documento, donde se aborden cuestiones más específicas para la integración de la EGI en el conjunto de los estudios de ingeniería dentro del marco del Espacio Europeo de Enseñanza Superior y establecer la correspondiente valoración de cada una de ellas en términos de créditos europeos (ECTS).

Estas cuestiones están siendo objeto de planteamiento y estudio por el Grupo EGI de Ingegraf radicado en al EUIT Montes. Madrid.

## 3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN METODOLÓGICA.

En esta ponencia, se ha planteado solamente una parte de esos conocimientos referidos a la geometría. Por razones obvias de extensión y porque el resto de materiales y metodología utilizada puede extrapolarse al resto de materias que componen la ingeniería gráfica.

La investigación se plantea en dos frentes:

1- **A nivel Académico y del profesorado** :Actualmente, existen muy buenos currículums en las enseñanzas de la ESO y Bachillerato, pero la realidad de aplicación de la LOGSE, es que acceden a titulaciones Técnicas alumnos con muy bajo o nulo nivel en Geometría. Así se desprende de los resultados de las encuestas realizadas en el curso 2002-03 como los resultados del Primer Seminario de contenidos mínimos de Geometría para Ingenieros.

2- **La sociedad o empleadores** ¿Qué opinan los usuarios de estos profesionales sobre lo que deben saber?

Queda pendiente realizar una encuesta para obtener de las empresas y profesionales datos que serán objeto de análisis y posterior incorporación en lo que proceda a los contenidos y programación de prácticas, objeto del trabajo.

### **Parámetros entre los que deben moverse los contenidos**

a) Se plantea el determinar, por mínimos, no solamente lo que un Ingeniero debe saber de Geometría, sino los requisitos para acceder a los estudios de la titulación y en consecuencia, qué puede ampliar la Universidad en la titulación correspondiente. Es una premisa de trabajo, que para acceder a una titulación de Ingeniería, los alumnos deben tener unos conocimientos mínimos que teóricamente han aprendido en los estudios previos conducentes al acceso a la Universidad.

b) Los programas de contenidos en las Titulaciones no pueden dedicar sus recursos de tiempo a recordar o enseñar lo que el estudiante debería saber, ya que entonces no se produce el progreso o ampliación de conocimientos que se pretende en la titulación, quedando el aprovechamiento de los programas muy mermado, el aprendizaje reducido y el nivel de los estudios muy bajo.

Para evitar esta situación, aquí se presenta este intento de tratar plantear el cómo resolverlo.

### **Búsqueda de contenidos de Geometría a través de la motivación.**

Es cada vez más frecuente por parte de los alumnos que se cuestionen o muestren desinterés ante materias que le pueden resultar áridas o de cierta dificultad como puede ocurrir en nuestro caso con la Geometría.

Entre las distintas justificaciones que se plantean sobre el necesario conocimiento de la Geometría para un ingeniero, bien de tipo académico, científico y práctico, se ha optado en este trabajo por esta última en base a:

-Los alumnos pueden encontrar interés en geometría y si pueden deducir ¿para que sirve?

-Encontrar como motivación, una vía de búsqueda de argumentos que justifiquen el empleo de la Geometría, basada en la necesidad de la misma para la **resolución de problemas que se plantean en la vida real** o para el **diseño en proyectos de ingeniería**.

Justificado por la función que desarrolla en su actividad el ingeniero, búsqueda de soluciones a los problemas que plantea el ejercicio de la ingeniería y el planteamiento de soluciones a los diseños de proyectos de ingeniería.

Esta primera etapa se refiere solamente, al análisis y planteamiento de los criterios para la búsqueda de materiales que justifiquen la Geometría necesaria, objeto inicial del proyecto de investigación.

## **4. PRERREQUISITOS. MANUAL DE LA TITULACIÓN.**

En este manual que se deberá elaborar para cada titulación, se recogerá además del perfil de la Titulación, los conocimientos previos, en este caso de Geometría que el estudiante que acceda a la titulación deberá conocer para poder progresar en la ampliación de sus conocimientos, ya que éste será el punto de partida de los conceptos impartidos en el ámbito universitario.

Será el instrumento que el alumno y profesores de secundaria podrán utilizar en la orientación de la enseñanza y orientación de los alumnos (formará parte de otro trabajo, el definir dichos prerrequisitos).

## **5. METODOLOGÍA. Búsqueda de nuevos caminos de aprendizaje.**

En el desarrollo de la investigación pedagógica se ha planteado ir al fondo por la forma, como un ejercicio de “brainstorming” sobre las prácticas más usuales en la vida real, donde se ponga de manifiesto la aplicación inmediata de los conocimientos del Dibujo Geométrico en la Ingeniería. Si le añadimos la función pensante del ingeniero con la idea de “pensar diseñando y diseñar pensando”, metodológicamente, hemos de encontrar una motivación para el estudiante en los contenidos, que lo hagan al menos atractivo, o en su defecto evitar el incipiente pragmatismo de los estudiantes que empiezan cuestionando siempre el “¿para qué?” de los contenidos de esta asignatura.

### **ESQUEMA DE DESARROLLO DEL TRABAJO.**

#### **FASE 1ª**

Se propone una guía para iniciar un trabajo a realizar por grupos sobre un tema concreto que sirva de primera aproximación para conformar un listado de temas de Dibujo Geométrico que contengan:

1. Nombre del tema (Referencia de Geometría).
2. Ejemplo de aplicación (con el correspondiente enunciado y dibujo resuelto).
3. Teoría o fundamentos que lo sustentan con la explicación o razonamiento geométrico o matemático que lo sustenta.
4. Bibliografía o referencia (libro o autor de donde se ha sacado, si lo tenemos o recordamos).

La tarea consiste en que cada componente del grupo relacione los ejemplos que recuerde o las experiencias y prácticas que responda a los 4 epígrafes enunciados anteriormente.

No se trata por tanto de “idear cosas”, sino encontrar los ejercicios adecuados, No es necesario que los ejercicios sigan una secuencia determinada, pueden ir mezclados según vayan surgiendo. En esta fase no es fundamental la forma de exposición, ya que se trata de encontrar los ejemplos adecuados. Este sería un trabajo personal del

profesor.

El conjunto de ejercicios se podrán agrupar por temas, dando lugar a una serie de materias similares que se puedan organizar por **GRUPOS TEMÁTICOS**.

### **FASE 2ª**

En una segunda fase, del material obtenido, se plantearía dos grupos de trabajo:

**Grupo A**, (formado por varios componentes según los temas) trabajaría sobre los grupos temáticos obtenidos, que podrían completarse o ampliarse según las preferencias y razones que expresasen los componentes del grupo.

**Grupo B**, trabajaría sobre la redacción y el estilo común del material seleccionado, apoyado por alguna reunión de coordinación e intercambio de ideas y de sugerencias con el grupo A, que a su vez sirva de estímulo y cohesión del grupo.

### **FASE 3ª**

Elaboración de “contenidos comunes” o “principios teóricos” justificantes de cada grupo de ejercicios.

### **FASE 4ª**

En una cuarta parte se ha realizado una propuesta a los profesores del Área de otras Universidades intentado llegar a un consenso sobre aquellos contenidos mínimos de Geometría que cualquier alumno que acabara una ingeniería debería conocer, independientemente de la especialidad, o de si esos contenidos corresponde impartirlos en la Universidad o en cursos previos.

Finalmente se concreta la idea en la realización de unas fichas con ejemplos básicos de los conocimientos que los alumnos deberían disponer, poniendo el enunciado, solución, demostración en la que se apoya, teorías necesarias para poder conocer la demostración y bibliografía o referencias.

Propuesta a otros colectivos con ponencias o comunicaciones a congresos.

Edición de texto o libro futuro.

## **6. RESULTADOS DEL I SEMINARIO SOBRE CONTENIDOS MÍNIMOS DE GEOMETRÍA PARA INGENIEROS.**

El desarrollo de la sesión ha estado marcado por dos grupos fundamentales de comentarios. Unos relativos a la poca formación en dibujo técnico que presenta la gran mayoría de los alumnos que se matriculan en las carreras de Ingeniería, y otros relacionados con los contenidos específicos y básicos de Geometría que debe adquirir todo alumno de estas carreras independientemente de la especialidad que cursen.

En la primera parte de este seminario se expresaron, resumiendo, los siguientes comentarios:



- Si bien los contenidos de dibujo técnico de los planes de estudios de los Bachilleratos que dan acceso a estudios de ingeniería son suficientemente extensos, se produce la circunstancia de que los alumnos que acceden a los primeros cursos de Ingeniería no poseen los conocimientos de base necesarios para seguir con efectividad nuestras clases. Dándose el caso de que algunos de estos alumnos han podido matricularse sin haber cursado ninguna asignatura relacionada con el Dibujo Técnico desde el 3º curso de la ESO.

- Esta situación genera un alto porcentaje de no presentados o suspendidos en los exámenes de nuestras asignaturas, de los primeros cursos de Ingeniería.

- La limitación de créditos dedicados a la docencia de la Expresión Gráfica en Ingeniería, no nos permite repetir o retomar los contenidos impartidos en niveles educativos anteriores.

- Los contenidos mínimos de Geometría, necesarios para la formación de un Ingeniero, son propios de los estudios de Bachillerato y no deberían impartirse en las carreras de Ingeniería.

- La queja generalizada se centra en la falta de base adecuada de estos alumnos. Algunos profesores han señalado la efectividad, que en su universidad, tienen los “Cursos 0”. Estos cursos se realizan con anterioridad al inicio de los primeros cursos de Ingeniería, y pretenden dotar al alumno matriculado de los conocimientos de base necesarios. Esta solución fue suficientemente debatida y otros asistentes al seminario comentaron la dificultad que supone asistir a estos cursos a los alumnos de selectividad de la convocatoria de septiembre. Además no acuden siempre todos los alumnos que debieran.

- La utilización de los medios informáticos puede ser un atractivo para nuestros alumnos, a la vez que los acerca a las nuevas tecnologías y facilita la ejecución de sus prácticas. Pero su formación, el conocimiento en el empleo de estos medios, no puede impartirse en nuestras asignaturas, pues reduciría aún más su escasa temporización.

- Se debe dotar al alumno, futuro ingeniero, de los conocimientos que potencien su razonamiento gráfico.

En la segunda parte del desarrollo del seminario se establecieron los conocimientos básicos de los contenidos debatidos en este grupo de trabajo, que se presentan en las tablas siguientes. Estos contenidos son, en su gran mayoría, propios de los estudios de Bachillerato, y por lo tanto de necesario conocimiento previo al acceso a las carreras de Ingeniería.

Grupo I TEMA : POLÍGONOS		
CONTENIDOS	ARGUMENTOS	APLICACIONES
Definiciones y clases.	Para conocer las principales figuras geométricas.	En cualquier rama de la Ingeniería.
División de la circunferencia en partes iguales.	Porque es necesario conocer métodos de división exacta y aproximada.	Replanteos, construcción y diseño de formas planas, (polígonos).
Propiedades de los polígonos.	Sólo el concepto.	Para poder construir formas geométricas.
Determinación de superficies y polígonos isoperímetros.	Es necesario conocer el concepto y metodologías de cálculo.	Análisis y optimización de formas planas. Replanteos.
Resoluciones de polígonos regulares conocido alguno de sus elementos lineales.	Porque es una forma de fijar conceptos y desarrollar la concepción geométrica.	Replanteos, diseños de formas planas y construcción. Diseño en Ingeniería.

TEMA : TRIÁNGULOS y CUADRILÁTEROS		
CONTENIDOS	ARGUMENTOS	APLICACIONES
<b>TRIÁNGULOS</b>		
Definición y designación. Clasificación. Propiedades fundamentales.	Para conocer las principales figuras geométricas.	En cualquier rama de la Ingeniería y Técnica.
Rectas y puntos notables. Lugares geométricos.	Conocer los elementos de un triángulo.	Conceptos de uso en diseño y en cualquier entorno de la ingeniería.
Relaciones entre los elementos de un triángulo. Triángulo órtico.	Conocer los elementos de un triángulo.	Para la interpretación de los teoremas de la axonometría.
Resoluciones de triángulos según diferentes datos.	Porque es una forma de fijar concepto, a la vez que enseña a pensar y desarrolla la concepción geométrica.	Diseño de formas planas, diseño en ingeniería y replanteos, construcción.
<b>CUADRILÁTEROS</b>		
Definición. Clasificación y propiedades.	Para conocer las principales figuras geométricas.	En cualquier rama de la Ingeniería.
Resolución de cuadriláteros según diferentes datos.	Porque es una forma de fijar conceptos, y desarrollar la concepción geométrica.	Diseño de formas planas, construcción, ingeniería industrial y mecánica. Replanteos.

## **Materiales Grupo 2**

TEMA: CURVAS CÍCLICAS. LUGARES GEOMÉTRICOS.		
CONTENIDOS	ARGUMENTOS	APLICACIONES
Definiciones y clases.	Es necesario conocer los diferentes tipos, para su construcción según la carrera de Ingeniería.	Para la resolución de problemas técnicos relacionados con cálculos de trayectorias.
Resoluciones de trayectorias atendiendo a condicionantes geométricos.	Analizar algunos casos para desarrollar la concepción geométrica.	Trayectorias de maquinarias, mecanismos, etc. Aplicaciones en diseños de Ingeniería.
TEMA: GEOMETRÍA PROYECTIVA		
CONTENIDOS	ARGUMENTOS	APLICACIONES Y OBJETIVOS
El espacio proyectivo. Definición. Elementos y formas fundamentales. Principios, postulados y operaciones básicas de la Geometría Proyectiva.	Necesario para la creación de una concepción espacial.	Los participantes en este grupo de trabajo estiman conveniente fijar unos objetivos entre los que destacan: -El carácter didáctico de esta materia. -La necesidad de impartirla para formar la visión espacial del alumno. -La necesidad de formar a los alumnos para el mercado
Proyectividad entre las figuras geométricas. Transformaciones geométricas. Relaciones proyectivas. Correlaciones. Homografías. Polaridad. Inversión.	Estos contenidos puede considerarse como complementarios.	
Perspectividad. Homologías.	Contenido indiscutiblemente básico.	
Afinidad. Homotecia. Traslación.		

Concepto de proporcionalidad. Proporcionalidad gráfica. Directa e inversa.	Contenido indiscutiblemente básico.		laboral atendiendo a sus exigencias. -En general formar las facultades mentales del los alumnos.
Escalas. Escalas normalizadas. Escalímetro. Construcción de escalas. Aplicación del concepto de escala a superficies y volúmenes. Problemas de producto de escalas.	Contenido básico a excepción de las aplicaciones de las escalas al cálculo de superficies y volúmenes así como los problemas de producto de escalas.	Aplicación de las escalas normalizadas a la elaboración de planos. Aunque también es necesario utilizar otras escalas ya que en ocasiones son necesarias para el trabajo e interpretación real de elementos de ingeniería (ej. fotografías aéreas).	
Concepto de equivalencia. Equivalencia entre figuras.	Se consideran contenidos complementarios.		
Concepto de escala en las aplicaciones de C.A.D. Impresión de planos a distintas escalas.	Se trata de unos contenidos con un carácter meramente instrumental.		

### **Materiales grupo III**

#### **TEMAS GENÉRICOS**

En este apartado se recogen los comentarios que con, carácter general, se hicieron en todos los grupos de trabajo. Los comentarios, agrupados por temas, fueron sido los siguientes:

#### **Datos de partida para organizar la docencia**

- Tenemos los siguientes datos de partida: los alumnos no tienen conocimientos de base, hay una reducción importante del tiempo asignado, hay ordenadores, por lo tanto hay que enseñar los conceptos y ayudarse del ordenador en lo que se pueda simplificar.
- Los contenidos de Geometría ya deberían de tenerlos cuando llegan a la universidad, por lo tanto se deberían de suprimir, y el que no los tenga desviarlos hacia los cursos 0 ó los programas de autoaprendizaje en internet.
- Aprender la herramienta (CAD) lleva mucho tiempo, no se puede quitar a las asignaturas básicas.

#### **Conocimientos de partida de los alumnos**

- Quejas generalizadas respecto a la falta de conocimientos de base de los alumnos
- Efectividad de los llamados “Curso 0” realizados con anterioridad al inicio de la asignatura. Sirven para poner a los alumnos al día de los conocimientos que deberían poseer de sus estudios previos, y de esta forma pueden afrontar con éxito las asignaturas. Desde luego no hay que repetir contenidos cuando se empieza la asignatura. También se pueden impartir los sábados, porque si se hacen antes del

inicio del curso asiste un porcentaje muy reducido de alumnos.

- Definir lo que deberían saber cuando terminan el bachiller y empezar a partir de ahí.

Nuevos métodos de enseñanza

- Hay que llevar cuidado, se corre el peligro de dejarlo todo en manos de la informática y de vaciar el contenido de la asignatura.

- Si mejoramos la eficacia a la hora de impartir las clases probablemente no habrá que reducir tanto los contenidos.

- Hay que impartir los contenidos mínimos de forma que se logre la asimilación del concepto. Explicar poco y bien. Crear el método y seleccionar el contenido de forma que se ahorre tiempo.

- Inclusión de las nuevas herramientas.

- Hay que aprovechar la utilidad de las aulas virtuales, con cursos de formación complementarios en Internet, que son bien aceptados y efectivos. (Es una forma de darles la posibilidad de formarse a los alumnos que no tienen el nivel suficiente o que necesitan repasar algún tema concreto).

Objetivos a alcanzar con los alumnos

- Objetivo: desarrollo de la facultad para ver en el espacio.

- Habilidades con el ordenador.

- Hay que alcanzar un equilibrio entre la formación: conceptos y la información.

- Potenciar el razonamiento gráfico.

- Hay que darles unos conocimientos básicos que estructuren la base de la Geometría.

- Objetivo: dotar de la documentación precisa a los proyectos.

- Para la realización de proyectos es muy importante saber la normalización.

- Hay que desarrollar la capacidad de aprendizaje y aprender a pensar (pensar dibujando y dibujar pensando).

- Hay que formar profesionales rigurosos con capacidad de aprendizaje y de trabajo.

### CONCLUSIONES GRUPO DE TRABAJO 3 (Enlaces-tangencias, cónicas)

Respecto a los temas propuestos en esta mesa de trabajo se acordó reducirlos respecto de la propuesta inicial a:

1. Enlaces y tangencias: quitar los temas de potencia e inversión (hay ordenadores). En el resto centrarse más en los conceptos que en las realizaciones prácticas. Incluir más aplicaciones de lo que se explica. Hay que aprender a pensar geométricamente.

2. Cónicas: centrarse en los conceptos y las aplicaciones, no incidir en temas excesivamente concretos de construcciones. Se podrían englobar en un concepto más amplio de lugar geométrico, relaciones en el espacio.

## **7. FUENTES DE INFORMACIÓN. REFERENCIAS.**

1. Análisis de la expresión gráfica en la ingeniería ante el espacio europeo de enseñanza superior. Dirección: semigraf@forestales.upm.es. (Ingegraf).

2. Documento de trabajo sobre la Expresión Gráfica en la Ingeniería en el marco del Espacio Europeo de Enseñanza Superior (varios profesores grupo Ingegraf Madrid).

3. La integración del sistema universitario español en el espacio europeo de enseñanza superior. Documento-marco.

4. Encuestas alumnos realizadas por el Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería.

5. Conclusiones del Seminario Contenidos mínimos Geometría para Ingenieros. Universidad de Alicante.

6. Conferencias Colegios Profesionales: Colegios Ingenieros Superiores Industriales y COPITI-Alicante.

7. Asesoramiento del Profesor del ICE D. Manuel Rico Vercher.

8. Conferencia impartida por José Ginés Mora, coordinador del Programa de Acreditación de la ANECA y Miembro Steering Committee of European Network on Quality Assurance in Higher Education.

# DIBUJO ELECTRÓNICO Y SU NORMALIZACIÓN: APLICACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE DISEÑO

LLORENTE GENIZ, Julián; MATEO CARBALLO, Fernando, SANCHEZ JIMENEZ, Javier

Universidad de Sevilla, España

Departamento de Ingeniería del Diseño

Correo electrónico: [JLLorente@us.es](mailto:JLLorente@us.es)

## RESUMEN

El objeto de la ponencia presentada es el de compartir la experiencia llevada a cabo en la nueva titulación de Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica (plan 2001), mediante la introducción de nuevas herramientas TIC aplicadas a las asignaturas del Área de Expresión Gráfica. Las herramientas en concreto constituyen un entorno profesional en electrónica y serán utilizadas en una práctica o trabajo final de dibujo electrónico.

**Palabras clave:** Dibujo electrónico. Normalización.

## 1. INTRODUCCION

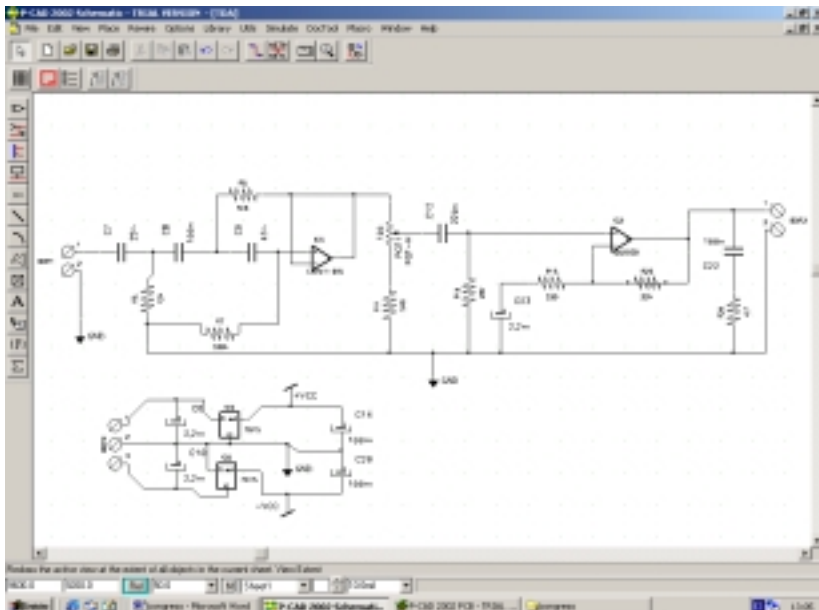
El curso 2001/02 se implantaron los nuevos planes de estudios conducentes a la nueva titulación de Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica, que sustituyen a los planes del año 1971 correspondientes a la Titulación de Ingeniero Técnico Industrial, rama Electricidad, especialidad en Electrónica de Regulación y Automatismos. El carácter de los planes de la nueva titulación es considerablemente más especialista en contraposición al carácter generalista de la antigua titulación, lo cual por ende debe repercutir en su programación docente. Es por ello la preocupación de nuestro departamento de Ingeniería del Diseño de remodelar los contenidos de las asignaturas adscritas de tal forma que se ajusten en la mayor medida posible a los descriptores de las nuevas asignaturas.

Con la estructuración del plan 1971 el primer año era común a las distintas especialidades (Eléctrica, Química y Mecánica), junto con aproximadamente el 40 % del segundo curso, correspondiendo a la propia especialidad el resto del segundo curso y el tercero. En cambio con el plan 2001 la titulación es independiente del resto, no tratándose de distintas especialidades sino de titulaciones independientes, comenzando por tanto la especialización del alumno en primer curso.

## 2.IMPLANTACIÓN DE LAS NUEVAS ASIGNATURAS

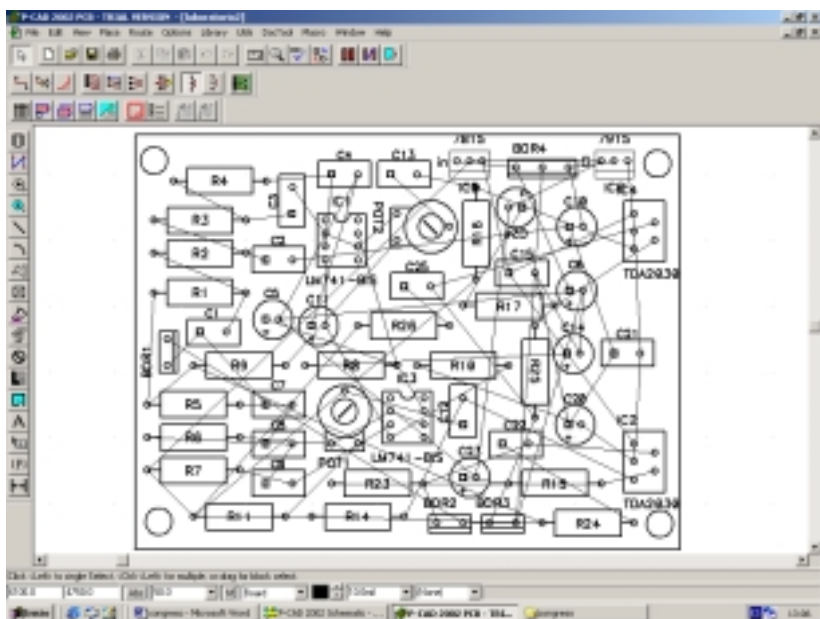
Las asignaturas correspondientes a la Titulación de Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica adscritas al departamento son:

- Expresión Gráfica en la Ingeniería y Diseño Asistido por Ordenador (7,5 créditos). 1º cuatrimestre de 1º curso.

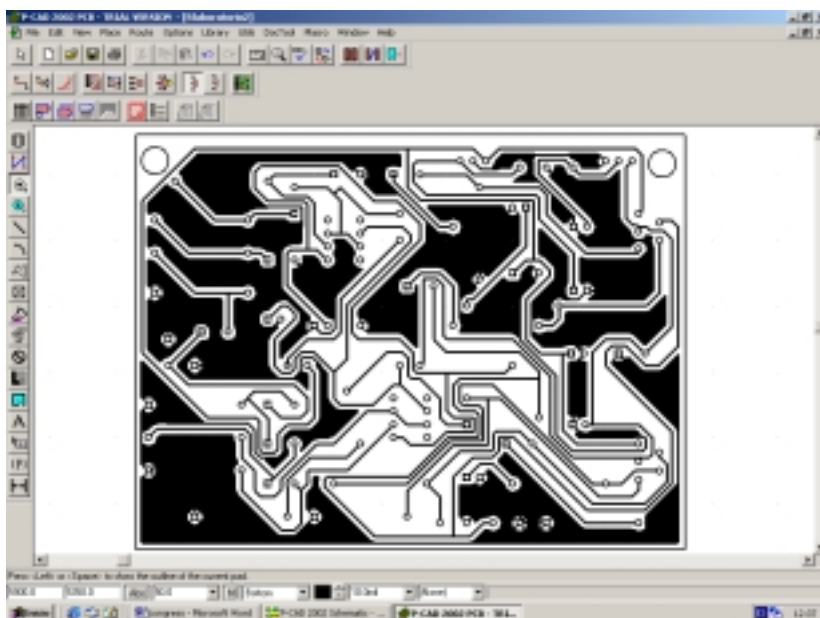




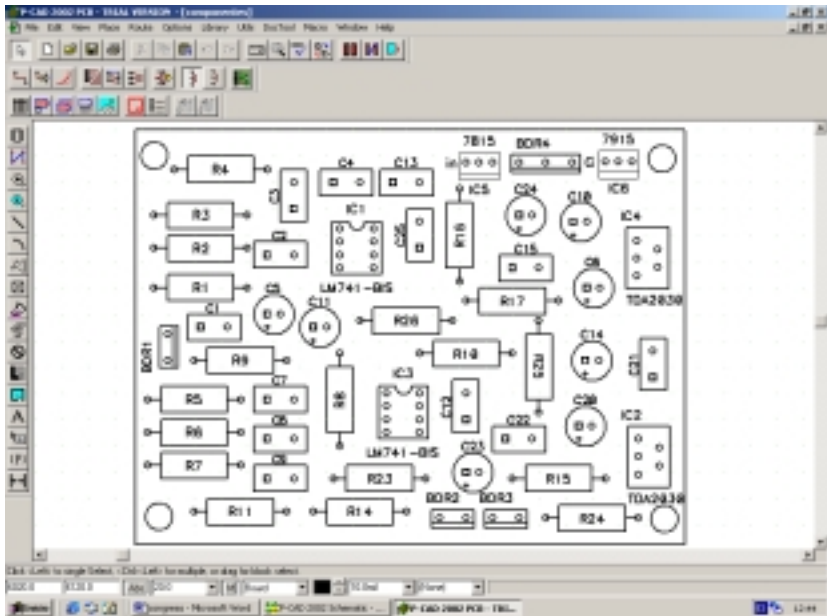




- Procedemos a continuación a rutar las pistas (a simple o doble cara), pudiéndolo realizar bien manualmente o bien mediante auto rutado. Si bien la segunda opción es más cómoda, los rutados obtenidos necesitan de una mayor área del “board” y las pistas resultan de una mayor longitud y enrevesadas trayectorias. La cara de pistas o BOTTOM incluido el plano de tierra (copper pour) puede quedar se aprecia a continuación:



- La cara de componentes o TOP del circuito impreso según las especificaciones asignadas a cada alumno resulta tal como se puede apreciar en la figura:



La práctica se completará con una memoria del trabajo realizado y el listado de componentes del circuito.

## 2.2. Mejoras respecto a la metodología anterior

La metodología utilizada para este tipo de prácticas en el extinto plan de estudios de 1971 se basaba en la utilización de programas como Autocad, Microstation, Imageneer Technical, etc., que aún con la utilización de bloques y herramientas análogas no ofrecían unas adecuadas prestaciones para tal fin, debido en gran parte a que cualquier modificación efectuada requería la modificación **manual** del prototipo en su totalidad, careciendo de módulos de generación de las distintas etapas a partir de las anteriores (netlist...).

Las nuevas herramientas de diseño electrónico aparecidas en el mercado, como pueden ser P-cad, Orcad, Microsim, etc., aportan serias ventajas, entre las que destacan:

- Implementan de manera muy intuitiva y funcional las bibliotecas de símbolos o librerías, que debido a las características de este tipo de representaciones, acapara una parte bastante importante de su realización.

- Módulos que descargan de gran parte de ciertas tareas repetitivas, como el autorutado, posicionamiento automático de componentes, etc.
- Interconexión entre los diferentes módulos de la herramienta mediante la generación de netlists (listados de redes).
- Mediante el uso de este tipo de herramientas se consigue no solo una mera transmisión al alumno del conocimiento de este tipo de representaciones, sino un acercamiento a la forma de trabajo real de las empresas del sector.

### **2.3. Normalización**

Como contrapartida encontramos el inconveniente de que estas valiosas herramientas no contemplan prácticamente en ningún aspecto la normalización de la representación, tanto en simbología como en recuadro de formatos, cajetines etc., que unido al carácter de no obligado cumplimiento de las Normas UNE en materia de representación gráfica puede derivar en una formación de profesionales que desconozcan totalmente su empleo, con las desastrosas consecuencias que esto conllevaría.

Es por ello que desde el ámbito universitario extrememos la importancia de este aspecto aún cuando nos veamos obligados a una continua adaptación de estas herramientas a las normas UNE vigentes, inculcándolas de esta forma en el futuro profesional. Ello es posible con la creación de bibliotecas personalizadas en lugar de usar las suministradas por el fabricante, que aunque signifique un mayor trabajo en un principio éste es recompensado con un mayor control del producto final.

## **3. CONCLUSIONES**

Con esta ponencia se pretende entonces exponer el giro que desde éste área de conocimiento estamos planteando en los estudios citados con motivo de los nuevos planes de estudio y de la aparición de las nuevas TIC, incidiendo especialmente en su aspecto de mayor carencia: la normalización. En cuanto a la herramienta utilizada, nos hemos inclinado por el P-cad 2002 al estar disponible la descarga de una trial completa válida para 30 días en su página web y tratarse de una aplicación profesional bastante extendida en el mercado.

En referencia a la aceptación por parte del alumnado se ha detectado un interés añadido y una mayor motivación en el aprendizaje de la asignatura, al tratarse de una práctica totalmente enfocada en su titulación.

## **4. REFERENCIAS**

- Aenor. Normas UNE sobre Dibujo Técnico.
- Altium Limited. Tutorial P-cad 2003.

- Recasens Bellver-González Calabuig. Paraninfo, 2002. Diseño de circuitos impresos con Orcad Capture y Layout..
- Herniter, Marc E. Prentice Hall, 1999. Schematic Capture with Microsim Pspice.
- Univ. Alcalá de Henares. Diseño de circuito impreso en entorno Orcad IV.
- [www.pcad.com](http://www.pcad.com) , [www.orcad.com](http://www.orcad.com), [www.aenor.es](http://www.aenor.es).



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS MICROCURVAS APOLONIO-SODDY

RODRÍGUEZ GORDILLO, Manuel de la Cruz

Universidad de EXTREMADURA, España  
Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA  
mdlacruz@unex.es

### RESUMEN

En 1936, en la revista Nature, Frederick Soddy publicaba el poema The kiss precise, relacionando los radios de tres circunferencias tangentes entre si, con el radio de una cuarta y quinta tangentes simultaneamente a las tres iniciales. Desde entonces son conocidas como las circunferencias de Soddy. Geométricamente, hablamos de un caso particular del clásico problema de Apolonio, en su variante de tres circunferencias.

Si situamos tres circunferencias, con centros no alineados y de distintos tamaños, en posición inicial de tangencias simultaneas y procediendo a su expansión radial, los centros de las sucesivas circunferencias Soddy, forman curvas características para esta expansión.

La investigación geométrica de este grupo de micro-curvas, es posible gracias a los sistemas CAD, que habilitan precisiones en distancias humbrales, imposibles anteriormente con la resolución Gergonne.

Se presentan gráficos y coordenadas de las huellas del movimiento en entornos bien definidos de dichas micro-curvas. A estas huellas les hemos llamado bandas de Apollonius-Soddy.

**Palabras clave:** Problema de Apollonius, Geometría CAD 2D y Tangencias.

### ABSTRACT

In 1936, in the magazine Nature, Frederick Soddy published The kiss precise poem, relating the radius of three tangent circumferences between if, with the radius of fourth and fifth tangents simultaneously to the three initials. Since then they are known like the circumferences of Soddy. Geometrically, we spoke of a particular case of the classic problem of Apolonio, in its variant of three circumferences.

If we located three circumferences, with not aligned centers and of different sizes, On guard initial of tangencias synchronize and coming to their radial expansion, the centers of the

successive Soddy circumferences, form characteristic curves for this expansion.

The geometric investigation of this micro-curved group, is possible thanks to the systems CAD, that qualify precisions in minimum distances, impossible previously with the Gergonne resolution.

Graphs and coordinates of the tracks of the affluent movement in defined surroundings of micro-curved happiness appear. To these tracks we have called them bands of Apollonius-Soddy

**Key words:** Problem of Apollonius, Geometry CAD 2D, Tangencias.

## 1. Introducción

Los problemas de tangencias entre elementos, un clásico en geometría, han dado lugar a muchos estudios que salpicaron tres milenios, pero desde hace tiempo se consideran agotados, por considerarse todo lo referente ya demostrado exhaustivamente.

Consideramos que disponemos de herramientas, perfeccionadas en la última década, que permiten plantear nuevos retos, mirar con ojos nuevos.

Para realizar este comunicado, hemos dirigido nuestra mirada a un caso de tangencia, la de una circunferencia tangente a tres previas no alineadas, bajo la óptica de los potentes sistemas CAD. Pero permítasenos repasar la historia, a modo de introducción.

El primer geómetra que estudia este caso de tangencia, es el “El gran geómetra”, Apolonio de Pérgamo, 262 al 190 a.C. en su libro sobre tangentes, *peri epaphón*, en el que se piensa, planteaba y resolvía el llamado después problema de Apolonio,. Pero hablamos de un libro perdido en la noche de los tiempos y las primeras ciertas noticias que tenemos sobre intentos de rehacerlo son de Vieta, 1540 a 1630. “*Apollonius Gallus*”, donde además encontramos la primera solución matemática[Boyer 1968]. Hay ocho soluciones totales, la solución simple es obtenida solucionando las tres ecuaciones cuadráticas simultáneas

$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 - (r+r_1)^2 = 0 \quad (1)$$

$$(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 - (r+r_2)^2 = 0 \quad (2)$$

$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 - (r+r_3)^2 = 0 \quad (3)$$

en los tres desconocidos  $x$ ,  $y$ ,  $r$ , para los ocho tríos de muestras [Courant y Robbins 1996].

También tenemos en *Apollonii redivivus* de Ghetaldi 1607 y *Apollonii de Tactionibus*, de Camerer 1795. intentos loables de rehacer *peri epaphón*.

En cuanto a las soluciones geométricas, son considerablemente bellas, la debida a Gergonne, 1816 [02] y la más reciente de Alberto Calderón [01].

Pero estas ocho soluciones simultaneas, se reducen a dos en el caso de que los tres círculos no alineados de inicio del problema, sean situados tangentes entre sí. De estas soluciones y de como hallar estos radios tangentes, trataron René Descartes en 1643 en una carta a la princesa Elizabet de Bohemia, Philip Beecroft 1842, independientemente también llevo a idénticas conclusiones y Frederick Soddy, Nóbel de física, cuyos resultados publico en forma de poema “El beso exacto” en la revista científica Nature 1936, quedando estas soluciones ligadas a su nombre, las circunferencias de Soddy.

Si cuatro circunferencias son tangentes simultaneas, se cumple...

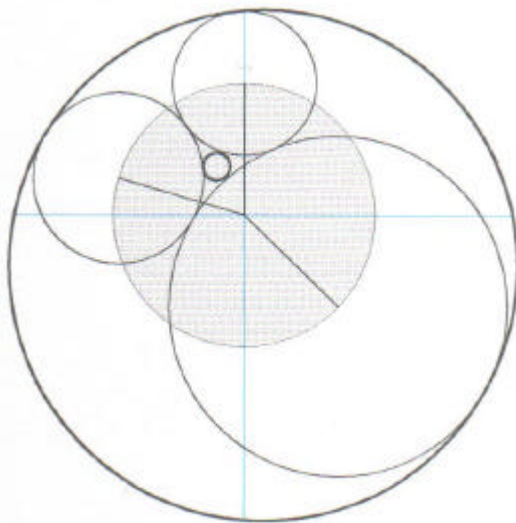
$$Ra^2 + Rb^2 + Rc^2 + Rd^2 = \frac{1}{2}(Ra + Rb + Rc + Rd)^2 \quad (4)$$

Nuestro planteamiento parte de la posición de tangencia que da lugar a las circunferencias de Soddy, para después producir una expansión radial de las tres circunferencias de inicio del problema, no cambian de tamaño, tan solo se expanden en el plano, dando lugar esta expansión al general problema de Apolonio, pero del cual solamente nos interesa el seguimiento de esas dos primeras soluciones.

Es decir, analizar las circunferencias Soddy, al expandirse el planteamiento del problema que las genera.

## 2. Entorno de trabajo

Al estudiar el caso de las circunferencias inscrita y circunscrita a tres circunferencias iniciales tangentes dadas, geométricamente por el método de Gergonne, se hizo evidente que el centro de estas aparentaba un cambio en su posición al expandirse las tres circunferencias iniciales.



*Figura 1. Tres tangentes simultaneas en radio conocido (sombreado) y las dos soluciones “inscrita y circunscrita”*

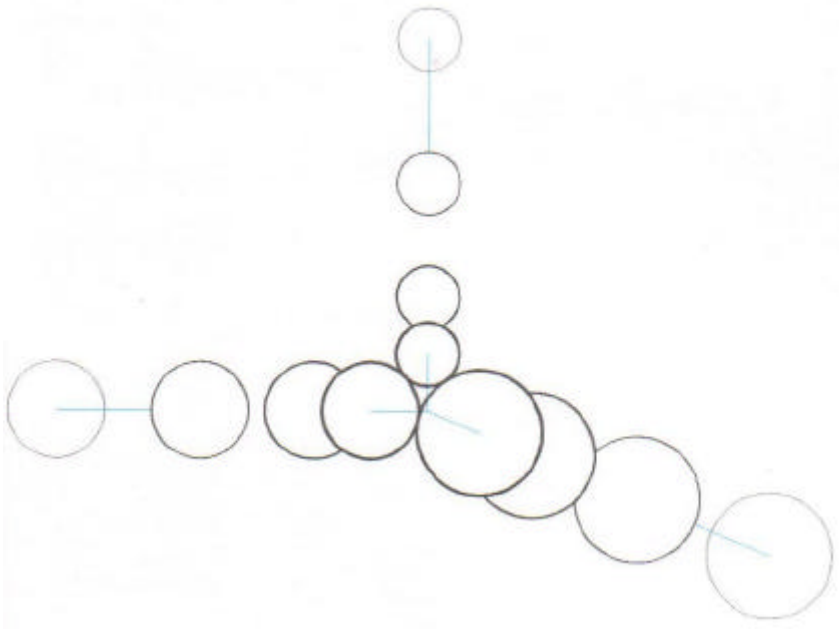
Pero también se deducía que esos cambios eran de proporciones mínimas y muy difíciles de estudiar con los elementos clásicos en geometría. No sucedía esto en los sistemas CAD, que nos permitían expansiones radiales de más de 1000 unidades y poder observar desplazamientos en los centros de micras de unidades.

El entorno de trabajo, se plantea con un centro en un sistema cartesiano de coordenadas en el plano  $(0,0)$  y de donde parten las expansiones radiales, situando círculos concéntricos de diámetros  $1,2,3,4, \dots, 1000$  unidades. En la posición, que se considera inicial [Figura 1], de diámetro la unidad, se sitúan tres circunferencias tangentes entre si y como solución al problema de tangencias sus dos soluciones, la circunferencia que las inscribe y la que las circunscribe “las circunferencias Soddy”.

Las posiciones de los centros, son numeradas con el correspondiente al diámetro generador “un 1”. En la segunda fase las circunferencias iniciales del problema, pasan a ocupar una distancia radial expandida de diámetro dos unidades, notese que pierden la disposición de tangentes entre si, y en esta posición se hallar de nuevo la circunferencia tangente a las tres que las inscribe y la que las circunscribe. En esta posición tendríamos ocho soluciones, pero se desprecian las seis que no existen cuando las tres iniciales son tangentes entre si.

Si transformamos el proceso de expansión desde la unidad al infinito, en un movimiento, los centros de las infinitas circunferencias que cumplen la condición de ser tangentes a estas tres, inscribiéndolas o circunscribiéndolas, determinan sendas curvas, que por su generación y tamaño llamamos micro curvas Apolonio-Soddy.





*Figura 2. Expansión radial de circunferencias iniciales o generadoras.*

### 3. Micro curvas Apolonio-Soddy

Hay que determinar las posibles posiciones iniciales, para que la curva resultante tengan unos parámetros clasificables.

#### 3.1 Primera reflexión

Si las circunferencias iniciadoras del problema, tienen el mismo tamaño, no hallaremos curva en su expansión, sino un punto único.

Si las circunferencias iniciadoras del problema, tienen dos el mismo tamaño y la tercera desigual, la curva analizada es una recta.

Solo en el caso de tres circunferencias iniciales de diferentes tamaños, obtendremos curvas. [Figura 3]

### 3.2 Segunda reflexión [Figura 3]

Si llamamos a las tres circunferencias iniciales A, B y C, y las distribuimos sobre el círculo unidad, siendo a su vez tangentes entre sí, observamos:

La circunferencia A, permanece quieta en el cero angular y es la más pequeña de las tres.

La circunferencia B, se desplaza en el intervalo angular desde 270 a 360, sin llegar a tomar ninguna de estas dos cantidades extremas y es la mediana en tamaño.

La circunferencia C, se desplaza en un intervalo angular, condicionado por la posición angular de B, entre  $0 + \text{ángulo C}$  y  $180 - \text{ángulo C} / 2$ , sin llegar a tomar ninguna de estas dos cantidades extrema, pues produce dos circunferencias de igual tamaño y es la mayor de tamaño de las tres consideradas.

Los cambios en la situación inicial, fuera de las posiciones angulares descritas no aportan sino soluciones iguales en simetría o giradas un determinado grado.

### 3.3 Tercera reflexión [Figura 4]

Dentro de los entornos anteriormente descritos, se encuentran casos en los que no existe la solución a la circunferencia tangente que circunscribe a las tres generadoras A, B y C, por ser estas tres tangentes simultáneas a una recta o encontrarse una concavidad producida por su desigualdad de tamaño. “recorrido no válido [Figura 3]”

### 3.4 Cuarta reflexión

Como consecuencia de las tres reflexiones anteriores, la característica de cada curva esta directamente unida a la posición de la circunferencia B.[Figura 3]

Tabla 1. Datos numericos de intervalos generadores

DISPOSICIÓN EN GRADOS			DISTANCIAS "TRIANGULO SODDY"			RADIOS			OBSERVACIONES
A	B	C	AB	BC	CA	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
0	292,50	87,50							CURVA = RECTA
0	292,50	80,00	0,55557	0,96005	0,64279	0,11916	0,43642	0,52364	SOLO 1 CENTRO
0	292,50	85,00	0,55557	0,97134	0,67559	0,12991	0,42566	0,54568	
0	292,50	90,00	0,55557	0,98079	0,70711	0,14095	0,41463	0,56617	
0	292,50	95,00	0,55557	0,98836	0,73728	0,15225	0,40333	0,58504	
0	292,50	96,00	0,55557	0,98965	0,74314	0,15453	0,40104	0,58861	
0	292,50	112,00	0,55557	0,99999	0,82904	0,19231	0,36326	0,63673	
0	292,50	128,00	0,55557	0,99087	0,89879	0,23175	0,32383	0,66705	
0	292,50	140,00	0,55557	0,97134	0,93969	0,26196	0,29361	0,67773	
0	292,50	146,25	0,55557	0,95694	0,95694	0,27779	0,27779	0,67916	CURVA = RECTA

Tabla 2. Datos numericos de intervalos generadores

DISPOSICIÓN EN GRADOS			DISTANCIAS "TRIANGULO SODDY"			RADIOS			OBSERVACIONES
A	B	C	AB	BC	CA	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
0	315,00	87,50							CURVA = RECTA
0	315,00	80,00	0,55557	0,96005	0,64279	0,11916	0,43642	0,52364	SOLO 1 CENTRO
0	315,00	85,00	0,55557	0,97134	0,67559	0,12991	0,42566	0,54568	
0	315,00	90,00	0,55557	0,98079	0,70711	0,14095	0,41463	0,56617	
0	315,00	95,00	0,55557	0,98836	0,73728	0,15225	0,40333	0,58504	
0	315,00	96,00	0,55557	0,98965	0,74314	0,15453	0,40104	0,58861	
0	315,00	112,00	0,55557	0,99999	0,82904	0,19231	0,36326	0,63673	
0	315,00	128,00	0,55557	0,99087	0,89879	0,23175	0,32383	0,66705	
0	315,00	140,00	0,55557	0,97134	0,93969	0,26196	0,29361	0,67773	
0	315,00	146,25	0,55557	0,95694	0,95694	0,27779	0,27779	0,67916	CURVA = RECTA

Tabla 3. Datos numericos de intervalos generales

DISPOSICIÓN EN GRADOS			DISTANCIAS "TRIANGULO SODDY"			RADIOS			OBSERVACIONES
A	B	C	AB	BC	CA	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
0	338,50	22,50							CURVA = RECTA
0	338,50	131,10	0,19509	0,97338	0,90996	0,06584	0,12926	0,84413	SOLO 1 CENTRO
0	338,50	135,00	0,19509	0,98079	0,92398	0,06914	0,12595	0,85484	
0	338,50	141,00	0,19509	0,98965	0,94264	0,07404	0,12105	0,86860	
0	338,50	151,00	0,19509	0,99839	0,96815	0,08243	0,11267	0,88573	
0	338,50	161,00	0,19509	0,99953	0,98629	0,09093	0,10417	0,89537	
0	338,50	169,75	0,19509	0,99518	0,99518	0,09755	0,09755	0,89764	CURVA = RECTA

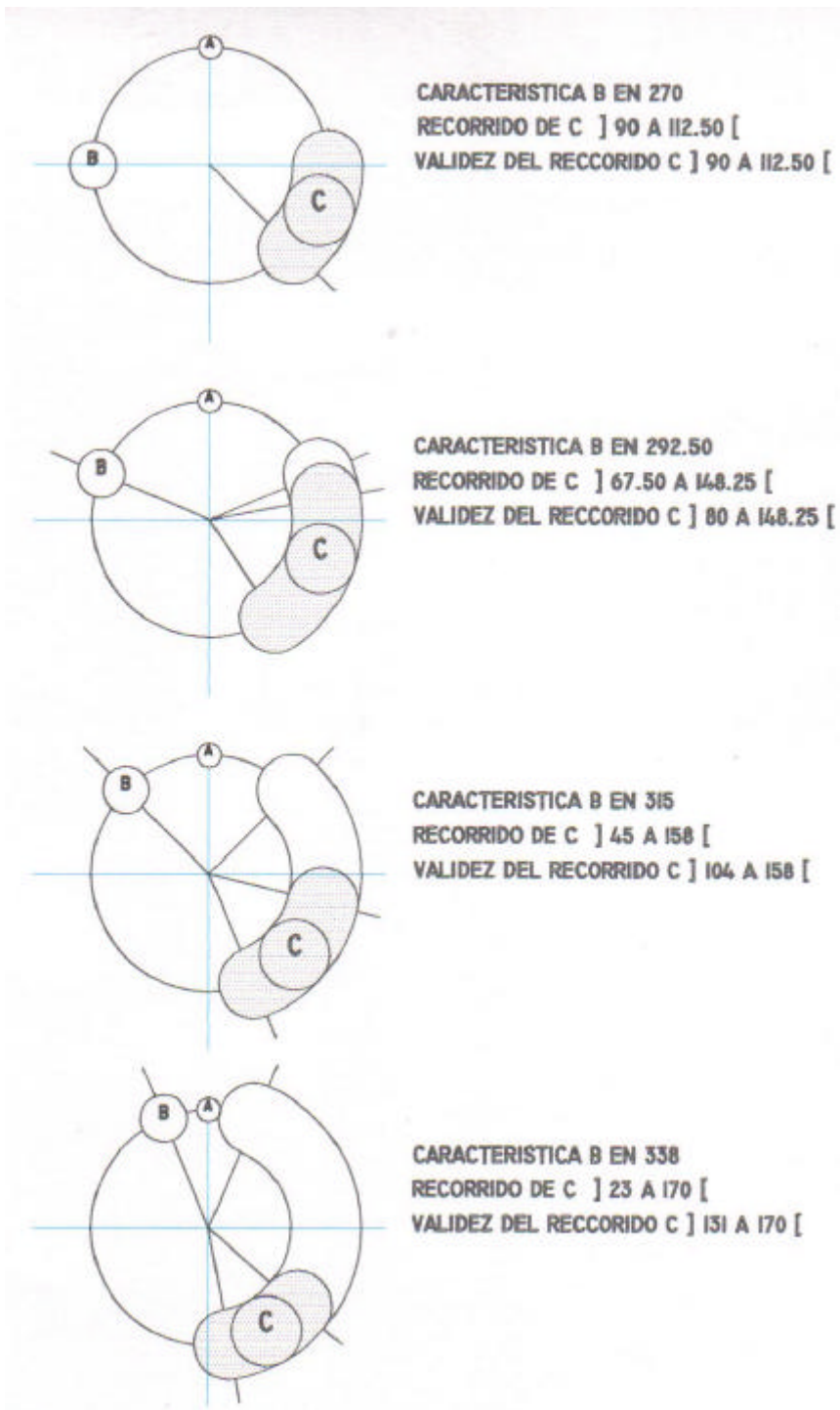


Figura 3. Intervalos generadores de Micro curvas Apolonio-Soddy.

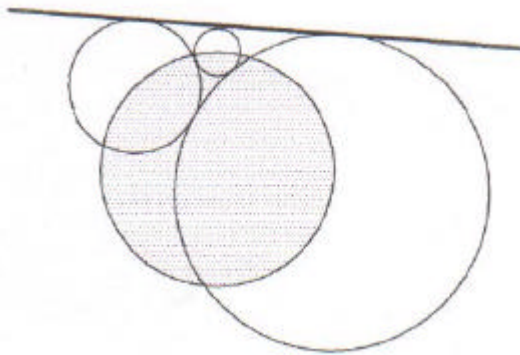


Figura 4. Posición inicial, que no genera la circunferencia tangente que circunscribe.

**4. Función de la micro curva Apolonio-Soddy de posición característica**  
 **$A=0^\circ$ ,  $B=123^\circ$  y  $C=156.23^\circ$**

Se adjuntan, las coordenadas para las distancias de expansión, con diámetro igual a 1, 2, 3, 4, 9, 27 y 81. Así como su gráfica.

Nos situamos en su forma canónica, el centro de expansión es el (0,0) y hay que anotar, que si bien las gráficas parecen iguales, no guardan simetría. Esto se detecta mejor en otras posiciones características.

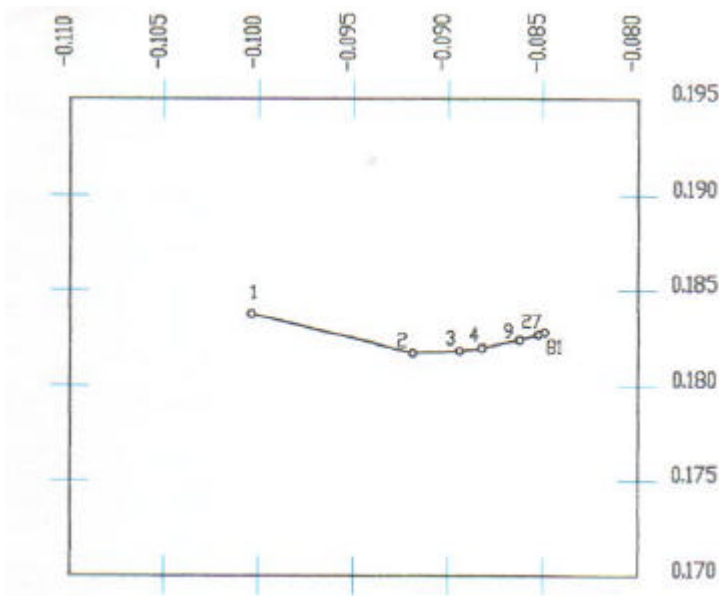


Figura 5. Micro curva de Apolonio-Soddy “inscrita”  
 de características 0.1062616.3140194

Tabla 4. Coordenadas funcion [figura 5]

$\Phi$ DE EXPANSIÓN	X	Y	OBSERVACIONES
1	-0,1004	0,1837	POSICIÓN SODDY
2	-0,0919	0,1817	
3	-0,0894	0,1818	
4	-0,0882	0,1820	
9	-0,0863	0,1824	
27	-0,0853	0,1827	
81	-0,0849	0,1828	

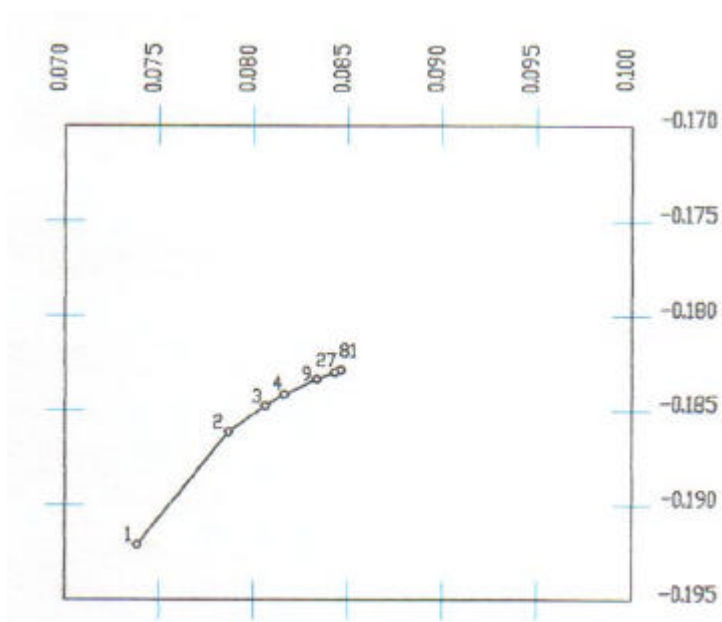


Figura 6. Micro curva de Apolonio-Soddy “circunscrita” de características 0.1062616.3140194



Tabla 5. Coordenadas funcion [figura6]

$\Phi$ DE EXPANSIÓN	X	Y	OBSERVACIONES
1	0,0739	-0,1921	POSICIÓN SODDY
2	0,0787	-0,1861	
3	0,0806	-0,1848	
4	0,0816	-0,1842	
9	0,0833	-0,1834	
27	0,0843	-0,1830	
81	0,0846	-0,1829	

## 5. Banda de Apolonio-Soddy

Si fijamos la posición de la circunferencia iniciadora B y desplazamos la circunferencia C, por todo su recorrido util [Figura 3] “generador de curvas Apolonio-Soddy” obtenemos una huella característica para ese grupo de curvas de posición C fija.

Se adjunta la gráfica y coordenadas de la banda característica 270. “ se han incluido los extremos del intervalo util ] 90 a 135 [ que no generan curvas sino rectas con direcciones opuestas y que dan idea de la geometría de las sucesivas curvas a lo largo de la banda y de su cambio de signo.

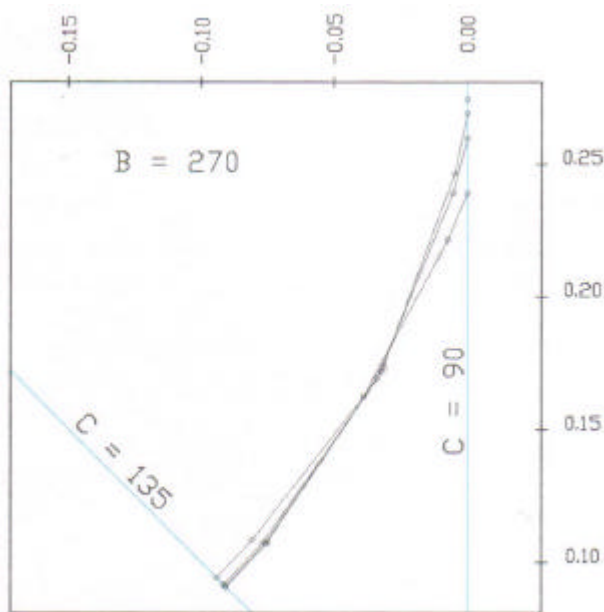


Figura 7. Banda de la micro curva de Apolonio-Soddy “inscrita” de características 270.

Tabla 6. Coordenadas de algunas curvas de la banda [figura7]

CARACTERISTICA	*	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.270000.090000	1	0,00000	0,23879	0,00000	0,25971	0,00000	0,26897	0,00000	0,27418
	2	0,00000	-0,49999	0,00000	-0,35355	0,00000	-0,32842	0,00000	-0,31802
0.270000.095000	1	-0,00712	0,22150	-0,00526	0,23879	-0,00467	0,24830		
	2	0,00126	-0,40824	0,10205	-0,31095	0,00250	-0,29247		
0.270000.1125000	1	-0,03890	0,16262	-0,03379	0,16911	-0,03218	0,17181	-0,03140	0,17337
	2	0,02249	-0,21333	0,02519	-0,19209	0,02639	-0,18688	0,02706	-0,18460
0.270000.130000	1	-0,08069	0,10849	-0,07695	0,10742	-0,07585	0,10726	-0,07531	0,10721
	2	0,06866	-0,10842	0,07104	-0,10753	0,07192	-0,10735	0,07237	-0,10728
0.270000.135000	1	-0,09427	0,09427	-0,09170	0,09170	-0,09101	0,09101	-0,09068	0,09068
	2	0,08713	-0,08713	0,08831	-0,08831	0,08876	-0,08876	0,08900	-0,08900



En la gráfica de la figura 7, se representa la circunferencia "inscrita" 1

## 5. Conclusión.

El estudio, tanto de las curvas como de las bandas asociadas, se encuentra aún en una fase preliminar, donde más bien hemos tratado de delimitar su geometría en el plano. No obstante apreciamos un extenso campo geométrico donde investigar, el estudio analítico de las funciones, características y más curvas asociadas al problema general. Incluso en una tercera fase posterior al conocimiento de sus propiedades, algunas aplicaciones técnicas y estudio 3D.

No nos desalentamos al estar en este estadio inicial, porque si tenemos una gran conclusión que madurábamos desde hace largo tiempo, y se trata de la confirmación en la utilidad del software CAD hacia el campo de la investigación geométrica y tal como se anunciara hace pocos años con el software de geometría dinámica "CABRI" de Texas Instrumens, un renacer de la investigación geométrica gráfica, con una óptica distinta a todo lo anterior que nos permitira entrever, nuevos puntos y rectas característicos, que siempre estuvieron ahí.



## 6. Bibliografía

[01][http://torina.fe.uni-lj.si/\\$zlobec/mywork/colomia-seminar.pdf](http://torina.fe.uni-lj.si/$zlobec/mywork/colomia-seminar.pdf)

[02]<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/mathematicians/Gergonne.html>

Boyer,C.B. Una historia de las matemáticas. Nueva York 1968, pag 159

Corant y Robbins Problema de Apolonio. Prensa Universidad de Oxford 1996

Hoscheck J., Lasser D., *Fundamentals of Computer Aided Geometric Design*, A K Peters, Wellesley Massachussets, 1989.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ENSEÑANZA DE LA VISUALIZACIÓN DE PIEZAS COMO RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

GARMENDIA MUJICA, Mikel (1); GISASOLA ARANZABAL, Jenaro (2);  
GOROZIKA BIDAURAZAGA, Jokin (3)

<sup>(1)</sup>Universidad del PAÍS VASCO, España

Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián, Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA  
Correo electrónico: eppgamum@sp.ehu.es

<sup>(2)</sup>Universidad del PAÍS VASCO, España

Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián, Departamento de FÍSICA APLICADA  
Correo electrónico: wupguarj@sp.ehu.es

<sup>(3)</sup>Universidad del PAÍS VASCO, España

E.T.S de Ingenieros Industriales y de Ingenieros de Telecomunicación, Departamento de EXPRESIÓN GRÁFICA  
Correo electrónico: eppgobij@bi.ehu.es

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es presentar una metodología de enseñanza de la visualización de piezas. Para ello, se propone un modelo de resolución de problemas de visualización, desarrollado tras una revisión bibliográfica, y el análisis del proceso de razonamiento seguido por un grupo de profesores al visualizar objetos. Se ha desarrollado y experimentado un modelo de enseñanza de orientación constructivista. Los resultados obtenidos al contrastar grupos experimentales y de control de alumnos de primer curso de titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial en la asignatura de Expresión Gráfica muestran mejoras en el aprendizaje.

**Palabras clave:** visualización, constructivismo, resolución de problemas.

### ABSTRACT

The aim of this presentation is to show a teaching strategies for visualization of objects. As a result of a deep analysis of abilities and methods used by teachers in the process of visualization objects, we propose a model for visualization problem solving . The approach is related to constructivist teaching strategies. We have developed and experimented this approach at first level of degree of Industrial Tecnical Ingeniering and the results obtained show that the experimental students have more and better learning than students of the control groups.

**Key words:** visualization, constructivism, problem solving.

## 1. Introducción

La visualización de piezas es relevante en los estudios de ingeniería. Decía FRENCH (1958), que “todo estudiante de ingeniería debe saber cómo se hacen y cómo se leen o interpretan los dibujos. El ingeniero debe capacitarse para leer y escribir el lenguaje del dibujo. La necesidad de aprender a leer es absoluta, porque toda persona relacionada con la industria técnica debe ser capaz de leer, o sea interpretar, un dibujo sin titubeos. El carecer de esta habilidad sería una muestra de analfabetismo técnico.”

La importancia de la visualización es indiscutible, y no sólo en la práctica profesional, sino también, en la docencia de la asignatura de Expresión Gráfica, ya que si un alumno no es capaz de visualizar, difícilmente va a poder seguir o comprender el resto de contenidos de la asignatura.

Sin embargo, se observan dificultades de aprendizaje entre los alumnos que cursan el primer curso de las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial. Se da la circunstancia de que incluso alumnos que demuestran poseer una gran capacidad intelectual en otras asignaturas presentan problemas en la resolución de problemas de visualización de piezas y llegan a suspender esta materia.

El índice de fracaso es elevado, y en consecuencia existe una preocupación entre el profesorado por los resultados obtenidos con la enseñanza impartida y por cuestiones como:

¿Cuáles son las principales dificultades a la hora de comprender los conceptos y procedimientos implicados en visualización? ¿Cómo sabemos que un alumno ha aprendido los conocimientos necesarios para visualizar? ¿Cuáles son esos conocimientos? ¿Cómo se enseña habitualmente a visualizar? ¿Es posible diseñar una enseñanza coherente con los resultados de la investigación didáctica que proporcione una mejora significativa en el aprendizaje? ¿Cuáles son esos aspectos mejorables?

En el área de Expresión Gráfica existe un vacío en la formación y entrenamiento en los procedimientos de visualización, y es difícil encontrar trabajos de investigación dedicados a esta problemática didáctica. Esta comunicación pretende realizar una primera aproximación a este tema, cuestionando el pensamiento docente, y tratando de encontrar una respuesta a estos interrogantes. En primer lugar, contextualizaremos el problema, mostrando cuál es el punto de partida en el aprendizaje de los estudiantes, para concretar después el punto final al que pretendemos llegar, y proponer por último cambios en el proceso educativo para conseguir esa transición.

## 2. ¿Cuál es el estado inicial de los estudiantes?

Las dificultades de aprendizaje propias de la visualización se ven incrementadas debido al contexto docente en el que se enmarca su enseñanza. Siendo optativa la materia de dibujo en enseñanzas medias en la CAPV, en la Escuela Politécnica de Donostia-San Sebastián, en las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial, nos

encontramos hasta con un 60% de alumnos matriculados que comienzan la asignatura sin conocimiento previo alguno de dibujo, disponiendo únicamente de 6 créditos concentrados en un cuatrimestre para el aprendizaje de la asignatura.

Además, los alumnos que parten con conocimientos previos tampoco destacan por su capacidad de visualización, y presentan a menudo deficiencias importantes que arrastran de enseñanzas medias. Así, algunos alumnos nos comentan que han dedicado gran parte del tiempo de enseñanza a la resolución de problemas en el plano correspondientes al bloque temático “Diédrico”, y que no han trabajado suficientemente la visualización de piezas en el Dibujo Técnico. Se afirma que no existe una metodología de resolución de los problemas de visualización para todos los casos, y se llegan a proponer métodos como el de Eckhart para visualizar piezas, cuando dicho método fue propuesto inicialmente con un propósito dirigido al trazado-delineado de la perspectiva, al margen de cualquier planteamiento analítico formal o espacial.

En la medida en que la enseñanza que han recibido se plantea proponiendo problemas de visualización, para mostrar a continuación la solución a dicho problema, sin explicar cómo se resuelve y qué razonamientos se hacen durante el proceso de deducción, los alumnos recurren a la estrategia de ensayo-error hasta que consiguen, o no, resolver el problema. Lo curioso es que a veces llegan a la solución correcta final, después de haber cometido numerosos errores y presentar deficiencias graves como corresponder incorrectamente las proyecciones de los planos al pasar de una vista a otra (por ejemplo, que se afirme que la proyección de un plano pueda dar lugar a un triángulo en el alzado, y a un cuadrado en la planta).

Algunos alumnos presentan además dificultades para visualizar en el espacio planos oblicuos a los planos de proyección, y hay quienes afirman haber visualizado mentalmente la pieza correspondiente a un enunciado, pero no son capaces de trazarlo correctamente en la perspectiva.

En resumen, se detectan graves deficiencias y dificultades, tanto conceptuales, como procedimentales en la resolución de los problemas de visualización.

En consecuencia, el índice de fracaso es alto, siendo cercano al 50% el porcentaje de alumnos matriculados que no se presenta al examen de la asignatura, y al 20% el de aprobados sobre matriculados (llegando incluso al 8% en una ocasión).

### **3. ¿Cuál es el estado final de aprendizaje que queremos lograr?**

Ante esta problemática nos planteamos hace varios años determinar cuáles son las dificultades de aprendizaje en visualización, tanto conceptuales como procedimentales, y concretar cuáles son los contenidos necesarios para visualizar.

Creemos que esta dificultad podría estar centrada en los procedimientos de visualización, más que en los conceptos o la teoría que la sustentan. El alumno afirma comprender la teoría, pero tropieza con dificultades procedimentales y de razonamiento en la resolución del problema planteado.

Tratando de responder a estos interrogantes, se ha recurrido a dos fuentes de información: los libros de texto de Expresión Gráfica, mediante una revisión bibliográfica; y una muestra de profesores, a los que se ha pedido que resuelvan varios problemas de visualización, explicando qué formas de razonamiento hacen durante el proceso de deducción. Asimismo, se ha consultado la bibliografía existente en investigación didáctica sobre resolución de problemas.

Esta investigación sostiene que cuando se razona intervienen diferentes aspectos del conocimiento que están interrelacionados: se utilizan destrezas y habilidades generales, que al aplicarlas a conceptos de una materia, dan lugar a formas de razonamiento propias de esa materia. La investigación didáctica defiende que, además de los conocimientos teóricos o conceptuales, existen otros contenidos, como los procedimentales, que hay que tener en cuenta en la enseñanza.

Esta investigación propone un modelo de resolución de problemas, cuyas características principales consisten en: trabajar con los estudiantes un análisis cualitativo del enunciado en profundidad, emitir hipótesis coherentes con ese análisis, valorar distintos métodos y estrategias de resolución para elegir el más conveniente, resolver el problema, y analizar el resultado.

Nuestra propuesta ha consistido en adaptar este modelo al caso de la visualización, integrando en esta estructura de resolución, los conceptos, procedimientos y formas de razonamiento propios de la visualización, que hemos recogido a partir de la revisión bibliográfica y de las aportaciones de los profesores.

Así, esta relación entre conceptos y procedimientos quedaría definida para la visualización, mediante los siguientes indicadores de comprensión:

Por un lado, el alumno debe conocer los fundamentos teóricos de la visualización. Es decir, los sistemas de representación, la clasificación y características de los tipos de plano, los diferentes métodos y estrategias de resolución y su conveniencia de uso según las características de una pieza, y la homografía de correspondencia entre proyecciones.

Y por otro, deberá aplicar conocimientos procedimentales, como realizar un análisis cualitativo del enunciado en profundidad, emitir hipótesis coherentes con ese análisis, resolver el problema siguiendo una adecuada estrategia de trazado, y analizar los resultados que se van obteniendo.

#### **4. ¿Qué procesos educativos debemos cambiar para hacer la transición del estado inicial al final?**

La primera reacción que tenemos los docentes al encontrarnos con alumnos que presentan dificultades de visualización es pensar que se trata de una falta de entrenamiento en la resolución de estos problemas, es decir, que tal vez esos alumnos no han resuelto un número mínimo de problemas que les haya permitido asimilar ese “saber hacer”. Así, en muchos casos se recomienda al alumno que resuelva más problemas por su cuenta. El resultado es que en general el alumno sigue sin conseguir

resolverlos, y acaba por desmotivarse, optando en ocasiones por abandonar la asignatura.

Nos planteamos por ello la posibilidad de que el tratamiento a este problema pudiera no consistir simplemente en realizar más problemas, sino en desarrollar un modelo de enseñanza que trate esas dificultades de aprendizaje, trabajando con el alumno el proceso de resolución de los problemas de visualización.

Creemos que para que el aprendizaje en cualquier materia, y especialmente en aquellas en las que intervienen conocimientos procedimentales sea significativo, es necesario llevar a cabo estas actividades en un marco de enseñanza de orientación constructivista.

Comentamos a continuación los distintos aspectos del mismo que hemos tratado de integrar en nuestra asignatura, y que se han desarrollado con mayor profundidad en la unidad didáctica de visualización: papel del alumno, del profesor, sistema de evaluación, programa de la asignatura, y dinámica en el aula.

En este marco quien aprende construye activamente sus conocimientos, es decir, se tiene en cuenta que no se aprende reproduciendo simplemente lo que se lee o lo que se enseña. En este sentido, hay una primera tesis ampliamente asumida en el marco constructivista que se refiere a la imposibilidad de “trasvasar” ideas o pensamientos a los alumnos. Más concretamente se cita que: “el conocimiento no puede ser recibido pasivamente sino que tiene que ser construido en forma activa por el sujeto cognitivo”. Es por eso por lo que, desde esta perspectiva, se considera que debe ser el alumno el protagonista, el constructor de su propio saber, y el responsable último de su aprendizaje.

En esta construcción el profesor puede y debe guiar el aprendizaje, pero no puede transmitir los conocimientos. El papel del profesor es el de investigador en el aula, que estudia y diagnostica los problemas de aprendizaje y al mismo tiempo trata de solucionarlos. En este modelo de enseñanza el profesor sigue dirigiendo la clase, pero abandonando el papel de transmisor continuo de información para adoptar el de facilitador-orientador del proceso de aprendizaje. El docente juega un papel flexible, y debe estar dispuesto a modificar las actividades previstas si fuese necesario.

Esta perspectiva afecta también al currículum, el cual se concibe no como un conjunto de conocimientos y habilidades a exponer en el aula, sino como el programa de actividades a través de los cuales dichos conocimientos y habilidades pueden ser adquiridos por el estudiante. En nuestro caso hemos tratado de integrar contenidos teóricos y procedimentales en un único proceso de construcción mediante la resolución de problemas.

La programación se percibe también de manera flexible, de manera que se tratará de adaptarla a las necesidades del grupo en función de cómo se esté desarrollando el aprendizaje y del grado de asimilación de los contenidos que se imparten.

Para ello, se ha seguido un sistema de evaluación procesual, en el que no se pretende seguir una evaluación sancionadora, sino concebir la evaluación como una

manera de que el profesor conozca las deficiencias de sus alumnos y pueda diseñar las ayudas precisas para que puedan seguir avanzando en el proceso de construcción. Al mismo tiempo, las situaciones de evaluación deben ayudar a los estudiantes en el conocimiento y regulación de sus propios avances, permitiéndoles percibir su propio avance y sus deficiencias. Se trata por tanto de un proceso de retroalimentación continuo tanto para el profesor, para que modifique y readapte las actividades de enseñanza programadas, como para el alumno, que deberá esforzarse más en aquellos aspectos en los que se han detectado deficiencias.

Se han llevado a cabo distintas situaciones de evaluación a lo largo del curso: por un lado, los alumnos resuelven problemas en clase individual y colectivamente. Esto permite al profesor tener una idea global de la marcha general del grupo, y readaptar en consecuencia las actividades de enseñanza. Además, se han evaluado trabajos semanales que el alumno realiza individualmente en casa, para encontrar las deficiencias de cada uno de ellos, y aconsejar distintos refuerzos personalmente.

En la dinámica del aula se presta importancia a las interacciones y se promueve la cooperación, tanto entre alumnos como con el profesor, tratando de favorecer un clima de diálogo.

Siendo ese el planteamiento general de enseñanza, ¿cómo se ha aplicado para el caso concreto de la visualización de piezas?

## **5. Enseñar y aprender visualización como resolución de problemas**

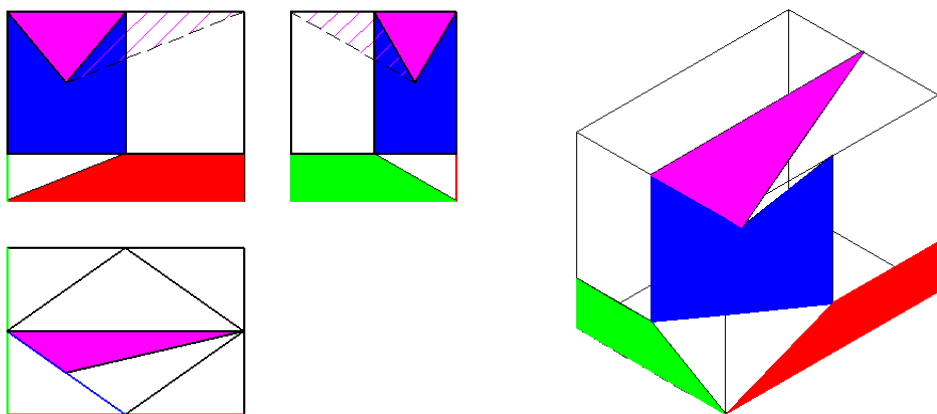
Como se ha comentado anteriormente, se ha elaborado un modelo de resolución de los problemas de visualización, en el que se incluyen los contenidos conceptuales y procedimentales necesarios para visualizar. Mostraremos a continuación, brevemente, un resumen de dicho modelo:

Se recomienda realizar un análisis cualitativo en profundidad de las vistas diédricas de un enunciado de visualización, antes de proceder al trazado del mismo, considerando todas las variables.

Análisis del volumen, determinando el volumen total ocupado por la pieza, o aproximadamente, inscribiéndola en un prisma envolvente, y considerando la posibilidad de realizar un análisis de sólidos de la piezas, si ésta puede considerarse como compuesta por volúmenes o formas geométricas elementales diferenciadas, pudiendo ser disgregada para un análisis independiente de cada una de sus partes, caso que se da generalmente en piezas de tipo industrial.

Análisis de las superficies, prestando atención a variables como la forma de las proyecciones, la configuración de las aristas (paralelismos), visibilidad, etc, para identificar los tipos de plano presentes en la pieza. En este sentido, una de las estrategias de análisis consiste en buscar en el enunciado formas de proyecciones que se repiten de una vista a otra, como una manera de encontrar planos oblicuos, o perpendiculares a un plano de proyección. La estrategia contraria consistiría en buscar

formas de proyecciones que sólo aparecen una vez en el enunciado, lo cual permite detectar rápidamente planos paralelos a un plano de proyección (Figura 1).



*Figura 1: Análisis de superficies mediante reconocimiento de formas similares.*

Análisis de vértices, especialmente los definidos unívocamente y aquellos en los que convergen líneas inclinadas correspondientes a planos oblicuos, ya que la correcta traslación de las coordenadas de estos puntos a la perspectiva es fundamental para su trazado.

A partir del análisis cualitativo se pueden emitir hipótesis que permitan focalizar y orientar la resolución del problema, valorando posibles estrategias de resolución.

Se trata de elegir de entre los métodos de resolución existentes aquél que se considere más idóneo dadas las características del enunciado.

En la revisión bibliográfica algunos autores proponen el método de eliminación de volúmenes (a partir del prisma envolvente de la pieza), y la composición de sólidos (consideración de la pieza como una combinación de sólidos primitivos). En algunos casos se propone también el método de Eckhart, aunque se ideó con un propósito dirigido al trazado-delineado de la perspectiva, y no como un método de deducción o análisis del enunciado.

El método de composición de sólidos es viable en algunos tipos de piezas industriales, y viene a seguir una estrategia de descomposición del problema en subproblemas. Para el análisis de cada uno de los sólidos, o cuando una pieza presenta planos oblicuos, el método del análisis de superficies o de correspondencia de proyecciones entre vistas resulta generalmente mas útil.

Para la delineación de la perspectiva se debe valorar la conveniencia de utilizar elementos de ayuda y referencia, como el prisma envolvente, la utilización de puntos de referencia, recurrir a métodos aproximados de trazado de circunferencias, o seguir una adecuada secuencia de trazado, por ejemplo, dibujando primero los planos



paralelos a los planos de proyección, seguidos de los perpendiculares, y dejando para el final, los oblicuos.

Por último, es conveniente realizar un análisis del resultado, comprobando su coherencia con el enunciado. Algunos autores recomiendan la rotulación de superficies y vértices como forma de comprobar la exactitud de la solución.

## **Desarrollo en el aula de la unidad didáctica de visualización**

Se ha elaborado un programa de actividades para el aprendizaje de la visualización que consta básicamente de cuatro bloques estratégicos: una primera actividad para determinar el nivel de partida de los alumnos, es decir, sus conocimientos previos, y detectar deficiencias que arrastran de enseñanzas medias.

Un segundo bloque, con actividades que van dirigidas a la adquisición de los contenidos conceptuales y procedimentales implicados en la visualización, estando algunas de ellas específicamente diseñadas para trabajar algún indicador de comprensión concreto. El modelo de resolución expuesto anteriormente, se ha introducido aplicándolo a un par de problemas de visualización, a modo de ejemplo práctico.

En función de las deficiencias que vallamos detectando en el transcurso de las actividades, se recurre a otro bloque destinado a la corrección de esas deficiencias, algunas de las cuales se llevan a cabo en el aula, y otras se proponen únicamente a los alumnos que presentan algún tipo de deficiencia.

Los problemas resueltos por los alumnos en su domicilio son corregidos posteriormente para la retroalimentación del proceso de enseñanza-aprendizaje y la propia autorregulación del alumno.

Por último, un bloque de actividades para poner a prueba los conocimientos adquiridos en una diversidad de situaciones problemáticas diferentes.

Nos hemos planteado un estrategia de enseñanza basada en la resolución de problemas, como forma de integrar la teoría, y los procedimientos o habilidades de resolución, en un proceso único de construcción de conocimiento.

En el aula se plantean los distintos ejercicios intentando que el alumno se enfrente a ellos tanto individualmente, como interaccionando con sus compañeros y con el profesor, en un proceso participativo, y en interacción continua.

Se hacen puestas en común sobre distintos aspectos del problema: análisis cualitativo inicial, valoración de los diferentes métodos y estrategias de resolución, explicando detalladamente los razonamientos que vamos haciendo durante el proceso de resolución, y haciendo especial énfasis en el análisis final de errores cometidos y causas de los mismos.

Además, se ha diseñado e integrado en el programa de actividades un sistema multimedia, que los alumnos pueden utilizar tanto en el aula, como en su domicilio.

Básicamente consiste en ofrecer la posibilidad de interactuar con las piezas en formato vrml (Figura 2). Se da el caso de alumnos que presentan dificultades de relación entre la realidad espacial de un objeto, y su representación en el plano. Incluso alumnos que tienen dificultades para comprender la solución de un problema de visualización dado en perspectiva, especialmente, si la pieza tiene planos oblicuos. Al poder interactuar con la pieza, esas dificultades de comprensión disminuyen.

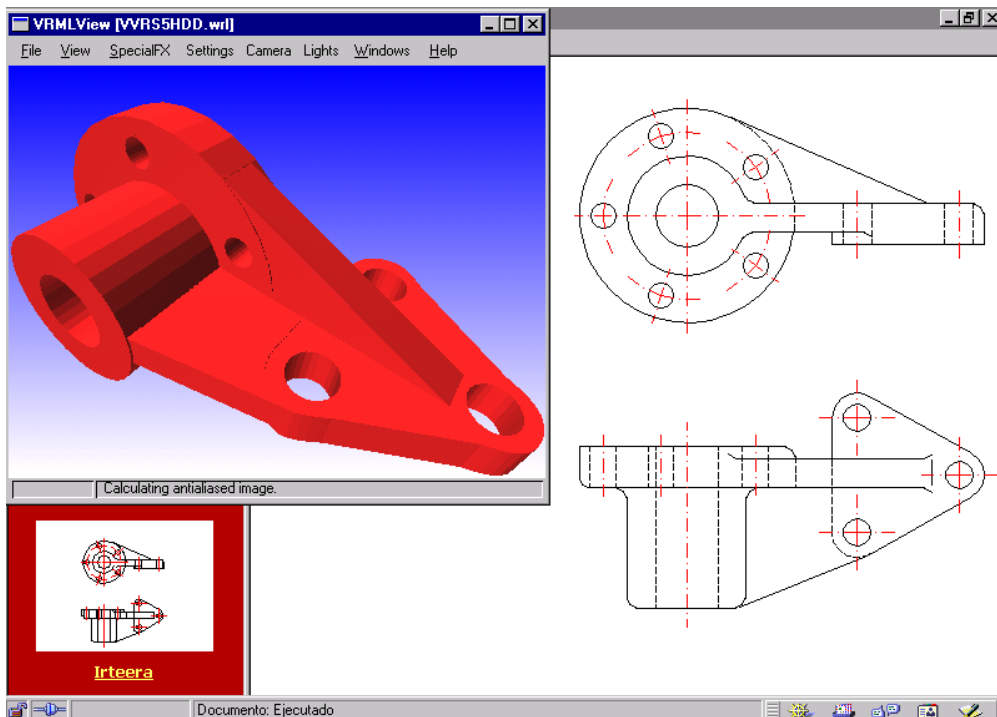


Figura 2: Posibilidad de interacción virtual mediante vrml.

## 6. Algunos resultados

Realizado el planteamiento general de la estrategia de enseñanza seguida, llega el momento de comprobar si los cambios introducidos han conseguido mejorar el rendimiento académico de los estudiantes de manera significativa en contraste con otros grupos en los que se ha seguido el modo tradicional de enseñanza.

Finalizada la docencia de la asignatura y en situación de examen, se ha pasado a los estudiantes un cuestionario de dos problemas de visualización, midiéndose el porcentaje de alumnos que llegaban a la solución correcta final. Al realizar el contraste entre los valores de los grupos de control y experimentales, utilizando el estadígrafo  $\chi^2$ , el nivel de significación es inferior al 1%, por lo que consideramos probado que el tipo de enseñanza utilizado produce mejores resultados que el modo habitual (tabla 1).

Tabla 1: Contraste entre grupos de control y experimentales.

	Grupo experimental (N=146)	Grupo de control (N=98)
Item 1.	45,2 %	18,6 %
Item 2.	52,1 %	20,9 %

Por otra parte se observa una mejora cualitativa en los razonamientos realizados por los alumnos del grupo experimental durante el proceso de resolución de los problemas de visualización, realizando éstos un análisis cualitativo del enunciado en mayor profundidad, utilizando formas de resolver próximas a las empleadas por los profesores, y constatándose una disminución de errores y deficiencias en el proceso de resolución.

## 7. Consideraciones Finales

La experiencia realizada muestra que es posible obtener mejores resultados en la enseñanza de la visualización, cambiando algunos procesos educativos, siguiendo el modelo de enseñanza de orientación constructivista.

En este sentido consideramos fundamental que se trabaje interactivamente con el alumno la resolución de los problemas de visualización, y se tengan en cuenta en su enseñanza tanto los contenidos conceptuales implicados, como los procedimentales.

Aunque la experimentación ha dado lugar a una mejora significativa en los resultados de los grupos experimentales frente a los de control, éstos no deben considerarse como punto final del objetivo de aprendizaje, sino como el comienzo de un proceso de mejora continua.

El modelo de resolución de problemas ha sido desarrollado para la iniciación en visualización. A partir del mismo, nos proponemos ampliarlo y desarrollarlo para piezas industriales, incluyendo en las formas de razonamiento la funcionalidad de los mismos, elementos constructivos y normalizados que aparecen, y consideraciones de diseño y procesos de fabricación que intervienen en la visualización de estas piezas.

## Referencias

FRENCH, T. *Dibujo de Ingeniería*. México, Editorial Uteha, 1958.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### ADAPTACIÓN DE LA DOCENCIA DE MATERIAS GRÁFICAS DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE (ESPAÑA) AL NUEVO CÓMPUTO DE CRÉDITOS ECTS

PÉREZ CARRIÓN, M.T.; SERRANO CARDONA, M.G.; FERREIRO PRIETO, J.I.;  
TOMÁS, R.; PIGEM BOZA, R.E; DÍAZ IVORRA, M.C.

Universidad de Alicante, España  
Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía  
Correo electrónico: maite.perez@ua.es

### RESUMEN

Actualmente la carga docente universitaria se computa a través de créditos teóricos y prácticos. En los años venideros entraremos de lleno en el nuevo Espacio Común Europeo de Educación Superior y nos encontraremos en la obligación de ajustar las enseñanzas al nuevo sistema de créditos ECTS (European Credit Transfer System). La principal característica de estos créditos es que en el nuevo sistema de cómputo incluye, además de las clases teóricas y prácticas, el total de horas de trabajo que realiza el alumno en cada una de las materias.

Este trabajo tiene como objetivo adaptar los contenidos y las tareas que han de realizar los alumnos a este nuevo sistema de medida.

El estudio se centra en la asignatura de Sistemas de Representación del 2º curso de Obras Públicas de la Universidad de Alicante. Se ha realizado una recopilación de datos de profesores y alumnos de la asignatura, mediante cuestionarios objetivos y de opinión, que permiten determinar la carga de trabajo que supone al alumno superar los distintos módulos o temas de la materia.

**Palabras clave:** Docencia, Expresión Gráfica, créditos ECTS, Espacio Común de Educación Superior.

## **1. Introducción**

La Declaración de la Sorbona (1998) constituyó el punto de partida de la construcción del Espacio Europeo de Enseñanza Superior. Un año después, se suscribió la Declaración de Bolonia (1999), cuyo objeto principal es fomentar la movilidad de estudiantes y profesionales en el territorio europeo.

Meneses (2003) afirma al respecto, que los países europeos que se han adherido a la citada Declaración de Bolonia deberán adoptar un sistema de titulaciones comprensible y comparable, basado en dos niveles: el grado y el postgrado (máster y doctorado).

Sin embargo, la repercusión que estos cambios suponen en el plano de las titulaciones, afecta también a otros aspectos más tangibles por los docentes como son los planes de estudio de las titulaciones, sus asignaturas y sus sistemas de créditos en los que se contabiliza la “duración” de las materias, siendo este último aspecto el centro de atención de esta ponencia en lo que a la Expresión Gráfica se refiere.

El trabajo se enmarca dentro del programa de formación e investigación docente en redes del ICE de la Universidad de Alicante, incluido en el grupo de “Proyectos de acción” cuya finalidad es valorar la dificultad y cantidad de trabajo del estudiante para cumplir los objetivos del programa de cada asignatura.

El estudio se ha centrado en la asignatura de Sistemas de Representación del segundo curso de Ingeniería Técnica de Obras Públicas, y con él se pretende obtener la equivalencia en créditos ECTS de los actuales contenidos de la asignatura, así como conocer la dificultad que para los alumnos supone la comprensión de la teoría y la realización de las prácticas. Para ello se ha realizado una recopilación de datos de profesores y alumnos de la asignatura, mediante cuestionarios objetivos y de opinión, que permiten determinar la carga de trabajo y el grado de dificultad que supone al alumno superar los distintos temas de la materia.

## **2. La situación actual**

El Plan de estudios de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas impartido en la Universidad de Alicante es del año 1991. Estos estudios no han llegado a adaptarse al sistema de créditos de 10 horas que planteaba la Ley de Reforma Universitaria ya derogada. La carrera se encuadra dentro del área técnica y se estructura en un solo ciclo con una duración de tres años, de los cuales los dos primeros son comunes y el tercero corresponde a una de las tres especialidades de la titulación: Construcciones Civiles, Transportes y Servicios Urbanos, e Hidrología. Para alcanzar el grado de Ingeniero Técnico de Obras Públicas se deben cursar asignaturas de tipo obligatorio con una carga de 2.760 horas (276 créditos de 10 horas) además de un Trabajo Fin de Carrera.

La Tabla 1 muestra la distribución correspondiente a los créditos necesarios para obtener actualmente el título de Ingeniero Técnico de Obras Públicas en la

Universidad de Alicante, de los cuales 30 (300 horas) corresponden a las asignaturas de Expresión Gráfica.

Tabla 1: Distribución horaria de las asignaturas de Expresión Gráfica en Ingeniería Técnica de Obras Públicas de Universidad de Alicante.

Asignatura	Créditos teóricos.	Créditos prácticos
<b>Dibujo Técnico</b>	3 (30 horas)	12 (120 horas)
	1 hora /semana	4 horas /semana
<b>Sistemas de Representación</b>	6 (60 horas)	9 (90 horas)
	2 horas /semana	3 horas /semana

### 3. El Sistema Europeo de Transferencia de Créditos

El R.D. 1125/2003 establece el Sistema Europeo de Transferencia de Créditos determinando las normas necesarias para que el crédito europeo sea “*la unidad de medida del haber académico correspondiente a la superación de cada una de las materias que integran los planes de estudio de las diversas enseñanzas conducentes a la obtención de títulos de carácter oficial...*”.

El artículo 3º del citado R.D. desarrolla el concepto de crédito europeo, indicando que en esta unidad de medida se integran las enseñanzas teóricas y prácticas, así como otras actividades académicas dirigidas con inclusión de las horas de estudio y de trabajo que el estudiante debe realizar para alcanzar los objetivos formativos. En la asignación de créditos para cada una de las materias se ha de computar el número de horas de trabajo requeridas para la adquisición de los conocimientos, capacidades y destrezas. En esta asignación han de estar comprendidas las horas correspondientes a las clases lectivas, teóricas o prácticas, las horas de estudio, las dedicadas a la realización de seminarios, trabajos, prácticas o proyectos, y las exigidas para la preparación de exámenes y pruebas de evaluación. El número de horas por crédito está entre un mínimo de 25 y un máximo de 30.

Una vez definidos el perfil académico y profesional de unos determinados estudios, la asignación de créditos se hará teniendo en cuenta las competencias (capacidades, conocimientos y destrezas) que se pretende consiga el estudiante al finalizar los estudios. Cada componente del programa de formación, léase asignaturas, y los temas a desarrollar tendrán un peso en créditos proporcional a su importancia en la obtención de las competencias definidas.

#### **4. Planteamiento del trabajo a realizar**

Establecidas, por una parte, la situación actual de las asignaturas de Expresión Gráfica y por otra, la necesidad de utilizar los créditos ECTS como unidad de medida, nos planteamos realizar un estudio detallado que nos permita obtener la equivalencia en créditos ECTS de la asignatura de Sistemas de Representación del segundo curso de Ingeniería Técnicas de Obras Públicas. Al hacer este estudio estamos dando por válidas las competencias que el planteamiento de la asignatura desarrolla, teniendo en cuenta los objetivos y contenidos, metodología y distribución horaria definidos en el programa. Para realizar este trabajo añadiremos el esfuerzo total a las horas presenciales de teoría y práctica, teniendo en cuenta el tiempo que el estudiante dedica para aprobar la asignatura.

Somos conscientes que este planteamiento no es el adecuado, ya que, la asignación de créditos es fruto de un diseño educativo conjunto para toda la titulación, y no se hace por simple traducción de los créditos actualmente impartidos, recortando o ampliando los temas a desarrollar en las clases según los resultados obtenidos. A pesar de ello pensamos que el trabajo a realizar nos servirá de reflexión sobre los contenidos y metodologías empleados, y supondrá un aprendizaje para la implantación de los nuevos créditos.

Para la realización del estudio hemos tenido en cuenta dos unidades temáticas de la asignatura de Sistemas de Representación: Sistema de Planos Acotados e Interpretación de Planos. Estos dos módulos representan aproximadamente el 80% del tiempo de la asignatura en teoría y prácticas. Los resultados que exponemos en este trabajo se corresponden con los obtenidos en el primer cuatrimestre, en el que se imparte el sistema de planos acotados.

Para la obtención de los datos que nos permitirán realizar el análisis se han hecho varias actividades:

- Una valoración cualitativa entre el profesorado, analizando los contenidos y actividades en las que el alumno encuentra mayores dificultades y requieren mayor tiempo de dedicación.
- Una valoración cuantitativa del tiempo empleado por los alumnos en cada una de las prácticas propuestas en clase.
- Un cuestionario en el que se solicita al alumno información sobre: los tiempos dedicados a estudiar la teoría, realización de prácticas en casa, preparación de exámenes, asistencia a tutorías, búsqueda de bibliografía y realización de ejercicios complementarios. Dentro del mismo cuestionario se pregunta al alumno su opinión en cuanto a la dificultad e impresión global de la asignatura.

## 5. Resultados de la encuesta de valoración

Han respondido a la encuesta un total de 68 alumnos. El valor obtenido en cada pregunta es la media de las respuestas obtenidas, eliminando aquellos valores que tienen una gran desviación.

Los resultados han sido los siguientes:

- |   |        |
|---|--------|
| 1. ¿Cuántas horas a la semana dedicas a las prácticas de la asignatura en clase?                            | 2,3 h  |
| 2. ¿Cuántas horas a la semana dedicas a la teoría de la asignatura en casa?                                 | 1,4 h  |
| 3. ¿Cuántas horas a la semana dedicas a las prácticas de la asignatura en casa?                             | 4,8 h  |
| 4. ¿Cuántas horas dedicas a la preparación de la teoría para el examen?                                     | 11,8 h |
| 5. ¿Cuántas horas dedicas a estudiar prácticas para el examen?  | 30,6 h |
| 6. ¿Cuántas horas a la semana dedicas a la asistencia a tutorías?   | 0,3 h  |
| 7. ¿Cuántas horas a la semana dedicas para buscar y consultar bibliografía?                                 | 0,5 h  |
| 8. ¿Cuántas horas a la semana dedicas a realizar o estudiar ejercicios distintos a los propuestos en clase? | 1,0 h. |

De estos resultados es de destacar el elevado número de horas que los alumnos dedican a la realización de prácticas fuera del aula. Otro dato significativo es el poco uso que hacen de las tutorías, ya que emplean una media de 0,3 horas a la semana a este fin, pero el 75% de ellos no acude nunca.

En la unidad didáctica de Planos Acotados el alumno ha dedicado al estudio de la materia un tiempo de 17,3 horas a la semana. Si tenemos en cuenta que las lecciones se desarrolla en diez semanas obtenemos un total de 173,0 horas de trabajo para adquirir los conocimientos necesarios. Si consideramos que un crédito ECTS se encuentra entre 25 y 30 horas semanales serían necesarios para este bloque temático 5,7 créditos ECTS en el caso más favorable.

Si comparamos las horas de estudio en casa con las horas dedicadas a las clases tanto teóricas como prácticas, el resultado obtenido nos indica que para esta materia el alumno necesita 2,6 horas de estudio por cada hora de clase. Valor que es ligeramente superior al que se desprende de los datos obtenidos para otras materias.

En cuanto a la opinión de los alumnos sobre la asignatura y el tiempo que le dedican, los resultados han sido los siguientes:

- El 79,4 % de los alumnos opina que el tiempo que necesita para estudiar la asignatura es bastante (4) o demasiado (5), en una graduación de uno a cinco.



- En comparación con otras asignaturas de segundo curso, el 76,5 % opina que le dedica más tiempo que al resto.
- En una valoración de uno a diez, los alumnos destacan la dificultad para entender y realizar las prácticas.

## 6. Conclusiones

Teniendo en cuenta que el Real Decreto de los créditos europeos, anteriormente citado, dice en su artículo cuarto que “Esta asignación de créditos, y la estimación de su correspondiente número de horas, se entenderá referida a un estudiante dedicado a cursar a tiempo completo estudios universitarios durante un mínimo de 36 y un máximo de 40 semanas por curso académico” y los datos extraídos de las encuestas realizadas, podemos concluir que:

1. Para la asignatura de Sistemas de Representación, que cuenta con 15 créditos (150 horas) y manteniendo los contenidos actuales, el trabajo total del alumno a lo largo del año sería de 519 horas. Dado que cada crédito europeo supone entre 25 y 30 horas de trabajo, en el caso más favorable obtenemos, para la asignatura, 17,3 créditos ECTS.
2. En el primer curso de Ingeniería Técnica de Obras Públicas existe otra asignatura con idéntica carga docente (150 horas), Dibujo Técnico. Por lo tanto, para las asignaturas de Ingeniería Gráfica se necesitaría un mínimo de 34,6 créditos ECTS. Si comparamos los resultados obtenidos con la propuesta de Sánchez Gálvez (2003) de 10 créditos ECTS para las asignaturas de esta área en la titulación de Ingeniero Civil, se observa una importante disparidad.

Si extendemos los resultados obtenidos al resto de asignaturas de la titulación, concluimos que:

3. Obtenemos para el trabajo correspondiente al alumno de segundo curso una carga de 3.114 horas de trabajo anual. A lo largo de la carrera se transformarían en 9.342 horas ( $3.114 \text{ horas/año} \times 3 \text{ años}$ ).
4. De las 9.342 horas de carga total de la carrera deducimos que los estudios se deberían desarrollar a lo largo de 233,6 semanas, teniendo en cuenta las 40 horas de trabajo semanal que contempla el ECTS. Suponiendo un período lectivo de 40 semanas/año, la carrera duraría un total de 5,8 años.
5. Esta duración viene refrendada por los resultados académicos que confirma que la duración media real de los estudios de Ingeniería Técnica de Obras Públicas en la Escuela de Alicante es de 7,5 años, de los cuales se estima que aproximadamente 1 o 2 de esos años los dedican a la elaboración del Trabajo Final de Carrera o a desarrollar prácticas

laborales en empresas del sector por lo que en definitiva la duración es acorde con los resultados obtenidos.

Por consiguiente caben tres opciones:

1. Modificar de forma sustancial el planteamiento docente, la metodología, los contenidos, las actividades, los recursos y otros aspectos de estos estudios.
2. Ampliar la duración de estos estudios a 5,8 años. Este aspecto no cabe considerarlo puesto que la integración dentro del nuevo Espacio Europeo de Educación Superior propone la creación de un título de Grado con una duración máxima de cuatro años.
3. Reducir los contenidos actuales aproximadamente a la mitad (51,7 %).

## **Agradecimientos**

El presente trabajo se ha realizado en el marco del programa de Redes de Investigación en Docencia Universitaria 2003 promovido por el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante.

## **Referencias**

AGENCIA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ACREDITACIÓN (2003). *Programa de convergencia europea. El crédito europeo..* Madrid.

BOLOGNA DECLARATION (1999). *Joint Declaration of the European Ministers of Education.*

MENESES, G. (2003). *El Gobierno define la nueva estructura de las enseñanzas universitarias: El Grado y el Postgrado.* Revista Cimbra, 352, 6-10.

REAL DECRETO 1125/2003, de 5 de septiembre. BOE nº 224, jueves 18 septiembre 2003.

SORBONNE JOINT DECLARATION (1998). *Joint declaration on harmonisation of the architecture of the European higher education system.*

SÁNCHEZ GÁLVEZ, V. (2003). *Ciencias básicas en la enseñanza de la Ingeniería Civil.* CD Proceedings of the I International Meeting in Civil Engineering Education. Ciudad Real, Spain.



INGEGRAF



## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### INGENIERÍA GRÁFICA: PROYECTOS VIRTUALES EN LA ESCUELA DE CAMINOS DE GRANADA

ALDAYA GARCÍA, Víctor Pablo (1); LEÓN CASAS, Miguel Ángel (2)

<sup>(1)</sup>Universidad de Granada, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Correo electrónico: avictor@ugr.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Correo electrónico: maleon@ugr.es

### RESUMEN

El objetivo de la asignatura, primera en su género que se imparte en la Escuela de Caminos de Granada, es ofrecer a los alumnos fundamentos teóricos y conocimientos prácticos que les permitan la realización de maquetas digitales de ingeniería y faciliten el proceso de proyectar mediante el ordenador.

Se estudian las técnicas informáticas para la representación y visualización de modelos tridimensionales y se analizan los procesos y programas que permiten la construcción de modelos de ingeniería, partiendo de una idea previa o un proyecto existente.

Las indefiniciones en los datos de estos proyectos son completadas por los estudiantes en un proceso de aprendizaje mediante el estímulo que propicia la propia maqueta. Se trabaja sobre el uso de estas herramientas como ayuda en el proceso de diseño de distintas morfologías espaciales (ingeniería civil, diseño arquitectónico, ingeniería ambiental, etc.).

El cuerpo básico de la asignatura es fundamentalmente práctico a través de ejercicios de modelación compleja basada en planimetrías, obras existentes o entornos urbanísticos, tanto en el ámbito de la ingeniería contemporánea como del patrimonio civil-arquitectónico y arqueológico.

En el primer curso en que se ha impartido la asignatura, los alumnos, la mayoría sin conocimientos previos sobre la materia, han obtenido resultados excepcionales.

**Palabras clave:** docencia, proyectos virtuales, modelos 3D, diseño asistido, presentación de proyectos.

# GRAPHICAL ENGINEERING: VIRTUAL PROJECTS IN THE SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING IN GRANADA (SPAIN)

## ABSTRACT

The goal of the course, first of its kind to have been taught in the University of Granada, is to provide students with theoretical base and practical knowledge in order to be able to produce digital engineering models and to make the project-making process through computer easier. Departing from a previous idea or project, we study computer techniques for the representation and visualization of three-dimensional models and we analyze the process and the software to create engineering models.

The lack of definition of these models is completed by the students in the learning process, motivated by stimulation the model itself provides. We worked on the use of computer tools as an aid in the process of design of the different spatial morphology (civil engineering, architectural design, environmental engineering, etc.)

The content of the course is mostly practical, by means of complex modeling exercises, based on planimetries, existing works or urbanistic environments within contemporanean engineering, as well as the civil-architectural and archaeological patrimony.

The first time the course have been offered, the students, most of them with no previous knowledge on the topic, have obtained excellent results.

**Key words:** Teaching, Virtual Projects, 3D models, Assisted Design, Civil Engineering.

## 1. Introducción

Se presenta en esta comunicación el inicio de la docencia de “Ingeniería Gráfica y Modelización del Terreno” en la Escuela de Caminos de Granada, mostrando tanto la metodología empleada como sobre todo los excelentes resultados obtenidos por los alumnos.

Veremos como, mediante un adecuado estímulo, la mayoría de los alumnos responden con un esfuerzo y una calidad en los trabajos muy superiores a los exigidos en la asignatura. También observaremos como, al ser la elección de los proyectos a modelar totalmente personal, el alumnado se implica en mayor medida que cuando se le impone una propuesta determinada, enriqueciendo además el abanico de temáticas abarcadas en los proyectos.

## 2. Desarrollo de la asignatura

### Organización docente

La asignatura se divide en dos partes:

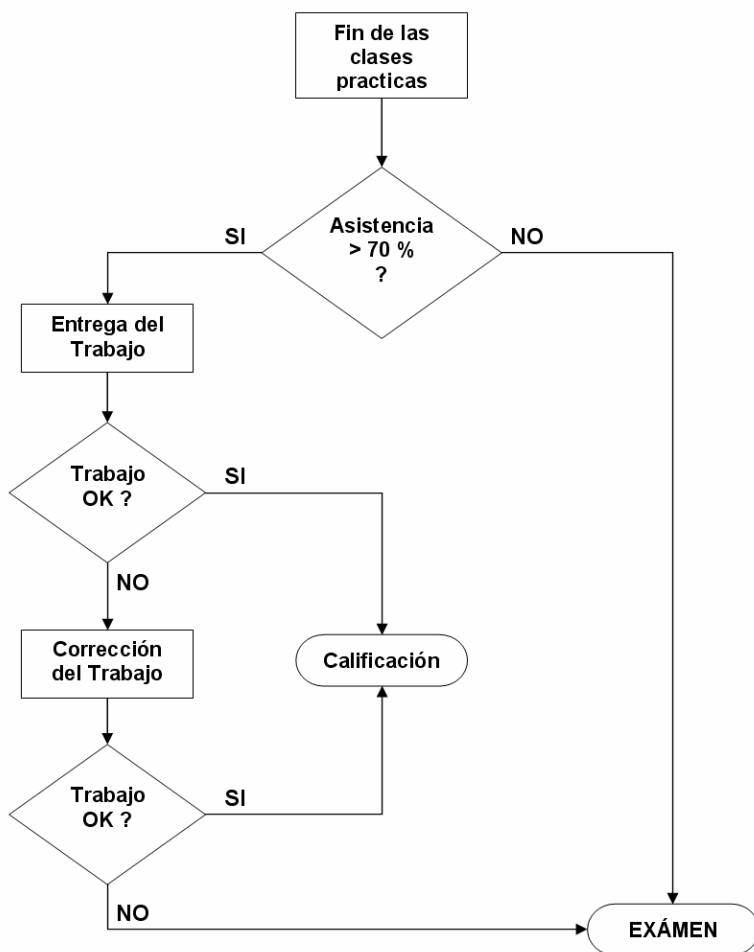
- **“Teoría”:** se dan nociones básicas del manejo de los programas que se utilizan en la elaboración del modelo. Para ello se emplean proyectos sencillos de ingeniería y arquitectura que sirven de ejemplo de las técnicas empleadas y hacen que los alumnos pierdan el miedo a utilizar programas complejos.

- **Práctica:** cada alumno, de forma individual, desarrolla un modelo digital del proyecto que haya elegido. La realización de dicho modelo se hace durante las horas de clase y cuenta con el apoyo y asesoramiento del profesor de la asignatura.

## Sistema de evaluación

Al ser una asignatura eminentemente práctica se quería evitar en lo posible la evaluación mediante el tradicional examen, así que se optó por realizar un seguimiento personalizado del alumnado y evaluar tanto en función del esfuerzo realizado como de los resultados obtenidos en la entrega de los proyectos.

Así el sistema de evaluación se realizó como sigue:



Hay que destacar que, al menos en este primer año, no se realizó examen alguno, ya que todos los trabajos presentados superaron el nivel mínimo exigido.

## **Criterios de elección y elaboración del modelo**

**Elección personal.-** Se piensa que la elección del modelo debe ser personal con el fin de que, fundamentado en cierta predisposición, afinidad o admiración por el mismo, se garantice un mayor rendimiento pedagógico.

**Preferentemente no construido.-** Al partir únicamente de referencias métricas tales como plantas alzados, secciones o perspectivas obliga a la definición de cualidades como: detalles, soluciones, colores texturas, iluminación etc. que no están en general definidas en las fuentes geométricas austeras de que se parte. De esta forma los alumnos deben “terminar” digitalmente el modelo poniendo necesariamente mucho de su parte.

**Cualidades geométricas.-** El modelo que se elija debe ser gratificante para los alumnos, por lo que se aconseja que los proyectos tengan bastantes simetrías y elementos repetitivos con objeto de que el trabajo de modelado no se convierta en algo rutinario y nos concentremos en cuestiones más interesantes.

**¿Tienen que modelar fielmente los planos de partida?** En absoluto, se puede y es aconsejable redefinir el proyecto como se desee, interpretarlo, mejorarlo, transformarlo, cambiarlo de uso o lo que el alumno considere.

**¿Tienen que modelar todo lo que viene en los planos?** Los alumnos decidirán lo que modelan y lo que no en función de sus objetivos expresivos. Por lo tanto pueden decidir simplificar un proyecto y detallar únicamente las partes que interesen, concentrándose así en lo más interesante.

**Si unos alumnos eligen modelos muy sencillos y otros muy complicados: ¿Cómo influye esto en la calificación?** El nivel de exigencia estará compensado en función de las opciones, del esfuerzo realizado y de la relación conocimientos previos/calidad final del trabajo.

**¿Pueden modelar un proyecto suyo?** Si, siempre que cumpla las condiciones exigidas y sea aceptado por el profesor. De hecho se podría modelar todo o parte del Proyecto Fin de Carrera, lo cual da uno índices muy elevados de identificación con el trabajo y aumenta en gran manera el “rendimiento” del alumno.

## **Recomendaciones hechas a los alumnos**

- Elegir un proyecto de un ingeniero o arquitecto ejemplar o un proyecto significativo y modelarlo procediendo a su interpretación. Las monografías de ingenieros y arquitectos famosos suelen traer muchos proyectos no contruidos por lo que son muy adecuadas.
- Diseñar un edificio basándose en sugerencias gráficas no totalmente definidas, como por ejemplo terminar de definir y modelar propuestas de concursos de ideas.
- Modelar una obra emblemática del patrimonio histórico que haya desaparecido total o parcialmente y de la que se tenga constancia documental.

## Planificación docente.

Así la planificación del trabajo de la asignatura queda como sigue:

- El alumnado debe elegir su modelo durante el primer mes de desarrollo de la asignatura, mientras duran las clases teóricas. A tal efecto se aconseja presentar varias propuestas con el fin de que el profesor pueda valorar la idoneidad del proyecto.
- Durante la primera parte del mes de abril, los alumnos realizan las plantas y alzados 2D en AutoCAD del “*proyecto-maqueta*” que pretenden realizar. La idea es empezar a modelar en tres dimensiones a mediados de abril con una idea ya elaborada. Ese *proyecto-maqueta* puede y debe representar las adaptaciones a nivel de simplificación o cambios que el alumno o alumna deseen realizar (ello no quiere decir que no puedan realizarse cambios a lo largo del proceso de modelado).
- A principios del mes de mayo se termina el modelo 3D tanto del proyecto como de su entorno (terreno digital) y se procede a su texturizado, iluminación (si procede), etc.
- A mediados de mayo se prepara la presentación del proyecto (papel, paneles...) y se entrega para su evaluación a principios de junio.

A fin de cumplir los plazos establecidos se diseña junto con los alumnos un cronograma para la distribución de su tiempo de trabajo:

## INGENIERÍA GRÁFICA Y MODELIZACIÓN DEL TERRENO

Curso 2002 / 2003

## C R O N O G R A M A

**AUTOR:** Víctor Aldaya García

**PROYECTO:** Ejemplo de proyecto Tipo

	Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4							Semana 5							Semana 6						
FASE	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D							
1. Elección del modelo																																										
2. Planificación del modelado: objetivos y plazos																																										
3. Recopilación y preparación de la información																																										
4. Paso de la información a formato digital																																										
a. Planos (proyecto y emplazamiento)																																										
b. Fotografías																																										
5. Creación del Modelo Digital de Terreno (MDT)																																										
a. Asignación de cota a las curvas de nivel																																										
b. Importación de las curvas de nivel en 3D Studio VIZ																																										
c. Creación del MDT																																										
d. Refinado, optimización y corrección de errores																																										
e. Texturización																																										
6. Creación del Modelo del Proyecto																																										
a. Construcción del modelo 3D en el programa de CAD																																										
b. Exportación de las piezas 3D																																										
c. Importación de las piezas 3D en 3D Studio VIZ																																										
d. Refinado, optimización y corrección de errores																																										
e. Texturización																																										
7. Fusiónado del Proyecto en el MDT																																										
8. Creación del entorno (si aplica)																																										
9. Iluminación																																										
a. Exterior																																										
b. Interior (si aplica)																																										
10. Cámaras																																										
a. Selección del aspecto de los formatos de salida																																										
b. Creación y posicionamiento de las cámaras																																										
c. Definición de parámetros																																										
d. Pruebas → Correcciones → Cámaras definitivas																																										
11. Obtención de resultados																																										
a. Vistas fijas																																										
b. Panorámicas																																										
c. Animación																																										
d. Realidad Virtual																																										
e. ...																																										
12. Presentación final del proyecto																																										
a. Dossier de presentación (en papel)																																										
b. Pósteres																																										
c. Presentación informática (Powerpoint)																																										
d. Vídeo (digital / VHS)																																										

## Fases de creación del modelo digital

1. Elección del modelo
2. Planificación del modelado → definición de objetivos y plazos
3. Recopilación, selección y preparación de la información
4. Paso de la información recopilada a formato digital
  - a. Planos (proyecto y emplazamiento) → CAD 2D
  - b. Fotografías → escaneado → retoque fotográfico y optimización
5. Creación del Modelo Digital de Terreno (MDT)
  - a. Asignación de la cota a las curvas de nivel previamente digitalizadas
  - b. Importación de las curvas de nivel en 3D Studio
  - c. Creación del MDT
  - d. Refinado, optimización y corrección de errores
  - e. Texturización
6. Creación del Modelo del Proyecto
  - a. Construcción del modelo 3D en el programa de CAD
  - b. Exportación de las piezas 3D al formato de intercambio elegido
  - c. Importación de las piezas 3D en 3D Studio
  - d. Refinado, optimización y corrección de errores
  - e. Texturización
7. Fusión del Proyecto en el MDT
8. *Creación del entorno* (si aplica)
9. Iluminación
  - a. Exterior
  - b. *Interior* (si aplica) → Luminarias fotométricas, luces estándar, etc.
10. Cámaras
  - a. Selección del aspecto de los formatos de salida
  - b. Creación y posicionamiento de las cámaras
  - c. Definición de las distancias focales, apertura, planos de recorte, etc.
  - d. Pruebas preliminares → Correcciones y reajustes → Cámaras definitivas
11. Obtención de resultados
  - a. Vistas fijas
  - b. *Panorámicas*
  - c. *Animación*
  - d. *Realidad Virtual, etc.*
12. Presentación final del proyecto
  - a. Dossier de presentación (en papel)
  - b. Paneles
  - c. Presentación informática
  - d. Video (digital / VHS), etc.



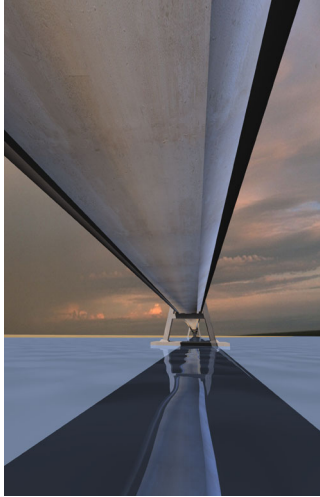
### 3. Algunos ejemplos del trabajo realizado por los alumnos

Mostramos aquí una pequeña muestra del trabajo de los alumnos en la asignatura. Hay que destacar que la inmensa mayoría de los 50 alumnos matriculados no poseían conocimientos previos de la materia. Presentamos los resultados en dos tipos de formato: imágenes sencillas y paneles compuestos.

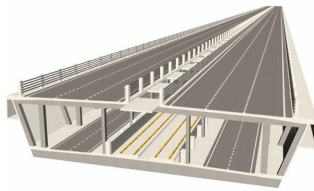
#### Imágenes de Síntesis



*Sergio Rodríguez Fdez. – Pte. Internacional sobre el río Guadiana*



*José Miguel Novo Sánchez –  
Puente de Tablate*

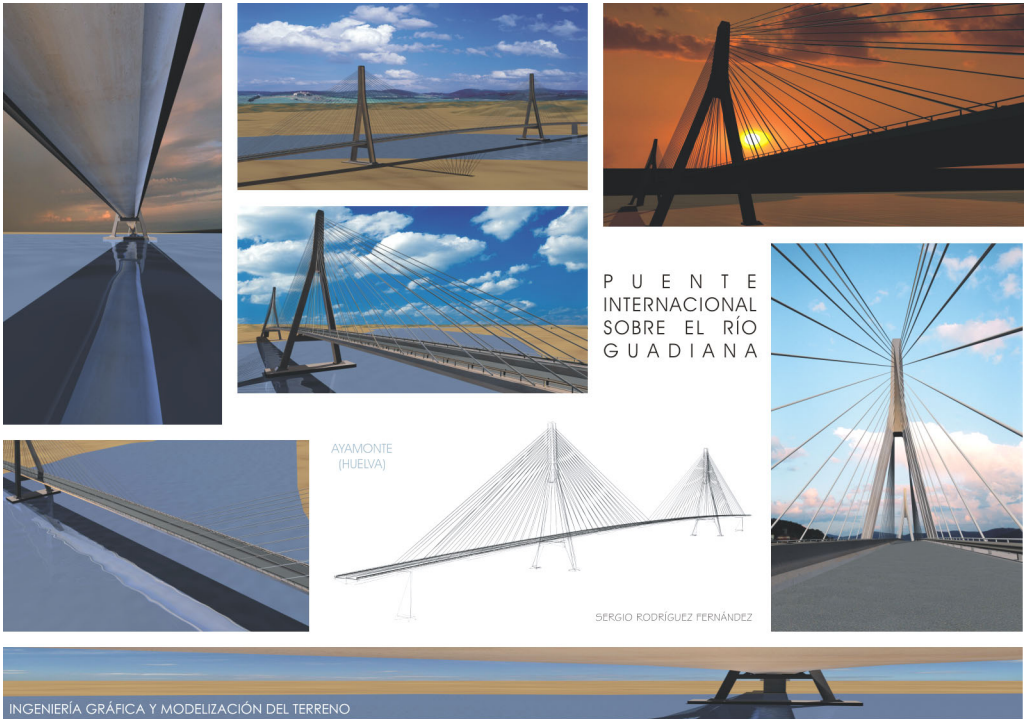


*Hugo Martínez Soto – Puente de Kap Shui Mun*



*Reinaldo Pérez Borrero – The Beebe Windmill*

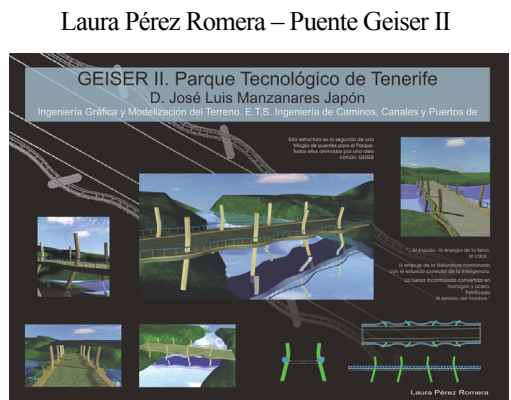
## Paneles



Sergio Rodríguez Fernández – Puente Internacional sobre el río Guadiana



Maria Isabel Vivas Martín – Puente La Gaviota



Laura Pérez Romera – Puente Geiser II

## 4. Consideraciones Finales

Como conclusiones podemos destacar los siguientes aspectos:

- Dado que la asignatura es cuatrimestral, sus 6 créditos quedan bastante concentrados y el ritmo de trabajo es bastante intenso. Este ha sido uno de los aspectos que más han subrayado los alumnos. A la vista de la experiencia sería quizás aconsejable que la asignatura pasara a ser anual, manteniendo, eso sí, el mismo número de créditos.
- A pesar de que el nivel exigido para aprobar era mínimo, ninguno de los alumnos se conformó con ese nivel, prefiriendo trabajar en horas fuera de las clases prácticas (en sus casas o en las tutorías) para mejorar sus proyectos. De esta forma el nivel global alcanzado por los trabajos de los alumnos superó con creces las expectativas del profesorado.
- Debido tanto al ritmo de trabajo como fundamentalmente a la utilidad de la asignatura y al grado de implicación del alumnado, muchos de ellos reconocieron haber dedicado mucho más tiempo a nuestra asignatura, que no deja de ser una materia de libre configuración, que a otras troncales de la carrera.

Por último hay que destacar que uno de los aspectos más ilusionantes para el profesorado ha sido, sin duda, el que los alumnos se hayan identificado en gran medida con los proyectos elegidos y sobre todo el observar el grado de satisfacción que ellos mismos tenían con los resultados que iban obteniendo. Así la experiencia docente de este curso ha sido en todos los aspectos muy gratificante.

## Agradecimientos

En primer lugar a los alumnos y alumnas de la asignatura, sin cuyo interés e ilusión esta hubiera sido una asignatura más. De ellos es el mérito por los excelentes resultados obtenidos.

En segundo lugar al *Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería*, que puso los medios necesarios para que se pudiera llevar a cabo de forma adecuada la docencia de la asignatura, especialmente en cuanto a la adquisición de equipos informáticos para el *Laboratorio de Ingeniería Gráfica*.

Por último a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y a la Universidad de Granada por su apoyo e interés en el desarrollo de la docencia de nuevas tecnologías.

---

## WEB-3D TECHNOLOGIES IN E-LEARNING APPLICATION FOR ENGINEERING DRAWING

RIZZUTI, Sergio; BRUNO, Fabio; BASILE, Massimo

Università della Calabria, Italia  
Dipartimento di Meccanica, Ponte Pietro Bucci 44/C, 87030 Rende (CS)  
Posta elettronica: rizzuti@unical.it

### RIASSUNTO

L'insegnamento del disegno e del metodo delle proiezioni ortogonali, ha sempre dato grandi problemi all'insegnante ed allo studente. La possibilità di avvalersi di tecnologie 3D per il WEB può permettere di implementare tool di supporto alla didattica del disegno, che possono essere attivati da qualsiasi punto della rete internet e con una dotazione minima di risorse computazionali. Scopo del presente lavoro è di illustrare una applicazione di e-learning destinata a supportare gli studenti dei corsi di disegno tecnico, mediante il quale essi potranno effettuare il cosiddetto Computer Based Training. Accedendo alla applicazione gli studenti potranno navigare in 3D, manipolando un oggetto (tradotto in VRML e visualizzato mediante Cosmo Player) al quale sono associate sei direzioni di osservazione. Inizialmente verrà richiesto loro di associare ciascuna delle direzioni di osservazione ad una delle possibili rappresentazioni 2D, riportate in una lista. Successivamente verrà richiesto loro di creare, a partire da una qualsiasi direzione, che costituirà la vista principale, la corretta disposizione del sistema delle proiezioni ortogonali, strutturate secondo il metodo europeo e americano.

**Parole chiave:** Applicazione WEB 3D, e-learning, proiezioni ortogonali.

### ABSTRACT

Generally both students and teachers have many difficulties when dealing with the orthogonal projection method. Nowadays, the WEB 3D technologies allow us to implement tools, for teaching engineering drawing, that can be accessed at any point of the web and with very low requirements in computational resources. The paper reports one application of e-learning that can be employed in the basic course of technical drawing, where the students can follow so called Computer Based Training. Accessing the tool, the students navigate in a 3D environment, visualized by Cosmo Player, where one can interact with objects, translated in VRML, to which 6 view directions are associated. Two kinds of questions will be proposed: a) how to establish the right 2D representation connected to a selected view direction; b) starting from any primary view direction how to find the other projections that form the right lay out for the first and third method of projection.

**Key words:** WEB 3D application, e-learning, orthogonal projection

## 1. Introduzione

In ambito *educational* sono sempre più numerosi i tentativi di cogliere le opportunità prospettate dall'avvento di reti a banda larga insieme allo sviluppo delle tecnologie WEB 3D, con l'implementazione di sistemi e piattaforme che favoriscono la didattica, l'insegnamento e l'apprendimento. Recentemente è stato fatto il punto sul progetto WEBD (Web-based learning and training Engineering Biomedical Design, <http://webd.polito.it/leonardo/project.html> [TORNINCASA]), nel quale sono confluiti gli sforzi di ricercatori di diversi paesi europei per lo studio e le applicazioni Web 3D in ambito sia didattico che di ricerca.

L'importanza di queste tematiche è emersa durante i lavori del Consiglio europeo di Barcellona, che ha invitato la Commissione ad elaborare un piano d'azione *eEurope* fondato su: “*la diffusione della disponibilità e dell'uso delle reti a banda larga in tutta l'Unione entro il 2005 e lo sviluppo di..., eGovernment, eLearning, eHealth ed eBusiness*” <http://europa.eu.int> .

E' ormai condiviso che l'*e-learning* deve diventare un obiettivo strategico delle istituzioni impegnate nell'ambito della formazione e non deve essere solo un modo per venire incontro alle esigenze di chi è impossibilitato a seguire le tradizionali lezioni frontali, in aula col docente. La formazione permanente, la formazione personalizzata, l'apprendimento just in time, sono concetti divenuti fondamentali per lo sviluppo economico e del mercato del lavoro.

Nel presente lavoro viene presentata un'applicazione WEB 3D di supporto alla didattica, inserita in un contesto di e-learning per il "disegno tecnico". E' noto che, nell'ambito dei corsi riguardanti questa disciplina, uno degli argomenti che presenta maggiori difficoltà di acquisizione, da parte dello studente, è legato alla trattazione del metodo delle proiezioni ortogonali. Queste, pur costituendo un sistema organico che permette di specificare in maniera non ambigua le dimensioni dell'oggetto rappresentato, appiattisce l'oggetto in una serie di rappresentazioni 2D che alterano notevolmente la percezione del disegno da parte dell'osservatore. La caratteristica intrinseca di questo metodo richiede infatti un notevole sforzo, in termini di astrazione, a chi vi si accosta per la prima volta.

E' stato pertanto implementato un tool col quale gli studenti possono effettuare il cosiddetto Computer Based Training online, avendo accesso ad un'apposita sezione sul sito dell'Università della Calabria <http://icampus.deis.unical.it> . Scegliendo tra una serie di esercizi sarà permesso loro di esercitarsi per comprendere la logica delle proiezioni ortogonali, accostando a queste le viste di oggetti tridimensionali. Gli oggetti potranno essere osservati da diversi punti di vista, semplicemente “muovendosi” nello spazio.

Per lo sviluppo del tool si è scelto di utilizzare il linguaggio VRML97: questa tecnologia, pienamente confacente allo scopo prefissato è di pubblico dominio essendo uno standard ISO e, al momento, è apparsa, dai test effettuati, la soluzione più stabile, sia dal punto di vista dello sviluppatore che dal punto di vista del client, il

quale potrà usufruire dell'applicazione semplicemente installando il plugin necessario per il proprio browser.

Ad ogni modo, esistono i tool di conversione del codice da VRML a X3D (nuova proposta di standard del Web3D Consortium, attualmente allo stato di Final Draft) e si potrà quindi procedere alla migrazione del sistema, data la compatibilità all'indietro delle due tecnologie, qualora si arrivasse ad una maggiore stabilità e alla definizione dello standard ISO X3D.

L'applicazione è stata sviluppata nell'ottica di supportare l'apprendimento dello studente stimolando l'auto valutazione, con la pratica su esercizi, di cui è controllata la correttezza della risposta. Questi ultimi sono parametri fondamentali per poter valutare un progetto di *e-learning*, andando oltre gli elementi sui quali la valutazione, tradizionalmente, veniva fatta: completezza, accessibilità, interfaccia, supporto dell'utente che caratterizzano piuttosto i concetti di contesto e di usabilità del sito web [LANZOTTI].

## **2. Progettazione e implementazione del Tool**

L'idea che sta alla base dell'applicazione è di dare un ulteriore supporto didattico agli studenti dei corsi di disegno, sfruttando le potenzialità delle tecnologie 3D per il web.

L'applicazione propone una serie di forme che saranno oggetto di studio da parte dell'utente. Su di esse dovranno essere riconosciute le diverse viste e dovranno essere create le rappresentazioni in proiezioni ortogonali secondo la convenzione europea e americana.

L'oggetto, in rappresentazione 3D, potrà essere osservato da diversi punti di vista, grazie ai comandi di navigazione presenti, e su di esso saranno puntate sei frecce che indicheranno le direzioni secondo cui è possibile osservare l'oggetto. Ad ognuna delle frecce corrisponderà, di conseguenza, una vista rappresentata in due dimensioni e visualizzabile al lato del modello.

All'utente sarà proposto, in successione, di indicare la vista corrispondente alla direzione di osservazione evidenziata dalla freccia. Le sei viste saranno disposte, ogni volta che si ripete l'esercizio, in una posizione casuale, in modo da introdurre un maggiore livello di difficoltà (che non dovrebbe risultare, in ogni caso, eccessivo).

Il secondo esercizio proposto permetterà di esercitarsi sulla corretta disposizione delle viste nel sistema di proiezioni, secondo le convenzioni europea e americana: l'utente sceglierà inizialmente la vista principale (quella anteriore) ed in conseguenza di questa scelta dovrà completare le rappresentazioni nelle due convenzioni. Per completare l'esercizio, lo studente dovrà indicare, ancora una volta, le viste richieste in sequenza, avendo a disposizione le stesse proiezioni dell'esercizio precedente. La vista sarà poi collocata nel piano di proiezione corrispondente nella corretta disposizione.



A questi due esercizi non viene attribuito alcun punteggio e la conclusione avviene solo quando lo studente ha risposto esattamente a tutti i quesiti. Questo a dimostrazione del fatto che l'applicazione vuole essere puramente uno strumento mirato all'apprendimento e non un test di valutazione. Anche se l'utente sbaglia più volte, ha comunque sempre la possibilità di trovare la risposta corretta avendo così modo di rendersi conto dei propri errori e di correggerli, eventualmente ricorrendo all'aiuto offerto dal docente tramite e-mail o con un forum di discussione.

Ulteriore requisito del sistema è di avere una semplice interfaccia che permette al docente o all'esercitatore, la creazione di nuovi oggetti per esercitazioni sempre diverse, così da offrire un'ampia gamma di esercizi tra cui scegliere.

Lo scenario appena descritto in fase di specifica dell'applicazione definisce i casi d'uso che il sistema sarà in grado di supportare.

Utilizzando il diagramma dei casi d'uso in notazione UML (Figura1), si evidenzia quale sia il ruolo dello studente nei confronti del sistema, una volta scelto l'esercizio da svolgere:

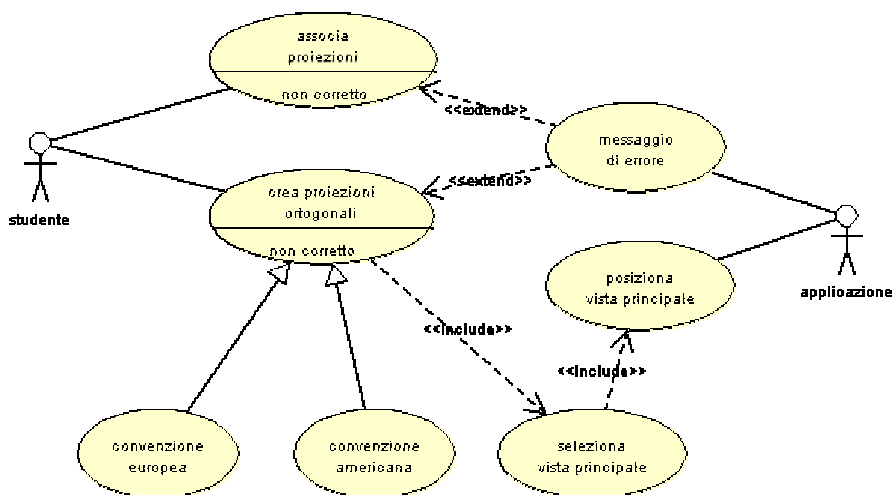


Figura 1: diagramma dei casi d'uso

L'obiettivo è di consentire allo studente di associare correttamente le proiezioni dell'oggetto alle viste corrispondenti e indicate di volta in volta dalla freccia corrente. Inoltre, devono essere posizionate le proiezioni ortogonali (secondo la convenzione europea e americana). Questo secondo caso d'uso include la selezione della vista principale.

L'applicazione deve trasmettere un messaggio d'errore nel caso di associazione errata da parte dell'utente e deve posizionare la vista principale in modo corretto, quando selezionata.

All'interno del mondo VRML è presente il modello dell'oggetto da studiare, con una sua geometria, una posizione e un aspetto. Ad esso sono associati dei puntatori e

delle proiezioni. Ovviamente le due entità saranno associate secondo una relazione uno a uno. Gli eventi generati, in seguito ad una selezione dell'utente di un puntatore o di una proiezione, sono gestiti grazie al timestamp dell'evento stesso.

Risulta evidente che il sistema, nel corso dello svolgimento della sua funzione, si ritroverà in una serie di stati ed è bene puntualizzare come evolverà il comportamento in seguito agli eventi che si verificheranno.

In particolare, all'avvio dell'applicazione, il sistema attenderà che l'utente scelga la proiezione richiesta ed attenderà fino a quando tutte le proiezioni saranno state selezionate correttamente, prima di passare nello stato che consentirà la scelta della vista principale e la disposizione delle proiezioni secondo la convenzione europea e americana.

Solo quando le disposizioni saranno completate, l'applicazione evolverà nello stato di termine dell'attività come evidenziato in Figura 2:

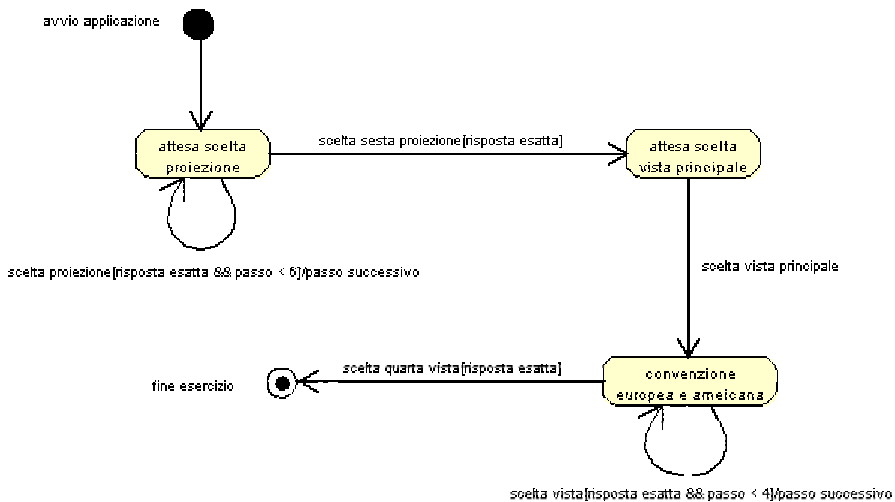


Figura 2: diagramma dello stato dell'applicazione

Nella realizzazione dell'applicazione si è pensato di lavorare in maniera modulare e secondo i crismi di una programmazione orientata agli oggetti, per questo sono stati creati alcuni file esterni, inclusi poi nel file principale dell'applicazione.

Ognuno dei moduli, contenuto in un file, assolve ad una determinata funzione e contiene uno o più classi di oggetti (in questo contesto il concetto di classe non è del tutto assimilabile a quello classico, definito in un normale linguaggio di programmazione orientato agli oggetti, poiché mancano alcune caratteristiche essenziali quali inheritance e information hiding). I costrutti "PROTO" e "Inline" permettono di riutilizzare il codice e includerlo nel file principale.

Una delle caratteristiche principali del VRML è quella di essere considerato un formato di interscambio tra diverse tecnologie di modellazione 3D. In effetti, la maggior parte dei programmi in commercio, rende disponibile l'esportazione in questo



tipo di formato, ed utilizza il metodo della triangolazione servendosi del costrutto “IndexedFaceSet” del linguaggio.

Per la definizione dell’oggetto e la sua modellazione si è fatto uso del software Rhinoceros che permette di esportare facilmente in formato VRML. In Figura 3 è riportato il modello di un generico oggetto.

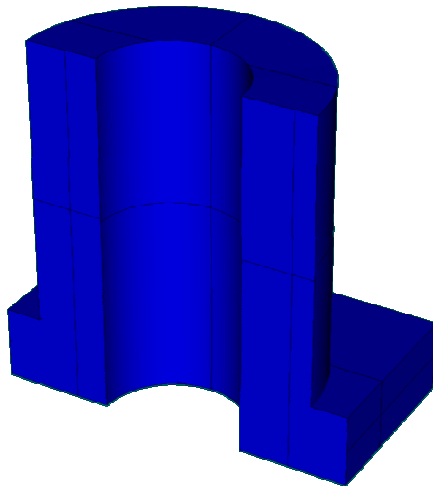


Figura 3: oggetto modellato

La creazione delle viste dell’oggetto ha rappresentato uno dei problemi principali nella realizzazione del tool. Queste, per definizione, sono il risultato di una proiezione perpendicolare al piano di proiezione e hanno una estensione bidimensionale.

In VRML si ha una vista prospettica e non si riesce ad ottenere quindi una rappresentazione adeguata per le proiezioni ortogonali dell’oggetto.

Una possibile soluzione poteva essere quella di scalare l’oggetto lungo una direzione, eliminando, quindi, la profondità, ottenendo una forma bidimensionale che poteva essere assimilata alla proiezione lungo la direzione della dimensione annullata. Tuttavia in tal modo la geometria avrebbe perso il significato della dimensione in questione.

La soluzione alternativa adottata in questo lavoro, è stata di creare delle immagini raffiguranti le diverse viste dell’oggetto. Renderizzando le viste prospettiche disponibili in Rhinoceros si sono ottenute le proiezioni cercate. Ogni immagine deve, successivamente, essere associata come texture ad un piano trasparente che permetterà nel mondo VRML di interagire con essa, definendo un sensore che rileverà i click del mouse.

Le viste che devono essere realizzate sono sei e non è determinante la posizione che assume ogni vista rispetto alle altre, poiché il posizionamento dovrà avvenire in maniera casuale all’avvio dell’esercizio. Durante tutta la fase di sviluppo è stato utilizzato, per la visualizzazione, il player VRML Cosmo Player versione 2.1.1, come plugin per il browser Internet Explorer versione 6.0.

Non sono stati riscontrati problemi di stabilità e l'applicazione è sembrata non troppo pesante in termini di risorse hardware necessarie. La dimensione complessiva di tutti i file per l'esercizio raffigurato nelle immagini è di circa 200 Kb.

Unici requisiti richiesti agli utenti saranno l'installazione di un plugin per VRML un browser HTML (un browser modo testo è da escludere per ovvi motivi) compatibile con il player e, ovviamente, una connessione di rete. La versione utilizzata in questo lavoro richiede requisiti hardware e software davvero minimi di questi tempi: un processore Pentium e 16 Mb di RAM; Netscape 3.01 o superiore e Internet Explorer 4.x o superiore.

Per maggiori informazioni circa i requisiti di sistema, conviene fare riferimento alle release note delle case produttrici dei player prescelti. Per quanto riguarda la risoluzione di visualizzazione, sono stati provati tutti i formati più comuni e l'applicazione non porta problemi significativi.

Per l'utente che voglia accedere alle esercitazioni è, ovviamente, presente una guida che illustra le sequenze di operazioni da eseguire per svolgere gli esercizi. Per quanto riguarda la creazione di nuove tracce, è in dotazione all'esercitatore una breve guida di riferimento redatta per lo scopo.

### 3. Scenario d'uso

La prima schermata che appare all'utente è visualizzata in Figura 4.

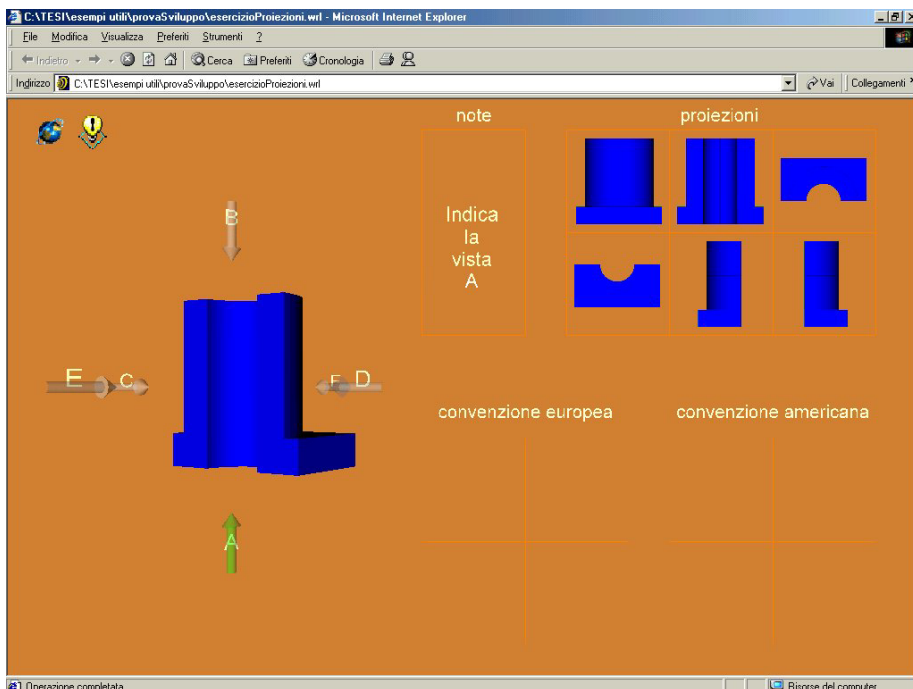


Figura 4: schermata iniziale

L'utente interagisce inizialmente con il modello 3D dell'oggetto, facendogli assumere l'orientazione che ritiene più opportuna. Il sistema evidenzia in verde, una alla volta, le sei frecce, caratterizzate da una propria lettera, che indicano le sei direzioni di osservazione. L'utente dovrà quindi selezionare, fra le sei proiezioni quella corrispondente, come indicato nel riquadro "note", dove potrà leggere le informazioni del sistema. All'utente, nello stato riportato in figura, viene chiesto di "indicare la vista A", fra le sei a disposizione. Nel riquadro "note" apparirà una iscrizione che validerà la correttezza della scelta effettuata o, in caso contrario, mostrerà un messaggio di errore. Se la risposta sarà quella corretta, l'utente potrà passare a rispondere al quesito successivo.

Una volta completato questo primo esercizio all'utente verrà proposto di posizionare correttamente le proiezioni ortogonali. Preliminarmente gli sarà richiesto di selezionare la freccia indicante la vista principale e, in seguito a questa scelta, l'applicazione provvederà a posizionare la vista anteriore nelle due convenzioni, europea e americana. Ad esempio nella Figura 5 la vista evidenziata è quella contrassegnata dalla freccia A.

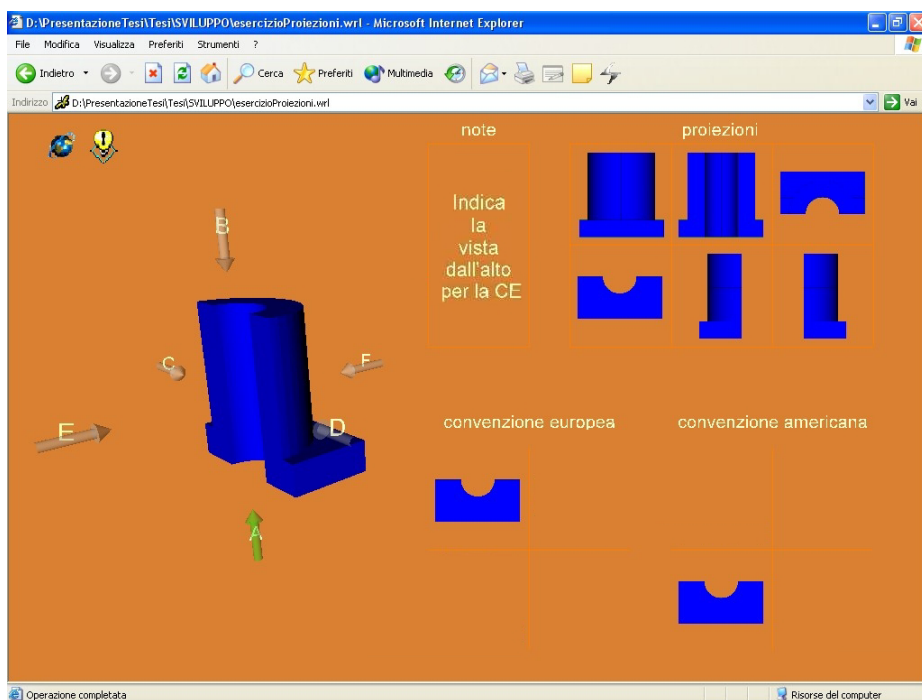


Figura 5: definizione della CE e CA

Il completamento dell'esercizio richiede all'utente di selezionare fra le proiezioni a disposizione, in sequenza, la vista dall'alto e quella laterale.

Il sistema, verificata la correttezza della scelta, provvederà automaticamente ad orientare in maniera opportuna la vista selezionata in modo da costruire un sistema coerente di proiezioni.

La Figura 6 riporta lo stato finale dell'applicazione, in seguito al completamento dell'esercizio.

Come si può notare il sistema ha ruotato le viste laterali congruentemente con l'orientazione scelta per la vista principale.

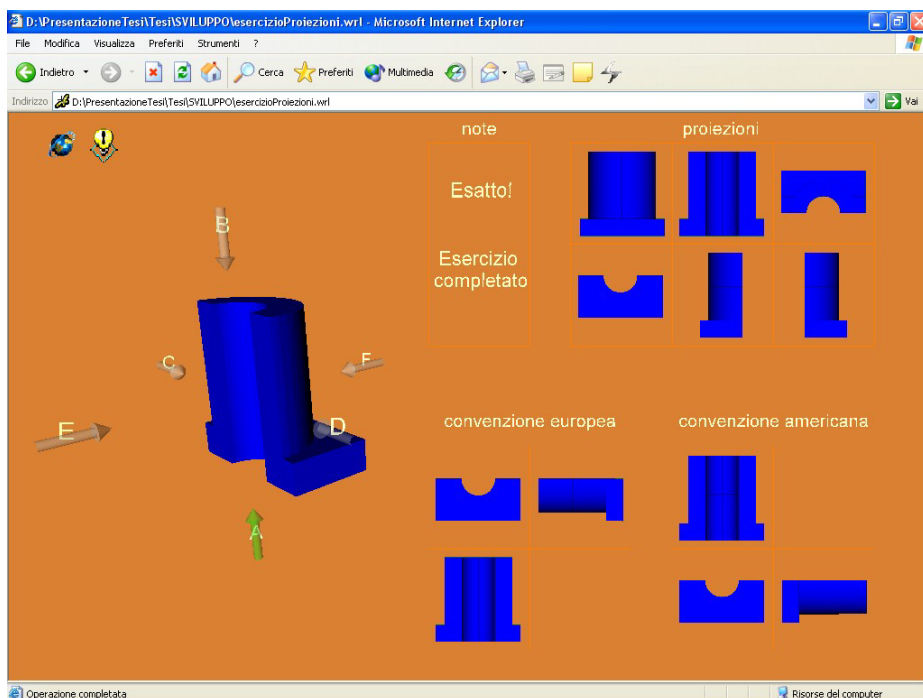


Figura 6: stato finale

## 4. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata sviluppata la prima versione di uno strumento di supporto alla didattica che, inserito in un contesto di *e-learning*, potrebbe risultare di notevole utilità nell'apprendimento del metodo delle proiezioni ortogonali, argomento centrale dei corsi di disegno tecnico.

Allo stato attuale, si pensa di includere alcune istanze dell'applicazione sul portale della didattica della Facoltà di Ingegneria dell'Università della Calabria (<http://icampus.deis.unical.it>). Gli studenti potranno in tal modo effettuare il Computer Based Training e disporranno inoltre, di un forum di discussione e di altro materiale didattico per lo studio della materia.

Dai test effettuati si ritiene che il linguaggio VRML97 è risultato pienamente confacente allo scopo prefisso e ha permesso di sviluppare un'applicazione "leggera" e di semplice fruibilità da parte dell'utente. Si prevede, altresì, di procedere alla migrazione del sistema alla tecnologia X3D non appena risulteranno evidenti i miglioramenti in termini di prestazioni e di stabilità (in particolar modo per quanto riguarda i player disponibili per questo formato).

Attendendo l'evoluzione dei sistemi web 3d si può considerare la realizzazione di versioni successive dell'applicazione che, sicuramente, presenta ampi margini di miglioramento.

Probabilmente, in revisioni future si farà un'ulteriore sforzo per migliorare la navigabilità del mondo VRML, che attualmente limita la libertà di movimento dell'utente.

Anche l'interfaccia grafica potrebbe subire dei cambiamenti, ad esempio, si potrebbe pensare di suddividere l'area di lavoro in più parti separate con più istanze del browser.

Un aspetto critico riguarda la creazione delle proiezioni che dovrebbe avvenire in modo dinamico in versioni successive.

Come succede per la maggior parte dei sistemi residenti su rete, un ulteriore chiave di sviluppo deriverà dai suggerimenti provenienti dagli utenti finali dell'applicazione, i quali avranno la facoltà di sottoporre all'attenzione degli sviluppatori le proprie proposte su nuove tipologie di esercizi.

## **Bibliografia**

TORNINCASA, Stefano. *Presentation of the WEBD project*, In: Proc. of International Workshop on "New WEB Technologies for collaborative design, learning and training", Turin, Italy, 13-14 November, 2003

LANZOTTI, Antonio et al. *Quality Evaluation of Learning and Training Project: the WEBD Project*, In: Proc. of International Workshop on "New WEB Technologies for collaborative design, learning and training", Turin, Italy, 13-14 November, 2003

---

## EXPERIENCIAS SOBRE LA IMPLANTACION EN RED DE UN PROCEDIMIENTO PARA PRÁCTICAS DE NORMALIZACIÓN.

DÍAZ BLANCO, Ignacio José; FERNÁNDEZ VILLEGAS, Antonio; LÓPEZ  
VÁZQUEZ, José Antonio; SOUTO LÓPEZ, José Ramón

Universidad de A Coruña, España  
E. U. de Diseño Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial  
[jdiazb@cdf.udc.es](mailto:jdiazb@cdf.udc.es)

Universidad de A Coruña, España  
E. Politécnica Superior, Departamento de Construcciones Navales  
[afeville@udc.es](mailto:afeville@udc.es)

Universidad de A Coruña, España  
E. U. Politécnica, Departamento de Ingeniería Industrial  
[jalv@cdf.udc.es](mailto:jalv@cdf.udc.es)

Universidad de A Coruña, España  
E. U. de Diseño Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial  
[jrs1@cdf.udc.es](mailto:jrs1@cdf.udc.es)

### RESUMEN

Se describe el proceso de implementación de un procedimiento para prácticas de normalización, basado en el presentado, por los profesores de este equipo, en el III CONGRESO IBEROAMERICANO DE EXPRESIÓN GRÁFICA PARA LA INGENIERÍA Y LA ARQUITECTURA (Cibergraf 2001, La Habana, Octubre 2001). Se exponen las circunstancias e inconvenientes encontrados y se presentan las alternativas adoptadas.

Entre las limitaciones de la plataforma, en que se iba a implantar, la más importante fue la de no permitir trabajar ON LINE, lo que obligó a cambiar el diseño inicial, presentado en el XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA (Santander, Junio 2002), y a buscar alternativas para permitir que los estudiantes pudiesen realizar prácticas y auto evaluarse fuera del horario de las clases regladas e incluso fuera del propio Centro.

Las cuestiones a resolver, fueron, buscar sistemas de codificación de los Módulos Base y de los ejercicios, la elección del nivel de dificultad, dado por el tipo y el número de módulos elementales de cada uno, el sistema ISO a emplear, las vistas a determinar y la comprobación de la solución propuesta.

**Palabras clave:** Normalización, Auto Evaluación.

## 1. Introducción.

La experiencia sobre la implantación en red, de un procedimiento para prácticas de normalización, aquí expuesto, esta basado en el procedimiento presentado, por los profesores de este equipo, en el III CONGRESO IBEROAMERICANO DE EXPRESIÓN GRAFICA PARA LA INGENIERÍA Y LA ARQUITECTURA (Cibergraf 2001, La Habana, Octubre 2001).

Con objeto de poder comprender lo que se expone, sin necesidad de recurrir a los artículos previos citados, se resumen, a continuación, los datos más importantes.

Los elementos, base del procedimiento, son un cubo, que llamaremos Módulo Unidad y un plano, definido por tres puntos singulares del citado módulo, (vértices y puntos medios de las aristas y de las caras).

De la intersección del plano dado con un módulo unidad, se obtiene una pareja de sólidos elementales distintos, por su forma o por su posición relativa en el espacio, que llamaremos Módulos Base.

Una vez definidos los módulos base que forman el sistema, se pueden componer los que llamaremos Módulos Unión, Módulos Interferencia, Módulos Diferencia, y Módulos Suma.

Módulo Unión: figura 1, es aquel cuyo volumen esta formado por la unión, sin solución de continuidad, de las partes comunes y no comunes, de dos módulos base diferentes o iguales, pero en distinta posición espacial y situados ambos dentro del mismo modulo unidad.



Figura 1: Modulo Union



Figura 2: Modulo Interferencia

Módulo Interferencia: figura 2, es aquel cuyo volumen del está formado por las partes comunes de dos módulos base diferentes o iguales, pero en distinta posición espacial y situados ambos dentro del mismo modulo unidad.

Módulo Diferencia: figura 3, es aquel cuyo volumen está formado por la parte no común de un módulo base considerado como minuendo y otro modulo base, diferente o igual, pero en distinta posición espacial, como sustrayendo y situados ambos dentro del mismo modulo unidad.

Módulo Suma: figura 4, es aquel cuyo volumen es el resultante de la suma, sin solución de continuidad, de los volúmenes de dos o más módulos, de igual o de distinto tipo, con o sin repetición.



Figura 3: Módulo Diferencia



Figura 4: Módulo Suma

## 2. Desarrollo del proyecto

A la hora de implantar en la red el programa, cuyo diseño se, presento en el XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA GRAFICA (Santander, Junio 2002), nos comunicaron que se había modificado la plataforma que inicialmente había previsto usar la Universidad y no se permitía trabajar ON LINE, además, para facilitar la retirada de la red, cada paquete de información, no debía superar la capacidad de almacenamiento de un disquete de 1,44 MB, así como que los programas necesarios para su resolución o entendimiento, si fuese el caso, no resultaran gravosos para la economía estudiantil.

Con estas nuevas limitaciones, era inviable la implantación del programa, tal cual había sido diseñado y ante la perspectiva de no poder contar con esta herramienta, se decidió replantear todo el procedimiento, para cumplir con las limitaciones de la plataforma, diseñando una nueva aplicación, más manejable y hacer posible su implantación en la red, que aunque no gozase de las ventajas de la interactividad, dado el coste de los programas de apoyo necesarios, aprovecharse las ventajas del sistema de módulos.

El reto que presento la búsqueda y la selección de los algoritmos, para calcular y comprobar los resultados obtenidos, fue una experiencia interesante.

### Datos de partida

La primera toma de decisiones consistió en establecer los datos y cuestiones a resolver en cada ejercicio y los criterios establecidos fueron los siguientes:

Formato a emplear: el UNE A 4, una lámina para cada enunciado y una vez que se baje de la red, permita resolverlo directamente sobre la misma lámina y otra con cada solución y que, además, conste de unas vistas en dibujo isométrico para facilitar su interpretación.

Sistema de representación: Se empleara el ISO 1º Diedro o el ISO 3º Diedro, indistintamente.



Vistas auxiliares: no se emplearán.

Vistas solicitadas: Tres vistas principales, según la norma UNE 1-032-82 (ISO 128-82): la planta, el alzado principal y el alzado lateral derecho o izquierdo.

Módulo Unidad: El valor de su lado será uno de los datos y que para su trazado permita emplear, tanto, escalas de reducción, como, de ampliación.

Escala: En la resolución del ejercicio, se usara la máxima escala, según la norma UNE EN ISO 5455, que admita la lámina y se dejara constancia de la misma.

Acotación: Se realizara según la norma UNE 1-039-94 (ISO 129:1985).

Notación de los puntos notables del Módulo Unidad: buscar un algoritmo para comprobar que los tres puntos dados determinan un plano o éste no coincide con una cara del propio modulo.

Notación de los ejercicios: establecer un código para identificar a cada uno de ellos en función del modulo base o el tipo de los módulos que lo formen.

Niveles de prácticas: Se establecieron tres niveles de prácticas en función del tipo de prácticas a realizar:

1º Nivel: Representación de vistas.

2º Nivel Representación de vistas y su trazado a escala.

3º Nivel Representación de vistas a escala y su acotado.

Dentro de cada nivel, dado que los diversos tipos de módulos o el número de los que lo componen, ya implican un grado de dificultad, no se considero necesario una mayor subdivisión.

Paquetes de información: Tanto los enunciados como las soluciones correspondientes estarán archivados, en paquetes que no superen la capacidad de almacenamiento de un disquete de 1,44 MB,

## **Alternativas adoptadas.**

Fueron, para cada ejercicio, las siguientes:

Sistema de representación: Se determinó, de manera aleatoria, entre el sistema ISO 1º Diedro y el ISO 3º Diedro. Vistas dadas

Vistas solicitadas: Además de la planta y el alzado principal se solicita la tercera vista, que se determinó de manera aleatoria, entre el alzado lateral derecho o el alzado lateral izquierdo.

Lado del Módulo Unidad: Se determinó, de manera aleatoria, tanto su valor, entre 5 y 80, como su unidad de medida, entre el milímetro, y el hectómetro, para permitir usar distintas escalas, tanto, de ampliación, como, de reducción.

Notación de los puntos notables del Módulo Unidad: Al asignar valores a las coordenadas de los puntos del módulo Unidad se utilizaron valores enteros y al buscar una relación de ordenamiento de los mismos, se comprobó que tomando los valores de las coordenadas de cada punto, sin comas, como un número expresado en un sistema de numeración de base tres, al convertirlos a la base 10 se corresponde con la serie aritmética del cero al veintiséis, figura 5, lo que simplifica considerablemente el algoritmo de cálculo de la ecuación del plano dado por tres puntos.

Notación de los ejercicios: Para los Módulos Base se utiliza una notación

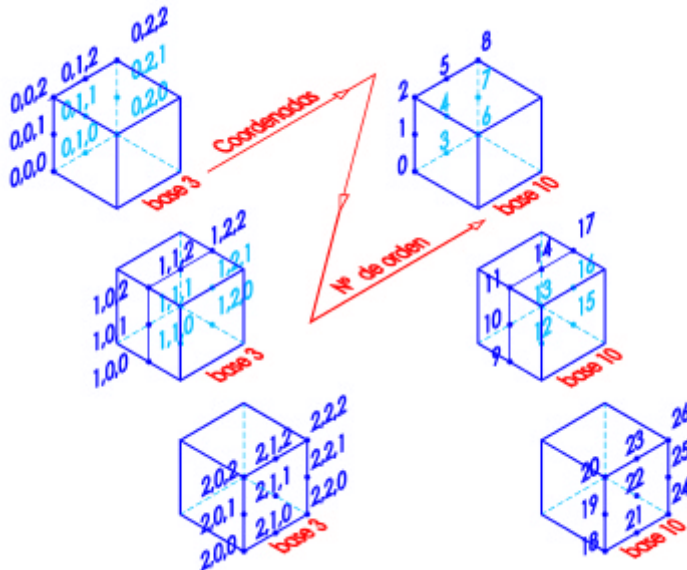


Figura 5: Puntos notables del Módulo Unidad: Coordenadas y números de orden

formada por una de las letras V, E ó A, en función del nivel del ejercicio, seguida de la letra M, los tres números que definen el plano, ordenados de menor a mayor seguido del número de un cuarto vértice del módulo, para indicar la parte del volumen, del Módulo Unidad, considerado, la letra E o A, según el sistema ISO empleado sea el 1º Diedro o el 3º Diedro y por último, la letra D o I, según el alzado pedido sea el derecho o el izquierdo.

Por ejemplo *EM 0317 2106 AI* corresponde a un Módulo Base de 2º nivel, vistas y escala, definido por el plano dado por los puntos 3, 17, 21 y el vértice 6 del Módulo Unidad, del que se piden, en ISO 3º Diedro, la planta, el alzado principal y el lateral izquierdo.

Para los restantes tipo de módulos la notación está dada por una de las letras V, E ó A, en función del nivel del ejercicio, seguida de la inicial U, I, D o S, correspondiente al tipo de módulo considerado y la secuencia de los cuatro números de la notación del 1º módulo seguido de los cuatro números de la notación del 2º módulo, seguidos de la letra E o A, según el sistema ISO empleado sea el 1º Diedro o el 3º Diedro, la letra D o I, según el alzado pedido sea el derecho o el izquierdo.

Por ejemplo: *AS 0809 1321 1117 2400 ED* corresponde a un Módulo Suma de 3º nivel, vistas, escala y acotado, cuyo 1º módulo está definido por el plano dado los puntos 8, 9, 13 y su vértice 21 y su 2º módulo está definido por el plano dado los puntos 11, 17, 24 y su vértice 0 del que se piden, en ISO 1º Diedro, la planta, el alzado principal y el lateral derecho.

### 3. Descripción del procedimiento.

Aunque el sistema se estaba utilizando para elaborar prácticas de clase y exámenes, el procedimiento no estaba depurado, suficientemente, para que su aplicación no fuese laboriosa, por lo que hubo que replantearse tanto la información a suministrar, como la solicitada.

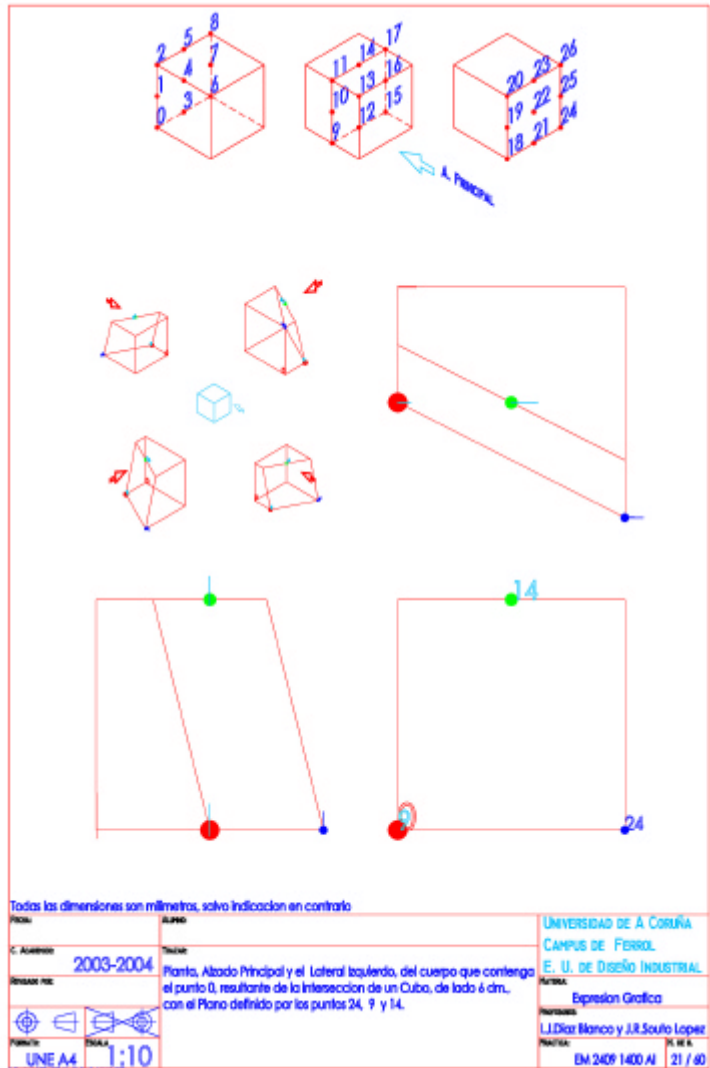
Para probar los algoritmos de cálculo y comprobación de los datos de los Módulos Base, se utilizó una hoja de cálculo EXCEL, Tabla 1

MODULO: BASE				PUNTOS				
nº	Sistema	Lateral	L. Modulo	unidad	1º	2º	3º	Vertice
1	ISO 3	IZQ	79	Dm	13	21	3	11
2	ISO 3	IZQ	24	m	14	15	22	9
3	ISO 1	DER	62	cm	6	17	8	26
4	ISO 3	IZQ	73	m	12	13	20	0
5	ISO 3	IZQ	12	cm	2	24	7	9
6	ISO 1	DER	39	m	14	25	23	18
7	ISO 3	DER	50	Hm	15	19	22	20
8	ISO 1	IZQ	15	dm	14	22	20	18
9	ISO 3	DER	49	mm	2	17	24	26
10	ISO 1	IZQ	29	dm	6	18	25	24
11	ISO 3	DER	62	m	16	19	6	18
12	ISO 3	DER	40	Dm	3	11	4	26
13	ISO 3	IZQ	30	dm	16	23	1	6
14	ISO 1	IZQ	58	Dm	3	18	26	6
15	ISO 3	IZQ	57	mm	7	11	24	17
16	ISO 3	IZQ	9	m	3	17	8	20
17	ISO 3	IZQ	62	m	8	17	4	2
18	ISO 1	IZQ	39	cm	1	11	3	2
19	ISO 1	DER	18	m	7	21	26	2
20	ISO 3	IZQ	33	Hm	12	24	5	6

Tabla 1: Hoja de cálculo de los Datos

Para los datos de los restantes tipos de módulos, al tener que determinar los de dos módulos tipo, para cada ejercicio, son prácticamente un duplicado de las anteriores.

Para elaborar las soluciones de los ejercicios, se utilizó el programa AUTOCAD de Autodesk, figura 6



. Figura 6: Ejercicio resuelto

Para cumplir con la limitación de la capacidad del disquete de 1,44 Mb., cada paquete de prácticas, consta de una colección de enunciados o de soluciones de ejercicios, de un solo tipo de módulos y de un solo nivel, archivados en ficheros independientes, en formato PDF.

El número de ejercicios por paquete, oscila entre 10 y 20 ejercicios, dependiendo de si son datos o soluciones y del tipo de modulo.

#### **4. Conclusiones.**

Las limitaciones de la plataforma han sido un lastre enorme para poder sacarle toda su potencialidad al procedimiento de diseño de prácticas empleado, mas parece estar pensado para su uso en materias de Humanidades que en las de Ingeniería.

En aras a la calidad de la enseñanza, habrá que sensibilizar a las autoridades académicas para que busquen otras soluciones, bien cambiando de plataforma o bien subvencionando los programas necesarios al alumnado.

El programa Autocad tiene notorias limitaciones, entre otras, la exportación de ficheros a otras aplicaciones, por lo será conveniente plantearse su uso en un futuro, estudiando otras alternativas.

#### **5. Desarrollo futuro.**

Como posibilidad de mejora se estudia, tanto desde el punto de vista técnico como económico, en lugar de representar las soluciones, en dibujo isométrico, usar un sistema de visor que permita manejar directamente la pieza y al que los estudiantes puedan acceder, en calidad de usuarios o de propietarios.

---

## **EL MEDIO COMPUTACIONAL COMO MATERIAL DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA GRÁFICO-VISUAL**

---

LÓPEZ, Roberto; ANIDO, Mercedes

Universidad Nacional de Rosario, Argentina  
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas  
Correo electrónico: anidom@fceia.unr.edu.ar

### **RESUMEN**

La Geometría como componente estructural tiene un papel fundamental en el tratamiento del espacio, sus relaciones, su representación; y una importancia incuestionable tanto por sus aplicaciones prácticas en el diseño y graficación, como por su rol formador de un pensamiento lógico deductivo. Especialmente cabe destacar la relevancia, en el desarrollo tecnológico, del estudio y conocimiento de las superficies geométricas como modelos y constituyentes del diseño a escala industrial y artística. Una variedad de estudios y nuestra experiencia directa, revelan que el conocimiento de la Geometría demostrado no solo por los estudiantes sino "incluso por graduados en Arquitectura e Ingeniería es deficiente". Es importante que en Facultades, que en general, no poseen un control adecuado sobre las hipótesis previas al aprendizaje en un primer año de la carreras, se investigue en una etapa introductoria, como el alumno interpreta las situaciones del espacio, con especial énfasis en las relaciones entre configuraciones en tres dimensiones y sus representaciones en dos dimensiones. En respuesta a estos cuestionamientos en la Universidad Nacional de Rosario existen dos Proyectos Institucionalizados, una de cuyas investigaciones presentamos en este trabajo, sobre las "situaciones adidácticas" que surgen a partir de la interacción entre: "conocimiento geométrico", "alumno" "docente" "medio" computacional.

Palabras clave: Herramientas CAS, Superficies Regladas, Situaciones "Adidácticas", Interacción entre pares de alumnos

### **1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEO DEL PROBLEMA**

La Geometría como componente estructural tiene un papel fundamental en el tratamiento del espacio, sus relaciones, su representación y una importancia incuestionable tanto por sus aplicaciones prácticas en el diseño y graficación, como en cuanto a su rol formador de un pensamiento lógico deductivo.

Especialmente cabe destacar la relevancia en el desarrollo tecnológico, del estudio y conocimiento de las superficies geométricas como modelos y constituyentes del diseño, a escala industrial y artística. Una variedad de estudios y nuestra experiencia directa, revelan que el conocimiento de la Geometría demostrado no solo por los estudiantes sino "incluso por profesionales graduados en Arquitectura e Ingeniería es deficiente". [20].

En el primer año de dichas carreras se han presentado históricamente dificultades por carencias o deficiencias de formación, situación que se ha agravado en Argentina en los últimos años y se revela en reiterados fracasos, altos índices de deserción en las asignaturas básicas que requieren de un manejo fluido de las herramientas geométricas[4]

Algunos de los obstáculos para el aprendizaje detectados son:

- Deficiencia de saberes anteriores, y escaso conocimiento de la geometría euclídeana elemental.
- Dificultades de utilización del lenguaje gráfico y simbólico y en consecuencia imposibilidad de utilización frente a un problema del recurso de movilidad entre los registros verbales, numéricos, simbólicos y gráficos que facilitaría su análisis.
- Dificultad para visualizar en el plano y en el espacio ordinario las propiedades de los vectores.(por ejemplo, cómo incide, en un vector geométrico, el producto por un escalar según sea el signo del mismo o su valor absoluto en relación a la unidad).
- Dificultades en la partición del espacio en octantes
- Dificultades en el manejo bidireccional de la relación entre  $R_2$  y  $R_3$ , y entre el plano y espacio ordinarios.
- Carencias en el conocimiento y manejo de los sistemas de proyecciones
- Dificultades en la comprensión y construcción de un lugar geométrico dado por una propiedad y recíprocamente en el reconocimiento del lugar geométrico ya construido [4]

Por ejemplo, pese a la importancia del estudio de la Superficies Geométricas como uno de las herramientas más potentes para la modelización en Matemáticas Aplicadas[10] es, no obstante, uno de los temas donde la pobreza del rendimiento académico y la naturaleza de los obstáculos del aprendizaje desconciertan a algunos docentes que no puede entender el porqué de las dificultades del tema: ¿Cómo es que los alumnos no "ven", no comprenden por ejemplo la generación de una superficie cilíndrica o cónica cuando la curva directriz no es una circunferencia? ¿o de revolución cuando las generatrices no son rectas? Cuando seccionan, en otro ejemplo un hiperboloides de una hoja con planos que se alejan del eje de simetría, cómo hacerles comprender, en forma significativa (no solo por el análisis algebraico de los coeficientes de las curvas solución de un sistema de ecuaciones) que las hipérbolas en un determinado punto trastocan sus ejes real e imaginario? ¿Cómo lograr que visualicen esta superficie como superficie reglada?[13]. En respuesta a estos cuestionamientos en la Universidad Nacional de Rosario existen dos Proyectos Institucionalizados: "La Ingeniería Didáctica en el diseño y seguimiento de unidades curriculares" y "La enseñanza de la Matemática con herramientas computacionales" donde la investigación se centra en las observaciones de las situaciones adidácticas que surgen a partir de la interacción entre : "conocimiento", "alumno" y " docente" en un "medio" computacional.[8]

Estas investigaciones, pretenden verificar la viabilidad, desde el punto de vista didáctico y matemático, de un proceso de estudio integrado de Geometría Descriptiva y Geometría Analítica que considere la complementariedad del pensamiento analítico con el visual, en la mayoría de los contenidos de dichas asignaturas tratando de favorecer el estudio, como proceso integrador de estas disciplinas y mejorar la calidad del logro de los aprendizajes, en estudiantes de Primer Año de las Carreras de Ingeniería. Comprender asimismo como objeto matemático, la dimensión práctica y modelizadora de esta disciplina y lograr así desarrollar capacidades de tipo cognitiva, metacognitiva y de formación personal – afectiva necesarias para una formación profesional de calidad.

## **2. LA EPISTEMOLOGÍA COMO MARCO TEÓRICO ESENCIAL**

Muchos cursos de Ingeniería y Arquitectura, parecen concentrarse en el contenido ya manufacturado del conocimiento, poniendo el énfasis en reproducir ciertas construcciones o teoremas y aplicarlos en situaciones controladas. Esto oculta los aspectos creativos y de resolución de los problemas del tema. ¿Debería, quizás, darse más énfasis a la forma en que los matemáticos han pensado y creado este concepto abstracto de superficie ? ¿Cómo ha surgido la teorización actual tanto en la Geometría Sintética como en la Analítica o la Diferencial?

La naturaleza del problema didáctico y la necesidad de orientar las investigaciones en el tema, nos llevan al terreno de la epistemología en un análisis de la génesis de la concepción de superficie realizada por algunos geómetras. Desde una perspectiva epistemológica nos interesa profundizar la naturaleza del conocimiento geométrico identificando su génesis , estructura y modificaciones en el contexto social y cultural en el que se desarrolla y que incluso nos lleva a la consideración , en el momento actual, del “medio informático “.

Citaremos a dos prestigiosos geómetras italianos: Alejandro Terracini y Federico Enriques. Nos dice Enriques [11] que la reconstitución histórica de la ciencia ha evidenciado que la Geometría, antes de alcanzar el grado racional, atravesó un grado empírico, en que las adquisiciones eran fruto de observaciones y experiencias.

Nuestra representación intuitiva del espacio surge primero de los conceptos particulares y sube por abstracciones sucesivas a los conceptos más generales. Aun cuando la Lógica pueda ayudar al proceso de abstracción constructivo de los conceptos, no puede por sí sola sustituir a las asociaciones, psicológicas que constituyen este mismo proceso. Si no quiere una abstracción ilusoria, se necesita educar la, capacidad representativa de lo abstracto recurriendo también a medios experimentales. En especial el oficio del análisis lógico en este proceso es distinguir los actos de intuición, y ayudar para abstracciones sucesivas; así se prosigue el desarrollo de la intuición geométrica que alcanza a espacios intuitivos superiores diversamente interesantes. La idea que comúnmente nos formamos de la "línea y de la superficie" obtenida por abstracción de pocos casos particulares es mucho menos general que la adoptada por el geómetra. El conocimiento de la superficie de puntos hiperbólicos y de las unilaterales extiende el concepto común de la superficie permitiendo abarcar con la intuición mayor número de casos. Con el progreso de esa intuición se puede llevar a considerar otras situacio-



nes y a avanzar en el conocimiento geométrico. Deberían pues estimularse los tipos de experiencia que la favorecen. El resultado de las observaciones y de las experiencias autoriza, por tanto, prácticamente la Geometría que procede de la intuición; pero teóricamente queda siempre la duda sobre el resultado de experiencias más precisas, y esta duda, es motor de los procesos de demostración. En coincidencia con esa posición epistemológica dice Terracini [18] que desde épocas remotas la Geometría está bajo el influjo de dos fuerzas, ambas poderosas. Por una parte las necesidades creadas por las aplicaciones; por otra parte la libertad del espíritu humano, que puede crear por sí mismo arbitrariamente el objeto de estudio matemático. Las fuerzas exteriores suministran los primeros puntos de partida y los interiores tienen que someterlos a una elaboración que los lleva a desarrollar una teoría general y abstracta. Al examinar la formación de los primeros conceptos relativos a la teoría de superficies se ve que originariamente las superficies solo eran concebidas como contenedores de cuerpos sólidos. Aún Euler hace referencia a la "superficiebus corporum". La desvinculación del soporte material recién la hace Gauss en su obra fundamental "Disquisitiones generales circa superficies curvas" en la que concibe a las superficies no como límite de un sólido sino como un sólido una de cuyas dimensiones se considera desvanecida. Nos remarca Terracini, con signos de admiración que pasó casi un siglo entre la obtención de la ecuación de una curva plana y la ecuación de una superficie en el espacio... ¿Cómo extrañamos de la dificultades de los alumnos al construir un concepto que a los matemáticos les llevó siglos?

Van Hiele propone un modo en que se estructura el aprendizaje de la Geometría, coincidente con el conocimiento geométrico que se construye por las abstracciones sucesivas, que hemos mencionado en el pensamiento de Enriques. El trabajo de Van Hiele presenta un modelo de estratificación, en una serie de niveles de conocimiento, que permiten categorizar los distintos grados de representación del espacio, en niveles. Este modelo de estratificación del conocimiento ha sido validado por psicólogos soviéticos. Las investigaciones de Van Hiele y de los psicólogos soviéticos han demostrado que el paso de un nivel a otro es independiente de la edad, muchos adultos se encuentran en un nivel 0.

Lo importante de estos análisis es que existe coincidencia en cuanto a que: "Un profesor a través de los contenidos y los métodos de enseñanza puede provocar" el paso de un nivel a otro.[1]

Más recientes y referidos al ámbito del alumno de primer año de la universidad, los trabajos de diagnóstico y desarrollo de las capacidades de visualización de Velazco y Kawano[10], realizados con estudiantes de Dibujo Técnico de la escuela Politécnica de San Pablo corroboran esta hipótesis el conocimiento del espacio geométrico hay que distinguir dos modos de comprensión y expresión: el que se realiza de forma directa, que corresponde a la intuición geométrica, de naturaleza visual y el que se realiza en forma reflexiva, es decir lógica, de naturaleza verbal. Ambos modos de conocimiento geométrico pueden considerarse como fase del pensamiento. Esta distinción entre ellos es muy útil para sentar las bases de la enseñanza de la Geometría [1], [2]

### 3. LAS PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

El soporte teórico de los proyectos mencionados en la Introducción, en lo didáctico, se funda en la "Teoría de las situaciones didácticas de Brousseau"[8] y específicamente en el computador como herramienta cognitiva y generador de situaciones adidácticas. Se llama "situación adidáctica" a la situación matemática específica del conocimiento concreto que por sí misma, sin apelar a razones didácticas y en ausencia de toda indicación intencional, permite o provoca un cambio de estrategia en la que el alumno pasa a ser el gestor del conocimiento. La situación didáctica comprende una serie de intervenciones del profesor destinadas a hacer funcionar la "situaciones adidácticas" y los aprendizajes que ellas provocan.

El posicionamiento epistemológico, presta soporte teórico a los supuestos introductorios, sobre como equilibrar con la ayuda del computador las situaciones que llevan a la intuición (que, generalmente, han sido desvalorizadas), las situaciones que llevan a la formulación de conjeturas y las situaciones que llevan a la justificación.

El soporte epistemológico integra también, especialmente, la posición de Polya[16], esencial para la construcción del conocimiento geométrico al afirmar que: "Las matemáticas son consideradas como una ciencia demostrativa, éste es sólo uno de sus aspectos. La obra matemática se nos presenta, una vez terminada, como puramente demostrativa, consistente en pruebas solamente. No obstante, esta ciencia se asemeja en su desarrollo al de cualquier otro conocimiento humano. Hay que intuir un teorema, antes- de probarlo, así como la idea de la prueba antes de llevar a cabo los detalles. Hay que combinar observaciones, seguir analogías y probar una y otra vez (situaciones de acción). El resultado de la labor demostrativa del matemático, es el razonamiento demostrativo (situaciones de validación), la prueba, pero ésta a su vez, es construida mediante el razonamiento plausible, mediante la intuición (expresada en situaciones de formulación). Si el aprendizaje de las matemáticas refleja en algún grado la invención de esta ciencia, debe haber en él un lugar para la intuición, para la inferencia plausible".

Se parte del supuesto de que la utilización del computador como herramienta cognitiva, en el sentido de Jonanssen [15], favorece la aparición de situaciones de acción, formulación y validación (incluso de institucionalización). Propiamente los imprevistos de la pantalla actúan como disparadores. En el caso de la adquisición del concepto de superficie, facilitaría, las abstracciones sucesivas que permiten el desarrollo de la intuición geométrica, que lleva por ejemplo a transitar de la "situación fundamental" de construcción del conocimiento de planos-, esferas, conos, cilindros y otras- superficies- análogas con puntos elípticos o parabólicos, a la "situación" (no fácilmente imaginable) de representación de una superficie con puntos hiperbólicos, atravesada en cada punto por un plano tangente y la demostración analítica de este caso no podría mirarse más que como la anticipación de la construcción del hiperboloide reglado[11].

Específicamente en el tema superficies, la investigación que presentamos, busca dar respuesta a distintos interrogantes que se abren en un abanico de temas susceptibles de estudio. ¿Hay que demostrarlo todo? ¿Tiene sentido una Geometría sin demos-

traciones"? ¿La demostración depende del nivel o la edad? ¿Convencer es demostrar? ¿Constituye la Geometría el mejor apartado para ejemplificar las demostraciones matemáticas en clase? ¿Hasta que punto una propiedad de una figura geométrica que resista todas las posibilidades de deformación visualizables en la pantalla del computador, nos exime de la necesidad de demostración de dicha propiedad?

¿Qué medios didácticos utilizar para facilitar la abstracción que significa el conocimiento de las propiedades de las superficies? ¿Hasta qué punto la ventaja de inmediata visualización en un determinado dominio, facilita la comprensión sobre la generación de una superficie o sobre la relación que guarda con los parámetros de la ecuación que la representa algebraicamente?. ¿Los distintos tipos de software que se usa para el trazado de curvas o la representación tridimensional favorecen el proceso de conceptualización y sistematización del conocimiento geométrico? ¿Cómo hacer que se establezcan sistemáticamente lazos entre la teoría general abstracta y su contrapartida intuitiva y visual de tal manera que las herramientas informáticas sirvan para un conocimiento significativo de la Geometría?

¿Cómo introducir y aprovechar la herramienta computacional sin perder el rol fundamentalmente formativo del pensamiento de la Geometría? ¿El alumno, inventa superficies? ¿las analiza? ¿El ambiente computacional, estimula la investigación del alumno? ¿lo interesa? ¿hace significativo el aprendizaje del tema? ¿ó solo actúa como un observador pasivo?. Conocida la posibilidad de rotación o traslación o de variación del dominio ¿Cómo la utiliza el alumno? ¿trata de optimizar la visualización? ¿juega con secciones con distintos planos? ¿explora? ¿induce propiedades? ¿trata de demostrarlas? ¿O debe proponérselo el docente? ¿"inventa" superficies de interés?

En cuanto a la socialización en la relación alumno-docente-compañero en el uso de la computadora: la distribución de dos alumnos por computadora respecto a uno solo por máquina ¿hace mas lento el aprendizaje o lo agiliza en cuanto a una rápida sucesión de mutuas iniciativas por uno u otro? ¿cómo organiza el docente cada clase? ¿es posible hacerlo? ¿qué actividades diseña y propone? ¿qué tiempo deja para el libre juego de la relación dialógica entre el estudiante que explora y la computadora que responde?

A continuación adjuntamos una secuencia a de diálogos extraídos de un trabajo en el que se realiza el análisis de 16 horas de grabación e impresiones de las pantallas correspondientes, realizadas en cursos introductorios con ingresantes a la Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario. La investigación desarrolla una Ingeniería Didáctica [9] diseñada alrededor del concepto de cónicas y superficies[3].

El objetivo general fue observar registrar y tratar de reproducir situaciones de aprendizaje en las concepciones propias del marco correspondiente a la teoría de la Ingeniería Didáctica, fundamentada en los trabajos de Brousseau. Para ello se procedió al análisis y la ubicación categórica de las situaciones adidácticas que surgen del trabajo de los alumnos frente al computador.

La espontaneidad de los diálogos y la ingenuidad o desconocimiento que revelan, es típica de muchos de los alumnos ingresante y si bien en los que permanecen en el sistema son prontamente superadas, estos diálogos materializan algunas de las dificultades que hemos mencionado.

La herramienta utilizada fue MAPLE V (R5), herramienta CAS (Computer Algebraic System) como proyecto del Symbolic Computation Group de la Universidad de Waterloo (Ontario, Canadá), con soporte del National Sciences and Engineering Research Council of Canada. Se caracteriza por poseer una sintaxis similar al lenguaje matemático.

#### 4. PROPUESTA DE ACTIVIDADES RELATIVAS AL PARABOLOIDE HIPERBÓLICO.

Esta superficie conocida como "silla de montar", debido a su forma, es la más difícil de visualizar cuando no es posible usar la computadora. La elección del tema se fundamenta en el interés que en el ciclo profesional de la Ingeniería Civil tiene el estudio de los cascarones con forma de paraboloides hiperbólicos, como superficie reglada. Esta propiedad la hace adecuada para su ejecución en madera. Además las cubiertas de concreto reforzado con esa forma ofrecen muchas posibilidades desde el punto de vista práctico y estético, y pueden obtenerse con facilidad mediante cortes y uniones de figuras mediante cortes y uniones de figuras más diversas.

Consideremos el ejemplo:

$$\frac{Y^2}{4} - \frac{X^2}{9} = Z$$

Analiza intersecciones y proyecciones. Efectúa rotaciones cambiando los datos del comienzo.

Veamos que resulta al efectuar la intersección con el plano  $Z = 0.5$

¿De qué curva se trata? ¿Qué ocurre si nos alejamos del origen de coordenadas, en sentido positivo y negativo? Si ahora interceptas con planos paralelos a los planos XZ e YZ, ¿qué obtienes?

Proyecta sobre el plano XY y describe lo que visualizas.

#### 5. DIÁLOGOS ENTRE DOS ALUMNOS Y UNO DE LOS PROFESORES QUE INTERVIENEN

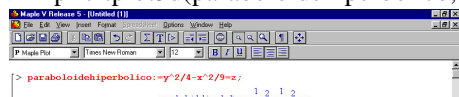
Ingresan al aula. A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> con el profesor P a cargo de la clase práctica. Se sientan frente a la misma computadora, que utilizaron en las clases anteriores, y comienzan a resolver la guía del Laboratorio.

Al ingresar los comandos los alumnos proponen tentativamente, en base a su experiencia con otras superficies, intervalos para cada variable que les permitan obtener una graficación en la pantalla..

>paraboloidhiperbolico:=y^2/4-x^2/9=z;

A<sub>2</sub>: Las variaciones tirámelas en "16" para "x", "y" en "4", y "z" en "10".

>implicitplot3d(paraboloidhiperbolico,x=-6..6,y=-5..5,z=-10..10);



A<sub>2</sub>: comienza a manipular la imagen utilizando todas las funciones del paquete “3d”.

A<sub>1</sub>: ¡Ponele los ejes!

A<sub>2</sub>: ¿Por qué “hiperbólico”?

A<sub>1</sub>: Porque así tenés una hipérbola y así tenés una parábola. Si vos lo cortás así, tenés todas parábolas; y si lo cortás así, tenés todas hipérbolas.

A<sub>2</sub>: No, si lo corto así, tengo todas rectas.

A<sub>1</sub>: Vamos a hacer los planos.

A<sub>2</sub>: ¿Con qué planos?

A<sub>1</sub>: Con cualquiera.

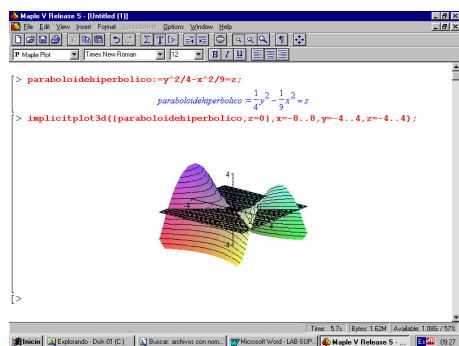
A<sub>2</sub>: Esto es conocido como “silla de montar”. ¿Viste? “Debido a su forma...” ( *Comienza a leer la guía.*)

A<sub>1</sub>: Mirá, acá se ve: si lo cortás, tenés todas parábolas. Si lo cortás por abajo, te dan todas...

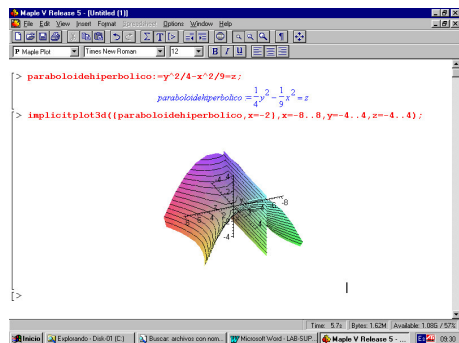
A<sub>2</sub>: No. Pongamos “implicitplot3d”.

A<sub>1</sub>: ¿“hiperboloide parabólico”?

A<sub>2</sub>: ¡“paraboloide hiperbólico”! A “z” ponele “0,5”. “x” varía entre “ -8” y “8”, “y” varía entre “-4” y “4”, y “z” varía entre “ -4” y “4”.



A<sub>2</sub>: Quiero verla.



A<sub>2</sub>: ¿Qué es eso?

A<sub>5</sub>: No sé, me equivoqué, puse “1/z” y mirá lo que quedó. ( *Comienza a “experimentar” con la figura: varía las vistas, ingresa la función de animación, etc.*)

>implicitplot3d({paraboloidehiperbólico,  
z=0,5},x=-8..8,y=-4..4,z=-4..4);

A<sub>1</sub>: Viste, mira, ahí tenés la hipérbola. ¿Viste? Si la cortás así... A ver, pone los ejes.

A<sub>2</sub>: Hagamos “z=0”

>implicitplot3d({paraboloidehiperbólico,  
z=0},x=-8..8,y=-4..4,z=-4..4);

Gráfica.

A<sub>2</sub>: Hipérbola. Ahora vamos a poner “x= -2”.

A<sub>1</sub>: Te va a dar una hipérbola al revés.

>implicitplot3d({paraboloidehiperbólico,  
x=-2},x=-8..8,y=-4..4,z=-4..4);

Los Alumnos que se hallan trabajando en la computadora situada a la izquierda de A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> llaman a P:

A<sub>5</sub>: Sin querer puse “1/z” y quedó este d e-sastre.

P: ¿Por qué no investigan? ¡Qué bien que se ve! Tenés paraboloides...

A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> miran con curiosidad la gráfica de A<sub>5</sub>.

P: Es que tenés lindas combinaciones ahí para investigar.

A<sub>2</sub>: Mientras no te pase en el parcial... (Se dirige a A<sub>1</sub>). ¿Ahora cómo lo cortamos? ¿Si lo dividimos así?

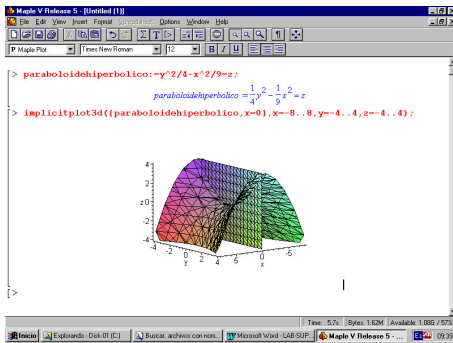
A<sub>1</sub>: Te va a dar “parábola”.

A<sub>2</sub>: No, lo corto así y así.

A<sub>1</sub>: Así, te da “parábola”.

A<sub>2</sub>: Vamos con “x=0”.

>implicitplot3d({paraboloidehiperbólico,x=0},x=-8..8,y=-4..4,z=-4..4);



A<sub>2</sub>: Parábola, también, ¿no?

A<sub>1</sub>: Ahá. Linda, ¿eh?

Manipulan la gráfica.

A<sub>2</sub>: ¿Qué dice que hay que hacer ahora?

No, hemos finalizado. (Guarda la guía entre sus apuntes.)

### SITUACIÓN ADIDÁCTICA DE ACCIÓN Y FORMULACIÓN.

Ambos Alumnos continúan trabajando, por su cuenta, sobre la última gráfica, logrando intersectar tres planos al mismo tiempo (en base a la idea que habían comentado con P3). Intentan agregarle animación a la figura pero en la pantalla aparece “error”. Luego de varios intentos, se dedican a completar unos cuestionarios suministrados por la cátedra.

## 6. INTERPRETACIÓN

Estos diálogos, son solo una parte de observaciones que, en su conjunto total, nos muestran que, con respecto al modo de apropiación de los contenidos por parte de los alumnos, es posible distinguir, a los fines del análisis, tres momentos estrechamente vinculados entre sí:

Primer momento: la curiosidad que suscita el uso de la PC, el impacto visual que provocan las imágenes del programa actúan, en principio, como fuente de motivación. En este momento predominan las situaciones “adidácticas de acción”, donde los alumnos

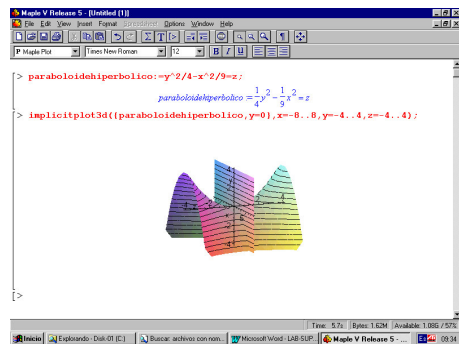
A<sub>1</sub>: Parábola.

A<sub>2</sub>: Muy bien.

A<sub>1</sub>: Y ahora faltaría con “y”.

A<sub>2</sub>: Poné “y=0”.

>implicitplot3d({paraboloidehiperbólico,y=0},x=-8..8,y=-4..4,z=-4..4);



interactúan con la computadora, y mediante un modelo teórico implícito traducido en el uso de nociones protomatemáticas proceden a la resolución del problema.

Segundo momento: tiene lugar a partir del diálogo, la discusión y el intercambio de información entre ambos alumnos, con intervenciones ocasionales de las docentes y de compañeros de otros grupos. Predominan las situaciones “adidácticas de formulación”  
Tercer momento: pueden encontrarse, incluso en algunos diálogos, “situaciones adidácticas de validación”.

## 8. CONCLUSIÓN

Las observaciones realizadas muestran que el trabajo con herramientas computacionales en el “Taller de prácticas” facilita el recorrido de las fases del aprendizaje que propone Van Hiele, ya mencionadas.

En el trabajo de aulas se verifican también las etapas que respecto del desarrollo de la percepción espacial señala Pallascio [21]:

Todo esto apuntala nuestro supuesto inicial en cuanto a que la influencia del método de enseñanza en la formación de un pensamiento geométrico visual y un pensamiento formal, debería ser valorizada especialmente en los primeros años de la universidad, como una superación del paradigma de la clase expositiva tradicional.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alsina Catalá, C., Fortuny, J. Y Burgués, C. (1987) Invitación a la Didáctica de la Geometría. Ed. Síntesis: Madrid. .
- [2] Alsina Catalá, C. y otros.; “¿Por qué Geometría?”. Madrid (España): Editorial Síntesis, 1997.
- [3] Anido, M ; C6, P ; del Sastre, M ; Medina, J. Panella. E " Una ingeniería didáctica diseñada alrededor del concepto de cónicas y superficies". Actas EMCI 2000
- [4] Anido De López, M., Co, P. Y Guzman= M. (1999) "La Enseñanza de la Geometría en el Nivel Universitario con Herramienta Maple". Revista IRICE
- [5] Anido, M.; Rubio Scola, H.; "Un Ejemplo de Aprendizaje en el Sentido de Polya". México D.F (México): Relime, Vol. 3, 1999.
- [6] Anido de López M.; Rubio Scola H. "Un programa sobre el uso de herramientas CAS". Revista Lecturas Matemáticas (Vol. 21, N° 1). Editada por la Sociedad Colombiana de Matemática Año 2000 Con Referato
- [7] Anido de López M.; López R., Rubio Scola H (2001) "Una ingeniería didáctica construida alrededor de las familias de supercónicas como sistema genérico organizacional" XIV Congreso Internacional de Ingeniería ' Gráfica. Santander. España
- [8] Brousseau, G. (1987) "Fondements et méthodes de la didactique". Recherches en Didactique des Mathématiques, vol. 7.2. La Pensée Sauvage: Grenoble. 34-116.
- [9] Chevallard, Y., Bosch, M. Y Gascón, J. (1997) "Estudiar Matemática". Edit. ICE-Horsori: Barcelona. 213-225; 277-290.
- [10] Diaz Velasco, A.; Kawano A. V: GRAF & TEC N°9 1° semestre 2001
- [11] Enríques, F.; Amaldi, V.; Guarducci, A.; Vitali, G.; Vailati, G.; "Fundamentos de la Geometría". Buenos Aires (Argentina): Ed. Iberoamericana, pp 15-55, 1948.
- [12] Gasson, P. C; "Geometry of spatial forms. Synthesis. Concept Formulation and Space Vision for CAD". New York (USA): Ellis Horwood Series Mathematics and its applications. John Willwey & Sons, 1983.
- [13] Guzmán, M. de; "El Rincón de la Pizarra". Madrid (España): Ediciones Pirámide, 1996.

- [14] Jonassen, D.H. ; "Computers as in Cognitive Tools: Learning with Technology. Not from Technology". J Journal of Computing in Higher Education 6 (2). 40-73, 1995
- [15] López, Roberto; Anido, Mercedes A.; .Un ejemplo de ampliación de los contenidos curriculares . La Superficie de Boi.(2003) -XIV Congreso Internacional de Ingeniería Salento.
- [16] López, Roberto; Anido, Mercedes A.; Rubio Scola, Hector E "Superficies y Superiores "(2001). -XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz -España.
- [17]Polya, G. (1981) "Matemática y Razonamiento Plausible". Ed. Tecnos: Madrid.
- [18]Terracini A. Publicaciones del Instituto de Matemática Facultad de Ciencias Matemáticas e Ingeniería VOL. III.1941
- [19] Villani, V.; "Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21ST Century". ICMI Study, Sevilla, España, 1995
- [20]Vanzin,T.;Rivas Ubricht," GRAF & TEC "Nº 9 1º semestre 2001
- [21]Pallascio,R. (1986)Habilidades de la percepción espacial en un contexto informatizado .Universidad de Montreal





## **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA**



---

### **ECODISEÑO, UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTION DE LA INNOVACION EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS COMPETITIVOS**

LÓPEZ FORNIÉS, Ignacio; MANCHADO PÉREZ, Eduardo; AGUSTÍN HERNÁNDEZ, Luis

Universidad de Zaragoza, España  
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Correo electrónico manchado@unizar.es

### **RESUMEN**

La situación de grave deterioro medioambiental provocada por el aumento de la industrialización y el consumo descontrolado de recursos naturales, es claramente insostenible y requiere del desarrollo de soluciones desde todos los ámbitos de nuestra sociedad.

Como responsables del primer eslabón de la cadena del ciclo productivo, los profesionales dedicados al desarrollo de producto condicionan la mayor parte de las decisiones en cuanto a selección de materiales, procesos de producción, gestión de los residuos generados en la producción, esquemas de uso y mantenimiento del producto por parte del usuario, desecho del mismo, consecuencias futuras de su desecho, etc.

Existe además una gran responsabilidad social derivada no sólo de las implicaciones que el deterioro del medio ambiente puede conllevar sobre la calidad de vida de las generaciones futuras, sino también sobre lo que todo el proceso productivo conlleva en cuanto a las condiciones de salud y equidad social en que se desarrolla, y el modo en que el usuario se aproxima al producto, lo adquiere, lo usa, y se deshace de él, así como respecto a la capacidad que el producto tiene de “educar” a su usuario y facilitar una adquisición y uso más responsables y comprometidos con un desarrollo global sostenible.

La obvia necesidad que tienen las empresas fabricantes de producto de incorporar en sus requisitos de desarrollo de producto aspectos relacionados con el respeto al medio ambiente, no debe ser vista como una dificultad añadida o una barrera que sortear en el camino de su crecimiento económico, sino que puede ser planteada mediante el uso de la creatividad en la gestión de la innovación dentro de la empresa, como una oportunidad de desarrollo de producto.

Desde esta óptica se puede contribuir, entre otros logros, a la reducción de costes, mejora de la calidad de servicio del producto y la empresa en general, apertura de nuevos mercados, mejora de la imagen e identidad corporativas de la empresa, mayor motivación de los empleados y a encontrar, en fin, un argumento que colabore a potenciar la competitividad de la empresa.

A lo largo de esta ponencia se mostrará la importancia de incorporar el respeto al medio ambiente dentro de las especificaciones de desarrollo de producto como factor competitivo, y se plantearán las pautas y condiciones necesarias para conseguir que el ecodiseño sea una herramienta eficaz que contribuye al crecimiento sostenible de la empresa.

**Palabras clave:** Ecodiseño, ecoproductos, diseño de producto.

## ABSTRACT

The dramatic environmental abuse caused due to the industry growth and the abuse of natural resources, is no more sustainable and requires the development of solutions from every part of our society.

As responsables of the first step on the production chain, the product developers will mark every decision about materials selection, production processes, production waste management, use and maintenance of the product, disposal of it and the consequences of this disposal, etc.

There is a great social responsibility due not only of the environmental consequences but also on the consequences to future generations, in the way the user approaches to the product and gets “educated” by the product to a more responsible use.

The companies should incorporate these requirements to products not as a barrier to cross or a penalty to pay but as a chance to develop a more competitive product, through the use of creativity in the innovation management process.

Reducing costs, increasing the quality of service of the product, opening new markets, improving the image of the company, are possible from this point of view to increase the company's competitiveness.

We will show how important the environmental requirements are in the product development process, and point the conditions for ecodesign to be a useful tool for the company development.

**Key words:** Ecodesign, ecoproduct, product design.

## 1. Introducción

Vivimos en una sociedad caracterizada entre otras cosas por múltiples contradicciones:

Entre ellas, destaca todo lo relacionado con la gestión de los recursos, el deterioro del medio ambiente y los hábitos de consumo:

Actualmente, los habitantes de los países más desarrollados han adquirido la conciencia de que no es posible seguir realizando un consumo indiscriminado de los recursos del planeta sin causar a éste un daño profundo e irreversible. Paradójicamente, muchos de estos mismos individuos no se muestran dispuestos a renunciar a las comodidades y beneficios que se derivan de la sociedad de consumo, en términos de los servicios obtenidos de los productos que consumimos y del consumo de energía derivado de nuestro modo de vida.

Por otro lado, la estructura económica de nuestra sociedad está basada precisamente en el consumo y producción de bienes y servicios, de tal manera que no es posible prescindir de éste hecho; tratando de reducir el nivel de producción y consumo afectaríamos negativamente al desarrollo de nuestras economías y por tanto de nuestra sociedad.

Existe otro dato igualmente relevante: además de los países desarrollados, existe una gran mayoría de la población mundial que vive en condiciones de subdesarrollo, pobreza, falta de satisfacción de las necesidades más elementales, etc., lo que no sólo crea una grave injusticia ética, sino que además comporta unas consecuencias nefastas para el cuidado del medioambiente y el mantenimiento del planeta. Por si fuera poco, gran parte de la producción de la que se abastece el primer mundo se realiza en países pobres, en condiciones de nulo respeto al medio ambiente.

Está claro, por tanto, que es necesario poner en práctica nuevos procesos de desarrollo, producción y consumo que contribuyan a mejorar la situación existente, que es claramente insostenible.

Los productos que desarrollamos, diseñamos, consumimos y desecharnos deben estar concebidos y producidos en relación a las demandas respecto al medio ambiente y justicia social que nuestro entorno natural, social y cultural está demandando cada vez con mayor claridad. Más aún, los productos deben transmitir y difundir dicha cualidad y contribuir a la implantación generalizada de los valores relacionados con el consumo responsable y el desarrollo sostenible, ayudando a la “educación” del consumidor.

El nuevo marco ecológico y social está modificando necesariamente la actitud hacia el consumo por parte de nuestra sociedad; las empresas productoras deben ser conscientes de este hecho y adaptar sus estrategias de desarrollo y comercialización en consecuencia, para poder seguir generando productos competitivos.

## **2. Justificación de la conveniencia del desarrollo de ecoproductos.**

Un ecoproducto es un producto que incorpora, en todos los aspectos relacionados con el mismo, desde su misma concepción, producción, uso y hasta su desecho, estrategias que configuran sus características en términos de máximo respeto y compromiso con el medio ambiente.

Ante la demanda innegable por parte de los consumidores de mejorar nuestra relación con el medioambiente como un requisito indispensable para obtener una buena calidad de vida, pero su reticencia a renunciar a los servicios y comodidades que la sociedad de consumo proporciona, las empresas productoras pueden encontrar un argumento competitivo de primer orden para conseguir ventajas a través del aumento del valor añadido de sus productos frente a sus competidores.

Un ejemplo: la mayor parte de conductores son conscientes del consumo desmesurado de energía que implica el uso de un automóvil privado frente al uso del transporte público, pero no obstante no renuncian a la comodidad del uso de su vehículo particular. Por lo tanto, se mostrarían muy interesados ante la posibilidad de adquirir vehículos que, por reducir sus consumos o utilizar combustibles alternativos, permitieran mantener la misma comodidad y servicio sin ocasionar un consumo excesivo o un aumento de la contaminación.

## **3. La importancia de considerar el producto desde un punto de vista global.**

El impacto ambiental derivado de la producción y el consumo masivos e irresponsables debe ser combatido considerando sus implicaciones a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, y no sólo a partir de su ciclo de uso útil.

Habitualmente, en el desarrollo de productos se han utilizado técnicas que buscaban potenciar las características competitivas del producto, aumentando su valor añadido, estudiando y analizando su secuencia de uso útil.

Hoy día, el desarrollo de productos es una actividad mucho más compleja debido al aumento de la competitividad, de la información de los consumidores y a la saturación del mercado. En el proceso de desarrollo global de productos se implican profesionales que analizan todas las consecuencias del proceso desde la fase de concepción, pasando por la gestión eficaz de los recursos existentes en la empresa, el aprovechamiento de los procesos productivos, la reducción de costes a todos los niveles, la aportación de valores semánticos con los que se puede identificar el usuario, la ergonomía del producto, su uso, su introducción en el mercado, el servicio post-venta, etc; dentro de todos y cada uno de estos aspectos de lo que configuran el ciclo de vida del producto, es necesario mantener un criterio de compromiso con el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

Desde el punto de vista medioambiental, el concepto de ciclo de vida puede ser considerado como algo aún más amplio, incluyendo las etapas de extracción y procesamiento de materias primas (lo que debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar los procesos y materiales productivos más adecuados), diseño del producto, producción, comercialización, transporte, utilización, desecho y eliminación o reutilización de los componentes del producto.

#### **4. Actitudes de las empresas productoras ante los problemas medioambientales.**

La presión en aumento de la sociedad, sobre los políticos y empresas productoras, por su responsabilidad en el deterioro del entorno natural, está propiciando un cambio en la actitud de las empresas, que configura, (en el mejor de los casos unido a la existencia de una conciencia ética real), una modificación de su identidad corporativa en términos de incorporar en la misma el respeto al medio ambiente y, en consecuencia, la reelaboración de sus estrategias empresariales globales, pudiendo darse distintos casos.

La diferenciación viene dada por la importancia que adquiere en cada caso las variables de Ecología, Economía y Equidad o justicia ética social; lo que tiene implicaciones en cuanto a la incorporación del reciclaje, utilización de combustibles limpios, o minimización del impacto de los vertidos, en el proceso productivo; la definición del producto en busca del bienestar del consumidor y la mejora de las condiciones sociales que se derivan de su producción; o el ahorro de energía y materias primas y la reutilización de residuos en su fase de desecho.

Existe por tanto un primer grupo de empresas y productos aislados del entorno natural, dado que en ningún momento se producen, diseñan o utilizan teniendo en cuenta los valores medioambientales. Una mayoría de empresas y productos, lamentablemente, se engloban dentro de esta categoría.

En segundo lugar existe un grupo de empresas que, conscientes de la importancia creciente que la atención al medio ambiente tiene como factor competitivo, proporcionan a sus productos un valor de respeto ecológico muy superficial, sin llegar a implicarse realmente en todas sus políticas y estrategias con dicha actitud.

Queda por último un grupo de empresas y productos, aún minoritarios, que incorporan el respeto al medio ambiente como leit-motiv estratégico, e incorporan criterios ecológicos en todas y cada una de sus actividades empresariales. Estas empresas se encuentran en la avanzadilla del servicio a un consumidor responsable cada vez más numeroso, por lo que se encuentran en una posición competitiva más ventajosa, además de poder beneficiarse de las políticas de apoyo a estas actitudes que lleva a cabo la administración.

## **5. El producto como parte de un sistema de objetos. El ecoproducto como categoría de producto.**

Si anteriormente un producto era catalogado en una u otra categoría de producto en función de lo que era su valor pragmático, esto es, su uso principal al que va destinado, hoy lo es en función de su valor semántico, esto es, de los significados o valores añadidos a ese uso principal, que complementan y enriquecen el mismo.

Así, anteriormente una máquina herramienta se podía catalogar por su uso principal en “taladros”, “lijadoras”, o “caladoras”, y ese era su primer rasgo. Hoy día existe una tendencia a catalogar y clasificar los productos por otros valores distintos a su uso principal, y que son los valores diferenciadores respecto de los productos de la competencia. El ejemplo sería “herramientas de bricolaje”, “herramientas profesionales”, “gama alta, baja o intermedia”, “herramientas electrónicas”, etc.

Dentro de este segundo tipo de clasificación es donde podemos establecer la definición de una categoría de productos definida como ecoproductos, y cuya característica principal es tratarse de productos en cuyo desarrollo se ha tenido en cuenta la secuencia completa de su ciclo de vida, y las implicaciones del producto y los distintos parámetros relacionados con él en cuanto a desarrollo sostenible, aspectos económicos, sociales y, por supuesto, ambientales, adoptando en cada ocasión las decisiones más pertinentes al respecto.

Ecodiseño supone introducir criterios ambientales en el diseño de productos, tratando de minimizar los principales impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

## **6. El desarrollo de ecoproductos como estrategia empresarial global de desarrollo de producto.**

Como se ha dicho, la estrategia global de desarrollo de producto implica contemplar de un modo unitario todos los aspectos relacionados con el producto, desde su desarrollo a su fabricación y distribución.

Plantear el desarrollo global de productos de una empresa industrial con una óptica de desarrollo de ecoproductos supone aceptar el planteamiento del producto como “servicio” al consumidor y a la sociedad, y entender que el mantenimiento del medioambiente es un servicio de gran interés que redundará en el aumento de nuestro nivel de vida.

Obviamente, el fin principal de toda empresa es la rentabilidad económica; el desarrollo de ecoproductos no debe plantearse entonces como una tasa o peaje que necesariamente se debe pagar para poder acceder a un determinado mercado, sino como una oportunidad de obtener rentabilidad económica.

La orientación del desarrollo de producto según criterios medioambientales permite, en primer lugar, una buena aceptación del producto en el mercado; los valores que se aportan son conocidos y compartidos por una gran masa social y perduran incluso más allá de la vida útil del producto (este, de hecho, es su valor principal). El requerimiento, por tanto, es aportar creatividad aplicada al desarrollo del producto en todos los parámetros que inciden en su posterior producción para conseguir este reto de definir ecoproductos dentro de unos márgenes de rentabilidad económica tan beneficiosos como sea posible.

Modificar esta estrategia puede suponer, para empezar, pasar de un planteamiento ideal del desarrollo de un producto como un proceso lineal en que el producto se concibe, desarrolla y lanza al mercado, finalizando ahí la relación entre el producto y el fabricante, a una concepción del proceso como un ciclo en que una vez que el producto ha finalizado su vida útil retorna al fabricante quien puede aprovechar parte los componentes, destruir del modo menos contaminante la parte no reutilizable, etc.

## **7. El objeto como vehículo comunicador de sus valores ambientales.**

Supone un nuevo reto para el diseñador implicado en el proceso de desarrollo de un producto conseguir que éste transmita a través de su propia presencia precisamente esa funcionalidad relativa al entorno.

En este sentido se trata de transmitir un valor:

- Positivo.
- Relacionado con la calidad del producto.
- De alto rango.
- Que implica los demás valores que el producto pueda integrar.

Todo ello haciendo además que el producto asuma un papel “educador”, propagador de la importancia de estos valores medioambientales entre sus posibles usuarios, colaborando así en la difusión de un consumo responsable.

En última instancia, el producto que sea capaz de transmitir estos valores y satisfacer las expectativas generadas al respecto está aportando a la marca y a la empresa productora una serie de valores socioculturales positivos muy interesantes (y también a la inversa).

En esta cuestión, como en cualquier otra, el trabajo de diseño del producto consiste en conseguir una coherencia entre las funciones deseadas y su entorno, mediante la forma que resulta del desarrollo de una actividad productiva, entendida en el sentido más amplio.

Las empresas productoras deben asumir su responsabilidad de facilitar productos a sus consumidores responsables que permitan mejorar la calidad de vida y mejorar los modelos existentes previamente.



## **Bibliografía recomendada:**

- Joan Vinyets / Joan Rieradevall: “Ecodiseño y Ecoproductos”, Ed. Rubes.
- Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco: “Manual Práctico de Ecodiseño: Operativa de implantación en siete pasos”, Ed. IHOBE.
- Ezio Manzini: “Artefactos: Hacia una nueva ecología de lo artificial”, Ed. Celeste.
- Ezio Manzini: “Product Service systems and sustainability” Ed. Universidad Politécnica de Milán.
- E. Ulrich v. Weizsäcker, L. Hunter Lovins, Amory B. Lovins: “Factor 4”, Ed. Galaxia Gutenberg.
- Norma UNE 150301 Junio 2003: “Gestión Ambiental del proceso de diseño y desarrollo: Ecodiseño”. Ed. AENOR.

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

---

### DISEÑO Y APLICACIÓN DE SISTEMAS DE RETÍCULAS EN LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE PRODUCTO.

MANCHADO PÉREZ, Eduardo; FERNÁNDEZ SORA, Alberto  
LÓPEZ FORNIÉS, Ignacio; GARCÍA HERNÁNDEZ, César

Universidad de Zaragoza, España  
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Correo electrónico: manchado@unizar.es

### RESUMEN

En la presente comunicación trataremos de mostrar las posibilidades de incorporar técnicas basadas en el desarrollo de retículas, extraídas y adaptadas de disciplinas diferentes al diseño industrial, como una herramienta útil en el planteamiento de especificaciones de producto, y en el testeo de las soluciones planteadas en el proceso de desarrollo.

**Palabras clave:** Metodología de diseño, diseño de producto, especificaciones de desarrollo de producto.

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to show the possibilities of incorporating techniques based on grid development, from disciplines different of product design, as a useful tool in the specification of product requirements and of testing of different concepts developed during the design process.

**Key words:** Data management system, Conference management.

## **1. Introducción.**

La disciplina del diseño industrial es objeto de múltiples aproximaciones, y la definición precisa de sus límites y contenidos está sujeta a la interpretación de multitud de matices acerca de dónde empieza y termina el trabajo del diseñador industrial, cuales son sus tareas características y cuales los métodos de trabajo más indicados para acometer con las mayores garantías de éxito el desarrollo de un proyecto.

En efecto, en el desarrollo de un proyecto de diseño industrial son muchos los factores a tener en cuenta; la selección de materiales y procesos productivos, la definición técnica de los componentes que integran el producto, o la selección de componentes prefabricados que deben integrarse en el conjunto, deben realizarse considerando los requisitos del mercado, las tendencias presentes en el sector en que compite el producto, o las necesidades detectadas entre los usuarios, teniendo además siempre en cuenta la satisfacción de los requisitos ergonómicos en el sentido más amplio (no sólo en cuanto a antropometría sino también, por ejemplo, en cuanto a requisitos de la percepción o feedback producto/usuario), la seguridad del producto o la satisfacción de normativas técnicas, ecológicas y de todo tipo.

Además, en la mayor parte de los casos es imprescindible tener también en cuenta factores aún más intangibles como la identidad corporativa e imagen de marca del fabricante, que puede deber ser integrada en el nuevo producto, o incluso los valores sentimentales que la estética de un producto puede evocar en su posible usuario.

## **2. Desarrollo integral de producto.**

Dada esta complejidad, el concepto de diseño industrial se puede ampliar, pudiendo llegar a denominarse desarrollo integral de producto. Este concepto ampliado, se refiere a la necesidad de integrar un conjunto de tareas y conocimientos multidisciplinares para poder resolver todos los diferentes aspectos que conforman el producto; esta integración debe realizarse de una manera coordinada y según una adecuada metodología, para contemplar todo el complejo entorno en que se desarrolla el proyecto desde todas las diferentes ópticas que influirán en el éxito o fracaso comercial del producto: un producto con un desarrollo técnico impecable puede

fracasar si las connotaciones formales que transmite no son las adecuadas al usuario a que está destinado.

Existe además un hecho irrefutable: los plazos de tiempo que se pueden dedicar al desarrollo de un producto son cada vez más limitados; la elevada competitividad del mercado requiere de una capacidad de renovación del producto por parte de las empresas productoras cada vez más elevada. Por esta razón, parece conveniente el desarrollo de métodos y técnicas de trabajo que permitan organizar y gestionar el desarrollo de estos proyectos, cuya complejidad es cada vez mayor, del modo más eficaz posible.

Aún más; el producto tiene una relación directa con la marca de fabricante bajo la que se comercializa: la percepción del posible comprador acerca del producto se ve influenciada por la imagen que tiene de la marca. Pero además esta relación se produce también en sentido recíproco: si el producto no satisface las expectativas del usuario de un modo razonable, su opinión respecto de la marca, que influirá en su percepción de otros productos de la misma marca, puede verse afectada. Esta percepción de la marca se compone de una serie de elementos que también son intangibles.

Con vistas a enfrentar con las mayores garantías de éxito el desarrollo de un proyecto en un entorno tan complejo, es comúnmente aceptada la importancia que la definición precisa y correcta de las especificaciones de producto (respecto a todos los aspectos que lo integran), tiene a la hora de conseguir que la realización de un proyecto se haga en el plazo adecuado, con los costes previstos y con la obtención de un éxito comercial.

Es necesario desarrollar técnicas metodológicas que puedan contribuir a la definición de las especificaciones de producto, tanto las que podríamos denominar tangibles (requisitos técnicos, dimensionales, ergonómicos, etc.) como los que podríamos denominar intangibles (estética, imagen de marca, percepción de calidad del producto, connotaciones como agresividad, comodidad, etc.) de un modo coordinado, controlado, y comprensible para todos los profesionales implicados en el proyecto, cualquiera que sea su procedencia, de manera que, como una información conjunta y única, se puedan tener en cuenta tanto en la definición de aspectos técnicos, como en la definición de otros aspectos como la imagen del producto o la percepción que el usuario pueda tener del mismo.

### 3. Sistemas de retículas.

Además de las técnicas de desarrollo de producto que se vienen aplicando actualmente en diseño industrial, se puede considerar conveniente estudiar otras técnicas de trabajo pertenecientes a otros sectores que a priori, pueden tener escasa relación con el diseño industrial: aunque la disciplina del diseño industrial posee unas características únicas y diferenciadas, tal vez sea posible hallar ciertos paralelismos en las técnicas de trabajo y en los objetivos perseguidos, con disciplinas de otros sectores, completamente diferentes, de los que se puedan desprender metodologías y técnicas de trabajo que, convenientemente adaptadas, puedan aportar resultados interesantes.

Una de estas disciplinas puede ser el diseño gráfico: el diseño gráfico es una disciplina absolutamente diferente al diseño industrial. No obstante, es posible establecer algunos vínculos o relaciones entre ambas disciplinas: también en un proyecto de diseño gráfico es necesario conjugar una serie de condicionantes técnicos (tipo de soporte: papel, cartón; tirada de ejemplares; medio de plegado, encuadernado, técnica de impresión: offset, tampografía, serigrafía, etc.), con otros condicionantes de carácter ergonómico (legibilidad de los textos, tamaños de las tipografías, medidas y peso de los volúmenes de un libro, formatos...) y, por supuesto, formales o estéticos (estética moderna o formal, publicaciones institucionales, publicidad...). También en el mundo del diseño gráfico, el responsable del desarrollo de un proyecto puede estar condicionado por tendencias de mercado, presión de la competencia, o requisitos normativos (como en el caso de tener que incluir información al consumidor en un envase). Por último, en un proyecto de envase o embalaje, el diseño gráfico acaba por tener una relación directa con el diseño industrial. Esta relación está también presente en la realización de proyectos de aplicación de imagen gráfica a producto: por ejemplo, diseño de teclados, interfaces, salpicaderos, etc.

¿Existe alguna técnica en el mundo del diseño gráfico que haya demostrado su utilidad para conjugar tanto los factores tangibles como los intangibles en el desarrollo de un proyecto con ciertas garantías de éxito? La respuesta es sí; en el mundo del diseño gráfico, se utiliza una técnica denominada de “retículas” para marcar las pautas que deben regir el desarrollo del proyecto.

En efecto, se conocen como “retículas” el conjunto de restricciones que se utilizan como norma para guiar al maquetador o diseñador de páginas de tal modo que el resultado final sea coherente y homogéneo, de acuerdo a unos objetivos preestablecidos, cualquiera que sea el maquetador que trabaja en una publicación: habitualmente, en la confección de periódicos y revistas se definen unas retículas que conforman una especie de parrilla que, a modo de página maestra, restringen los márgenes de las páginas, ancho de columnas, tamaño de fotos, titulares... estas

parrillas se complementan con una serie de indicaciones que normalizan las opciones de diseño, según criterios que persiguen favorecer la legibilidad de los contenidos, mantener una determinada imagen estética o conservar una cierta coherencia en la jerarquización de los contenidos que encierra la publicación; así, se compone de reglas acerca del tipo y tamaño de letra que se debe utilizar en titulares, párrafos o índices; acerca del uso de mayúsculas y minúsculas; acerca del tamaño y disposición de titulares y cuerpos de texto, acerca del uso de colores...; pero también acerca del tipo de fotografías que se van a utilizar, si son en color o blanco y negro, si se van a colocar silueteadas, en el interior de las páginas, en los bordes, lo que persigue controlar el modo en que la publicación va a ser percibida por el lector: como algo moderno, clásico, institucional...

Como se puede observar, se trata en definitiva de un conjunto de restricciones o especificaciones que definen el carácter del producto (la publicación) desde múltiples puntos de vista (más abstractos o más tangibles) y que persigue que los profesionales implicados en la tarea de diseño trabajen de un modo coherente y coordinado (y, generalmente, en casos como la maquetación de periódicos, con plazos muy breves).

Este modo de trabajo es utilizado universalmente dentro de este sector con resultados indiscutibles, y tal vez a partir de su estudio detallado, se podrían extrapolar conclusiones que fuesen aplicables al desarrollo de una técnica de trabajo para la resolución de proyectos de diseño industrial.

#### **4. Aplicación de retículas en el desarrollo de producto.**

Dentro del entorno del desarrollo de producto, se puede plantear la definición de valores parametrizables que puedan caracterizar un producto, como un conjunto de restricciones de todo tipo (dimensionales, estéticas, ergonómicas, de imagen de marca) y principalmente los enfocados a la satisfacción de una determinada imagen corporativa o imagen de marca (pero no sólo éstos), como la definición de un conjunto de especificaciones de diseño que, a modo de retículas, limitan, acotan o restringen la actuación de los integrantes del equipo de diseño.

En definitiva, se trata de proporcionar a los técnicos de desarrollo, que proponen soluciones en cuanto a criterios productivos, técnicos o ergonómicos, herramientas de desarrollo y testeo que les permitan comprobar hasta qué punto las propuestas que están realizando satisfacen además las supuestas expectativas abstractas, intangibles,

que el potencial comprador del producto puede haber depositado en el mismo, y conseguir que el trabajo de todos los profesionales implicados en el proyecto se desarrolle del modo más homogéneo posible, en la consecución de unos objetivos globales, expresados de tal modo que son compartidos y comprendidos por todos los miembros del equipo.

### **Bibliografía relacionada.**

MUNARI, BRUNO “¿Como nacen los objetos?. Apuntes para una metodología proyectual”. Editorial Gustavo Gili, S.A. GG Diseño. Barcelona 1983.

MANZINI, E. Artefactos. "Hacia una nueva ecología del ambiente artificial" Experimenta Ediciones de Diseño y Celeste Ediciones. Madrid 1992.

NORMAN, D. “La psicología de los objetos cotidianos”, Nerea, Madrid. 1988.

VITRAC e GATÉ. “La estrategia de producto y diseño en el plan de marketing". Gestion 2000, s.a. Barcelona. 1994.

IBÁÑEZ GIMENO “La gestión del diseño en la empresa”

Editorial: McGraw-Hill

CHARLOTTE FIELL, PETER FIELL “El diseño del siglo XXI”

Editorial: Taschen

GOTZ, VERUSTZCKA “Retículas para soportes digitales”

Index Books, Barcelona, 2002

A. SWAN, “Cómo diseñar retículas”, Barcelona, Gustavo Gili, 1990