



Nuestra portada:

*Mojón de término, antiguo y nuevo,
de la Comunidad de Madrid
(fotografía de D. José Luis Romero
Gutiérrez)*

Vol. XXIII - N.º 136
Septiembre-Octubre
2006

DIRECTOR
Carlos Barrueso Gómez

*

CONSEJO DE REDACCION:

Junta de Gobierno del Colegio
Oficial de Ingenieros Técnicos
en Topografía

*

DIRECCION, REDACCION,
ADMINISTRACION Y
PUBLICIDAD

Avenida de la Reina
Victoria, 66, 2.º C
28003 Madrid

Teléfono 91 533 89 65

Fax: 91 533 46 32

topografiaycartografia@top-cart.com

Depósito Legal: M-12.002-1984

ISSN: 0212-9280

Título clave: TOPCART
Topografía y Cartografía

Fotocomposición e impresión:
ALBADALEJO, S.L.

Los trabajos publicados expresan sólo
la opinión de los autores y la Revista
no se hace responsable de su contenido.

Prohibida la reproducción parcial o total
de los artículos sin previa autorización
e indicación de su origen.

Esta revista ha sido impresa en papel
ecológico

TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE
INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

Sumario

Aplicación de la tecnología del Láser Escáner Aerotransportado (ALS) a la generación de Modelos Digitales Urbanos	3
José Balsa Barreiro y José Luis Lerma García	
Análisis de la transformación nacional ED50-ETRS89 aplicada al ámbito territorial de la provincia de La Coruña	9
Manuel Pérez Gutiérrez y Alfonso Núñez García del Pozo	
Diseño Geométrico del Trazado de un Circuito de Competición para Fórmula I	16
Alfonso Enrique Ponz	
Modelos Digitales de Elevaciones con datos ASTER. Revisión de métodos y análisis de errores (I)	24
Alonso Sánchez Ríos	
Topografía Romana (I)	36
Isaac Moreno Gallo	
Control y análisis de los hundimientos del terreno ocasionados por la extracción de agua por bombeo en el área de Tesalónica (Grecia)	46
Ioannis D. Doukas, Ioannis M. Ifadis y Paraskevas Savaidis	
Legislación	54
Novedades Técnicas	58
Vida Profesional	62
Índice Comercial	71

TCP-MDT

Levantamientos

Proyectos

Replanteos

Carreteras

Urbanizaciones

Canteras



Topografía

Construcción

Urbanismo

Ingeniería



Aplicaciones para Dispositivos Móviles

Gestión de Dibujos
con potente CAD



Replanteo y Toma de Datos
con GPS y Estación Total

Control de Obras de Túneles

Nueva versión de MDT para IntelliCAD

Solución completa para
proyectos con CAD integrado



bricscad

Orto3D

Presentaciones realistas
de alta calidad



aplitop

Aplicaciones de
Topografía e Ingeniería Civil

C/ Sumatra nº 9, 29190 - Málaga

Tlf: 952-439771

Fax: 952-431371

www.aplitop.com

info@aplitop.com

Aplicación de la tecnología del Láser Escáner Aerotransportado (ALS) a la generación de Modelos Digitales Urbanos

José Balsa Barreiro y José Luis Lerma García

E.T.S. DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Resumen

La tecnología del Airborne Laser Scanner (ALS) o LIDAR está revolucionando el mundo de la cartografía en general y el de la fotogrametría en particular. Gracias a la aplicación de la tecnología de escaneado láser podemos generar de un modo rápido y preciso modelos digitales de cualquier tipo, debido, sobre todo, a la gran densidad de puntos emitidos desde un sensor láser aerotransportado y a la compatibilidad digital de los datos obtenidos, que simplifican toda la fase de procesamiento de los datos.

Desde un principio, la mayoría de los trabajos llevados a cabo con esta tecnología han sido efectuados sobre áreas forestales, donde los buenos resultados obtenidos propiciaron que numerosos investigadores empezaran a conocer esta tecnología y a considerarla incluso como una “alternativa” a la fotogrametría tradicional.

La aplicación del láser escáner aerotransportado dentro de ambientes urbanos para generar modelos digitales 3D es bastante más reciente que sobre áreas forestales. La justificación a esto hay que buscarla en la gran heterogeneidad de elementos presentes dentro de los ambientes urbanos, que dificultan mucho cualquier estrategia de clasificación automatizada de dichos elementos. El presente artículo repasa los modelos 3D urbanos, su problemática, el proceso de generación de los mismos, así como sus posibles aplicaciones.

Abstract

Airborne Laser Scanner (ALS) technology or LIDAR is boosting the cartographic world in general as well as the photogrammetric sector in particular. Thanks to the application of laser scanning technology it is possible to generate quickly and accurately digital models, due to the high density rate and to the digital compatibility of the data workflow.

From the beginning, most of the LIDAR applications were carried out in forest areas. As most of the results were promising, many researchers started considering this technology for further studies and as an alternative to traditional photogrammetric processing.

The application of airborne laser scanning to build up digital models in urban environments is relatively a new topic, because of its heterogeneity and the difficulty to perform automatic feature classifications. This paper revises urban models, their issues, the process to build up them, as well as their possible applications.

I. INTRODUCCION

Si en un principio la mayoría de los trabajos y estudios con ALS (Airborne Laser Scanning) o LIDAR (Light Detection and Ranging) fueron llevados a cabo sobre áreas forestales, en los últimos años existen multitud de investigaciones que demuestran el potencial de aplicación de esta tecnología dentro de entornos urbanos. Ésta es la temática principal a la que se va a dedicar este artículo, a diferencia del artículo de Balsa y Lerma (2006) en el que se introduce el concepto de LIDAR y se repasan sus múltiples aplicaciones.

Los métodos fotogramétricos tradicionales, aunque permiten generar modelos tridimensionales de áreas urbanas, tienen unos requerimientos y unos elevados costes asociados que impiden que este tipo de productos sean empleados como herramienta de trabajo, a pesar de que sí que se emplean normalmente en animaciones y visualizaciones turísticas (Haala y Brenner, 1997). Cuestión aparte es si la generación de los modelos digitales urbanos se lleva a cabo mediante técnicas digitales de correspondencia multi-imagen (Lerma, 2002).

La tecnología LIDAR promete, de alguna forma, romper con este estatus. Quizás aún sea un poco pronto para afirmar esto, pero los resultados obtenidos por algunos autores (Maas, Brenner; Vosselmann, Haala, etc.) son suficientemente satisfactorios:

- *Las precisiones obtenidas son muy altas:* Se toman como valores de referencia generalizados unas precisiones de 15-50 cm en altimetría y un poco inferiores en planimetría.
- *Coste temporal reducido:* Sirva de ejemplo el que, en condiciones operativas ideales, en una mañana se puede "barrer" toda una ciudad. Además, la compatibilidad digital de todo el proceso (adquisición y tratamiento de los datos), permite reducir el tiempo de trabajo en gabinete a la hora de procesar los datos.
- *Costes económicos menores:* Algunos autores afirman que un proyecto LIDAR puede costar entre un 25% y un 30% de lo que costaría el mismo proyecto llevado a cabo mediante métodos fotogramétricos tradicionales.

El resultado de todo esto es que la tecnología LIDAR permite generar unos modelos digitales urbanos 3D de precisión, susceptibles de ser integrados dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG-3D) para, entre otros aspectos, realizar tareas de planificación y gestión.

2. GENERACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES URBANOS

Un modelo tridimensional urbano es una representación digital de todos los objetos (edificios, vegetación, vías de comunicación, etcétera) existentes en una ciudad (Ranzinger, 1995).

El dinamismo que afecta a la vida urbana hace que sea interesante generar modelos digitales de superficie (MDS) o de edificios (MDEd). Sin embargo, la dificultad, lentitud y altos costes para producir este tipo de modelos mediante fotogrametría clásica han hecho que la demanda de este tipo de modelos fuera limitada.

En función del fin para el que queremos aplicar el modelo digital resultante, tendremos que tener en cuenta diversas variantes:

- A) En ocasiones lo que nos interesa es generar un MDT de una ciudad para valorar, por ejemplo, los riesgos de inundación de la misma. Este tipo de aplicaciones es muy interesante en algunas ciudades o pueblos mediterráneos, donde la presencia de caudales intermitentes obliga a estudiar en detalle los posibles riesgos de inundación de determinadas áreas. Generalmente, la determinación de un MDT riguroso en terrenos llanos depende de la densidad de puntos/m² (que, en cualquier caso, deberá ser muy elevada).

Cuando intentamos extraer un MDT con LIDAR dentro de un área urbana, el éxito dependerá del empleo de un procedimiento de in-

terpolación adecuado, tomando como base los pocos¹ puntos láser que lleguen a la superficie terrestre. El método de interpolación normalmente empleado en este tipo de casos es el de interpolación robusta iterativa en forma jerárquica o piramidal.

- B) En otras ocasiones, lo que se busca es trabajar con un MDS o un MDEd. Uno y otro pueden no ser estrictamente iguales dentro de una misma área. Del primero (MDS) forman parte los elementos que están sobre el terreno e incluye a la superficie terrestre que subyace bajo los edificios, mientras que del segundo (MDEd) forman parte solamente los propios edificios o estructuras artificiales de gran tamaño. Ejemplos típicos que requieren este tipo de modelos son: estudio y análisis ante posibles crecidas de ríos, conocimiento del impacto visual que puede provocar un cierto edificio o localización eficiente de emplazamientos de antenas.

3. PROBLEMAS PRESENTES DENTRO DE ÁREAS URBANAS

Las áreas urbanas son áreas densificadas, con gran cantidad de elementos en espacios reducidos. Podemos encontrar en ellas una gran cantidad de edificios, parques, calles, mobiliario urbano en general, vehículos, etc. Además, en este tipo de ambientes suelen aparecer vehículos en movimiento, personas, sombrillas, entre otros elementos, que no sólo dificultan todo el proceso de detección/reconocimiento de los diferentes elementos, sino que contribuyen a la aparición de ruido dentro de los datos obtenidos tras una campaña de barrido láser.

Además, el que los tejados y terrazas de edificios y calles puedan estar hechos del mismo material y puedan adoptar respuestas de intensidad similares, implica que algunos algoritmos empleados en otras áreas no sean válidos aquí.

Cuando trabajamos con imágenes aéreas suele ser relativamente fácil e instantáneo distinguir los diferentes elementos que forman parte de un ambiente urbano (setos, edificios, árboles, zonas pavimentadas, etcétera). Sabemos que, en teoría, la generación de MDS con LIDAR se logra a partir del primer retorno del pulso láser, en tanto que la del MDT se logra a partir del último retorno. Esto suele ser cierto en áreas forestales, pero cuando el entorno de trabajo es un ambiente urbano todo es mucho más complejo y complicado, lo que dificulta la implementación de un procedimiento o algoritmo de clasificación automática de elementos.

¹ La cantidad de puntos láser que llegan a la superficie terrestre, propiamente dicha, dentro de un área urbana puede llegar a ser muy reducida si la comparamos con el número total de puntos láser emitidos, debido a la gran proliferación existente de elementos artificiales (edificios, mobiliario urbano, mampostería, etc.).

Entre las características peculiares de las zonas urbanas destacamos las siguientes:

1. Son áreas muy heterogéneas. En ellas se mezclan una gran multitud de objetos y elementos (edificios, árboles, mobiliario urbano, etcétera).
2. Son áreas muy dinámicas, que sufren importantes cambios en pequeños espacios de tiempo.
3. Los centros de las ciudades suelen ser áreas urbanas consolidadas, donde los cambios urbanísticos son mínimos.
4. Las ciudades son espacios de grandes aglomeraciones de tráfico y de personas, por tanto, se puede generar mucho ruido adicional en una campaña LIDAR.
5. La dificultad para distinguir texturas. En muchas ocasiones, los materiales con los que están contruidos los tejados de algunos edificios y el pavimento de algunas calles, aceras, etcétera, pueden ser distintos y la respuesta radiométrica similar.
6. Los problemas de iluminación y sombreado en algunas zonas, como consecuencia de la presencia frecuente de calles estrechas, hace que las fachadas de muchos edificios estén escondidas y resulten casi invisibles.

mensionales dentro de áreas urbanas. La base de todo el proceso está en la extracción de vectores (o vectorización) de la nube de puntos láser inicial. Estas fases o procesos se exponen brevemente a continuación:

- A) **Preprocesamiento de la nube de puntos:** Esta fase incluye múltiples procesos: eliminación de errores groseros, unión de barridos, interpolación y diezmado de puntos a paso de malla regular.
- B) **Segmentación de la nube de puntos** en zonas de contenido geométrico y radiométrico homogéneos. Para ello suelen emplearse imágenes de apoyo y análisis de alturas.
- C) **Clasificación:** La nube de puntos láser contendrá puntos que pertenecerán a elementos muy diversos. El procedimiento de clasificación que suele ponerse en práctica dentro de áreas urbanas incluye, como mínimo, suelo, vegetación y edificios, y subgrupos de los anteriores.
- D) **Extracción de las caras planas:** Aunque sabemos de forma aproximada la superficie que ocupa cada uno de los edificios, nos queda todavía reconstruir los tejados de los mismos. El procedimiento de extracción de las caras planas del tejado de un determinado edificio se basa en averiguar cuántas son y qué orientación aproximada tienen las caras de un determinado tejado. Tradicionalmente, mediante la cartografía urbana topográfica o catastral podemos deli-

4. GENERACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES URBANOS CON LIDAR

Una campaña LIDAR proporciona una captura masiva de puntos (X, Y, Z) con valores asociados de intensidad de rebote de la onda (I). Dicha nube de puntos conforma los "datos brutos", los cuales han de ser refinados en una fase de procesamiento, ya que los puntos obtenidos pueden tener mucho ruido o corresponder a entidades del modelo o terreno que no nos interesen (p.e. vehículos).

En muchas ocasiones tendremos que filtrar grandes cantidades de puntos (por exceso), en otras no tendremos más opción que interpolar. No obstante, siempre suele ser común triangular o mallar la nube de puntos LIDAR a fin de conseguir un MDT o MDS interpretable y extrapolable a toda la superficie barrida.

Generado el MDS inicial seguramente podremos hacernos una idea bastante aproximada del modelo final. Sin embargo, este modelo inicial necesitará ser sometido a un proceso de "refinamiento" o mejora del mismo.

Hay una serie de pasos que sintetizan en gran medida el proceso de generación de modelos digitales tridi-

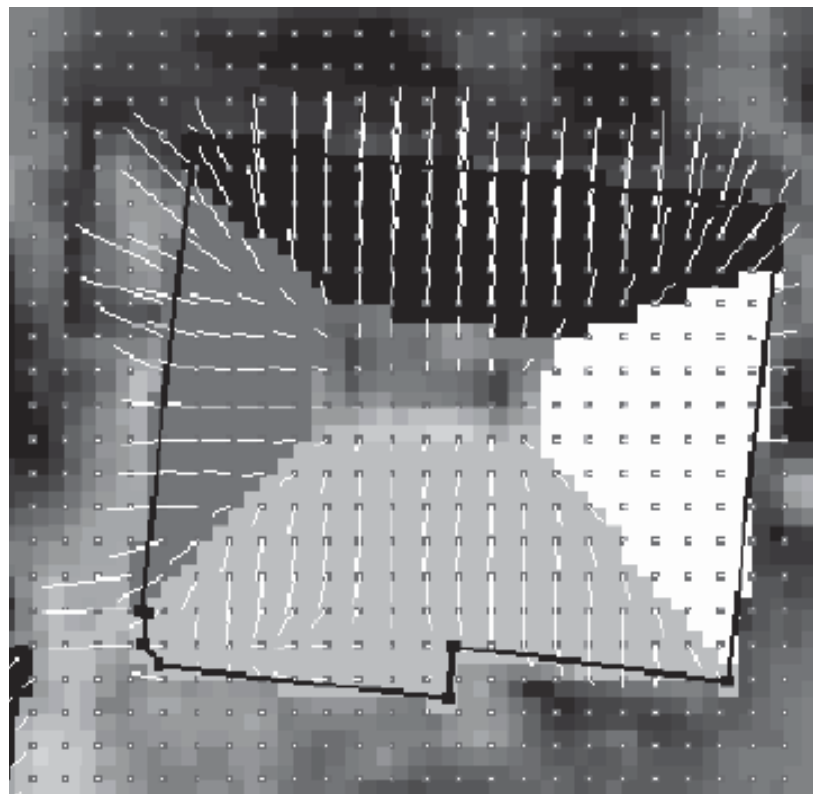


Figura 1: Representación del cálculo de los vectores normales a cada uno de los puntos y extracción de las superficies planas o caras del tejado [Fuente imagen: Haala & Brenner, 1997]



Figura 2: Modelo reconstruido (izquierda) y una fotografía del mismo desde la misma perspectiva (derecha) [Fuente imagen: Vosselman & Dijkman, 2001]

mitar el plano terreno/suelo del edificio (polígono negro) y, a través del cálculo de los vectores normales, podemos agrupar los puntos láser cuyas normales apuntan a una determinada dirección y extraer las diferentes superficies planas o caras del tejado de cada uno de los edificios (figura 1). No obstante, ésta es una solución abierta y algunos autores han preferido hacer uso de la clásica transformada de Hough adaptada al espacio tridimensional, por considerar que los vectores normales obtenidos tienden a ser muy ruidosos.

Por su parte, la extracción de los edificios se puede llevar a cabo de diferentes formas:

- Sustrayendo el MDT del MDS
- Aplicando un umbral a las diferencias de altura
- Aplicando un umbral a las diferencias de pendiente
- Analizando los valores de intensidad.

E) Reconstrucción: Un gran número de edificios puede ser representado por un poliedro, ya que los límites de la mayoría de los mismos constan de un conjunto de superficies planas y de líneas rectas. Por esta razón, los algoritmos de segmentación podrían apuntar a la extracción de primitivas geométricas, las cuales pueden describir de forma aproximada los diversos elementos de un edificio (p.e. tejados y fachadas) (figura 2). Aún así, quedaría el problema de definir de forma precisa los límites de las regiones planas.

F) Visualización: Una vez reconstruido el modelo, tendremos unos bloques geométricos susceptibles de ser enriquecidos con texturas patrón (renderizado "virtual") o fotorrealísticas (renderizado "visual"). En muchas ocasiones, la visualización tridimensional finaliza con la proyección o superposición de una ortoimagen del área que ocupa el modelo digital generado.

5. POSIBLES APLICACIONES DE LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES URBANOS

Los modelos digitales tridimensionales urbanos tienen múltiples aplicaciones, entre las que enumeramos las siguientes:

- Estudios de contaminación:* Una de las grandes problemáticas en muchas ciudades se asocia a la contaminación acústica, lumínica y atmosférica. El disponer de un modelo tridimensional para este tipo de casos es, sin duda, una gran herramienta de base.
- Estudios microclimáticos:* Tales como "islas de calor".
- Planeamiento urbano:* Los urbanistas pueden tener una visión integral de su entorno no sólo con información planimétrica, sino también con las elevaciones correspondientes, lo que permite planificar haciendo uso de la máxima información gráfica contextual.
- Visualizaciones turísticas en general:* Que ayudarán al viajero a tener una visión perspectiva de su destino vacacional y, en la medida de lo posible, a organizar su itinerario.
- Adopción de medidas de prevención ante desastres:* Los modelos 3D constituyen una herramienta muy interesante para este tipo de aplicaciones en sus diferentes fases, tanto para tareas de previsión ante hipotéticos desastres, como para tareas de ayuda en caso de catástrofes consumadas.
- Ubicación de antenas de telefonía y TV:* Muchas empresas de telecomunicaciones están ya trabajando con este tipo de modelos, ya que esto les permite poder valorar en gabinete cuál es la incidencia de colocar una antena en uno u otro punto y establecer los emplazamientos óptimos.

Tecnología Leica GNSS Por encima de lo habitual



Presentamos la tecnología Leica GNSS (GPS and GLONASS)

Añada más satélites GLONASS al sistema GPS con las más altas prestaciones del mundo. Reduzca el tiempo de adquisición y aumente su productividad - sobre todo cuando los árboles impiden la recepción de los satélites GPS. La más que experimentada fiabilidad del System 1200 sube de nivel con el soporte de GLONASS para entregar resultados excelentes con SmartTrack y SmartCheck+.



Leica GX1230 GG/ATX1230 GG GPS y tecnología GLONASS GNSS

- Más mediciones desde todos los satélites GLONASS
- El primero del mundo
- SmartTrack+ & SmartCheck+
- Totalmente compatible con Leica TPS1200 y SmartStation
- Creado para soportar futuras señales GNSS (GPS L5 & Galileo)

Para organizar una demo, contacte con su representante local de Leica Geosystems.

6. CONCLUSIONES

La generación de modelos digitales tridimensionales estaba, hasta hace unos años, destinada exclusivamente a visualizaciones de tipo turístico y animaciones, con una proliferación escasa en otros ámbitos. Quizás el motivo de esto era, entre otros, la dificultad de generar modelos tridimensionales a través de metodologías convencionales.

En cualquier caso, el empleo de modelos digitales tridimensionales urbanos para tareas de gestión y planificación aporta una visión más intuitiva e integrada de la realidad. De hecho, gran cantidad de empresas (de cartografía, eléctricas y de telecomunicaciones, etcétera) y administraciones están muy interesadas en poder trabajar con este tipo de modelos 3D. Hoy en día, estos modelos tridimensionales ya se emplean como base cartográfica y en muchas ocasiones se integran dentro de entornos SIG-3D.

El LIDAR aerotransportado es la tecnología que mayores prestaciones ofrece en la generación de modelos digitales de superficie, en general, y de modelos tridimensionales urbanos en particular. No obstante, la automatización total del proceso cartográfico es todavía un sueño, tanto a partir de tecnologías activas, tipo LIDAR, como pasivas, tipo fotogramétricas. Sin embargo, la coexistencia y complementareidad de ambas se estima que proporcionará resultados muy prometedores, tanto en calidad como en eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Balsa Barreiro, J. y Lerma García, J. L. (2006): "La tecnología LIDAR: Una visión general". Topografía y Cartografía, Nº 135, Vol XXIII, Julio-Agosto.
- Brenner, C. (2000): "Towards fully automatic generation of city models". Institute for Photogrammetry (IFP), Universidad de Stuttgart. Alemania.
- Charaniya, Amin (2004): "3D Urban reconstruction from aerial LIDAR data". Computer Science. University of California. Santa Cruz, EEUU.
- Haala, N., Brenner, C. (1997): "Generation of 3D City Models from Airborne Laser Scanning Data". Proceedings EARSEL. Workshop on LIDAR remote sensing on land and sea. Talin, Estonia.

- Haala N., Brenner C. (1999): "Extraction of buildings and trees in urban environments". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54, pp. 130-137.
- Lerma García, J. L. (2002): "Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital". Universidad Politécnica de Valencia.
- Maas, H.G. (2002): "Methods for Measuring Height and Planimetry Discrepancies in Airborne Laserscanner Data". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, ASPRS, pp 933-940.
- Maas, H.-G. (1999): "Closed solutions for the determination of parametric house models from invariant moments of airborne laserscanner data". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 32, Parte 3-2, pp. 193-199.
- Maas, H.-G. (2001): "The suitability of Airborne Laser Scanner Data for Automatic 3D Object Reconstruction". Proceedings 3rd International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Ascona, Suiza.
- Ranzinger, M. & Gleixner, G. (1995): "Changing the city: datasets and applications for 3D urban planning". GIS Europe, Marzo 1995, pp. 28-30.
- Vosselman, G., Dijkman, S. (2001): "3D building model reconstruction from point clouds and ground plans". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34, Parte 3-W4, pp. 37-43.

BIBLIOGRAFÍA WEB

- <http://www.airbornelasermapping.com> , (ACCESO, 11/IX/2005)
- <http://www.lidar.co.uk/links.htm>, (ACCESO, 14/IX/2005)
- <http://www.lidaralaska.com/>, (ACCESO, 13/IX/2005)
- <http://www.lidarmap.org/>, (ACCESO, 17/III/2006)
- <http://www.lidarmapping.com/>, (ACCESO, 19/IX/2005)
- <http://www.lrtudelft.nl>, (ACCESO, 21/IV/2006)
- <http://www.merrick.com/>, (ACCESO, 19/IV/2006) ■

Análisis de la transformación nacional ED50-ETRS89 aplicada al ámbito territorial de la provincia de La Coruña

Manuel Pérez Gutiérrez y Alfonso Núñez García del Pozo

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Resumen

Las recomendaciones de la comisión EUREF y del grupo VIII de EuroGeographics (realizadas en el ámbito europeo) sobre la adopción de un sistema de referencia común y compatible con el uso de sistemas de posicionamiento global (que utilizan sistemas de referencia geodésicos globales y no locales, como es el caso del actual ED50), plantea el problema adicional de transformar la información (fundamentalmente cartográfica) existente a fin de no tener que realizar una nueva toma de datos (evidentemente impensable); es claro que la información de la red geodésica, con la finalización del cálculo y compensación de REGENTE, ya está directamente sobre el nuevo datum (ETRS89) y podrá ser utilizada para calcular una transformación. El presente artículo describe el análisis realizado para la transformación dada, en el formato de rejilla NTV2 implementado por el IGN, para el caso de la provincia de La Coruña, mostrando los resultados obtenidos y la valoración de los mismos.

I. INTRODUCCIÓN

Para este fin, el IGN español ha contado con las coordenadas de más de mil puntos tanto en el sistema ED50 (European Datum 1950) como en el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989); además se cuenta con que las coordenadas ortométricas de los vértices utilizados han sido obtenidas por nivelación desde clavos de la Red Geodésica de Nivelación, en vez de utilizar las antiguas cotas obtenidas en las compensaciones por métodos trigonométricos.

Como queda de manifiesto en los trabajos presentados por González-Matesanz y Dalda Mourón, existen diferentes caminos para obtener los parámetros de transformación: modelos de siete y cinco parámetros, transformaciones polinomiales tanto en variable real o compleja, transformación con modelado de distorsiones, métodos de mínima curvatura, método de Rubber Sheeting o colocación mínimo cuadrática. Los resultados que estos autores muestran en los diferentes test realizados, salvo para el caso elemental de transformaciones de 5 parámetros (cuyos residuos son muy elevados), van desde los 2 metros para el caso de la transformación clásica de 7 parámetros, hasta valores submétricos en el resto de transformaciones.

Entre las conclusiones obtenidas se apunta como mejor transformación la de modelado de distorsión, bien de mínima curvatura, bien por el método de Rubber Sheeting, bien por el método de colocación, aunque proponen como más adecuado el primero de los tres mencionados.

Para el uso práctico de éste último se ha implementado una aplicación (MiniCurv, que corre sobre Windows) sobre el formato de rejilla propuesto por canadienses y australianos, que permite la utilización de diferentes rejillas (de diferente paso) a fin de implementar éstas cuando en una zona concreta se disponga de mejor transformación.

En este trabajo se pretende analizar, para el caso de la provincia de La Coruña, la transformación que proporciona la mencionada transforma-



Figura 1. Red geodésica de La Coruña

ción nacional, para lo que se dispone de los datos de la reobservación geodésica realizada en dicha provincia en la década de los años 80, así como la compensación de la red.

Esta compensación nos proporciona las coordenadas ED50 de 185 vértices, de los que 24 pertenecen además a REGENTE, lo que implica que tienen coordenadas precisas ETRS89.

Además, en el trabajo de ajuste y compensación de la red se realizó una transformación de 7 parámetros (Helmert 2D), cuyos resultados son precisamente los que se testearán con la rejilla del IGN, comparando las coordenadas transformadas en uno y otro caso, tanto de ida (es decir, coordenadas ETRS89 transformadas) como de vuelta (esto es, transformando las ETRS89 con la rejilla a ED50 y comparándolas con las originales ED50). En este último caso se realizará sólo con los 24 vértices REGENTE, ya que evidentemente son de los únicos de los que se dispone coordenadas ETRS89 medidas (esto es, obtenidas sin realizar ninguna transformación).

Por último, se buscará una posible correlación entre los errores medios cuadráticos resultantes del ajuste y compensación en ED50 y las diferencias entre las coordenadas transformadas por los dos métodos, y también entre las orientaciones de dichas elipses y las direcciones determinadas por las diferencias de posición.

Antes de encarar el problema, hagamos unas consideraciones de partida, útiles para entender los resultados obtenidos y dar una posible solución:

El problema de encontrar transformaciones óptimas entre los sistemas geodésicos ED50 y ETRS89 proviene especialmente de la calidad de las coordenadas ED50, que no es homogénea, y es en la actualidad de gran complejidad, por varias causas que discutiremos brevemente a continuación, invalidando el uso de transformaciones aún polinomiales que deforman la información ED50 para llevarla a ETRS89, del que en planimetría y altitud elipsoidal se dispone de información de gran calidad y homogénea en toda la parte continental de España a través de la Red REGENTE. Esta información de calidad no existe en la cota ortométrica, que en la mayoría de los casos coincide con la de la antigua Red de Tercer Orden.

Discutamos las deficiencias antes mencionadas en la implantación del Sistema ED50 en España, que hacen que la única solución posible para implantar de forma rigurosa sobre la Red Geodésica Nacional el Sistema ETRS89, es volver a calcular y ajustar las observaciones angulares clásicas tomando como control la Red Regente, tanto en planimetría como en altitud elipsoidal, y mediante una carta del geoide adecuada, por ejemplo IBERGEO 2000, elaborado por D. Miguel Sevilla de Lerma, pasar, de forma al menos homogénea en toda la España peninsular, a altitud ortométrica.

El lado medio de la Red de Tercer Orden, también llamada de Orden

Inferior, es de unos 8 kilómetros, es decir, unos 8 vértices por hoja MTN50, y su observación se hizo con medida de ángulos con teodolito de 1 segundo de apreciación (Wild T-2), diurna y metodologías topográficas, por ejemplo, pares a una referencia (un vértice de la vuelta de horizonte) y ángulos cenitales recíprocos pero no simultáneos. La experiencia muestra que con esta metodología de observación los intervalos de confianza para las coordenadas planimétricas de carácter local a un nivel de confianza del 5% tienen una amplitud del orden de 0,20 metros, es decir, la anchura del hito sobre los que se realizaban las punterías. Digamos que este orden de precisión no se puede evidentemente mejorar con un nuevo sistema de referencia, es intrínseco al método de observación. Estamos hablando, por tanto, de una red con una garantía planimétrica relativa de unas 10 partes por millón, esto es, de $\pm 0,01$ metro por kilómetro, debidas exclusivamente a su parte observacional. No es conceptualmente una red geodésica, sino topográfica.

Ahora bien, el punto fundamental y que invalida la utilización de modelos de transformación que garanticen al menos el concepto matemático de continuidad entre ED50 y cualquier otro sistema de referencia, es la falta de un control riguroso por redes de primer y segundo orden. La reobservación de la Red de Primer Orden no se llegó a completar, quedando grandes extensiones de nuestra geografía carentes de esta información imprescindible, y la Red de Segundo Orden solamente se reobservó en zonas de Cataluña y Huelva. Esto hizo que, en muchos casos, en el ámbito provincial se calculase y ajustase la red con el único control (sistema de referencia) dado por escasos vértices de la antigua Red de Primer Orden, denominados "recuperados", que en algunos casos no era así en magnitudes de metros, puesto que habían desaparecido y se habían reconstruido con distinta ubicación.

Con este bagaje geodésico y coordenadas en el sistema ED50 proporcionadas por el ARMY MAP SERVICE de Estados Unidos, admitidas como artículo de fe, puesto que nunca se ha dispuesto en España de su cálculo, se procedió, tomando como unidad de cálculo la provincia, al ajuste de las observaciones angulares de Tercer Orden. Estudios realizados, por ejemplo en la Comunidad Valenciana (David Hernández, 1999), dan variaciones en la escala para este territorio de unas 100 partes por millón, es decir, unos 10 metros en 100 kilómetros. A título de anécdota, digamos que el vértice de primer orden y también REGENTE estaba recuperado con unos 15 metros de error, lo que queda demostrado al realizar la transformación Helmert entre ED50 y REGENTE, que produce residuos para este punto de unos 10 metros.

Estos hechos, unidos al concepto de cálculo al tomar como unidad la provincia y arrastrar las coordenadas de los puntos limítrofes a la siguiente provincia a calcular; arrastrándose los errores de unas provincias a otras, han producido distorsiones muy importantes en los resultados del ajuste de la Red de Tercer Orden, que son imposibles de modelar con procesos matemáticos, en los que, como mínimo, se exige la continuidad en el proceso de deformación.

2. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

Para cumplir los objetivos marcados se dispone, en primer lugar, de los datos de la red de La Coruña ajustada y compensada sobre ED50, y que dan lugar a:

- *Coordenadas de los vértices de la red geodésica de La Coruña: ED50-UTM*, coordenadas oficiales de la red calculadas con los datos de la reobservación de la misma iniciada en los años 70, con un total de 185 puntos y altura ortométrica.

Con los mismos datos de la reobservación se ha procedido al cálculo y compensación de la red sobre el elipsoide WGS84 por el método de variación de coordenadas y cuyo resumen se muestra a continuación:

RESUMEN DEL AJUSTE DE LA RED DE LA CORUÑA COMPENSACIÓN SOBRE WGS84

• Parámetros del W-Test de Baarda de detección de errores groseros	
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN DEL W-TEST	: ,001
POTENCIA DEL W-TEST	: ,800
Nº CRÍTICO DE DETECCIÓN DE ERRORES GROSEROS	: 3,290
• Datos de la red	
PUNTOS FIJOS	26
PUNTOS APROXIMADOS	159
PUNTOS TOTALES	185
DIRECCIONES OBSERVADAS	1457
DISTANCIAS OBSERVADAS	0
OBSERVACIONES TOTALES	1457
INCÓGNITAS EN COORDENADAS	318
INCÓGNITAS DE ORIENTACIÓN	185
INCÓGNITAS TOTALES	503
GRADOS DE LIBERTAD DEL AJUSTE	954
ELEMENTOS DE MATRIZ NORMAL	25362

Esta compensación permite obtener las:

- *Coordenadas de los vértices de la red geodésica de La Coruña: ETRS89-UTM*, coordenadas de la red calculadas con los datos de la reobservación de la misma iniciada en los años 70, con un total de 185 puntos y altura elipsoidal sobre el sistema de referencia ETRS89, ya que los puntos fijos de la red (el Primer Orden) disponen de coordenadas en dicho sistema obtenido a partir de la observación de REGENTE que se muestran en las:
- *Coordenadas de los vértices REGENTE de la red geodésica de La Coruña: ETRS89-UTM*, 24 puntos que se utilizan para constreñir la red sobre dicho sistema de referencia, y que posteriormente servirán para el cálculo del Helmert 2D, obtenidos a partir del paso de las coordenadas geodésicas de REGENTE a la proyección UTM sobre el elipsoide GRS80.

Puesto que todos los vértices están sobre el huso 29 de la proyección UTM, se suprimirá la referencia a esta variable, que evidentemente ha sido tenido en cuenta para efectuar los correspondientes pasos de UTM a Geodésicas y viceversa.

3. TRANSFORMACIÓN CLÁSICA H2D

A partir de los 185 puntos comunes de los dos sistemas anteriores (conjunto A, ED50-UTM, y conjunto B, ETRS89-UTM) se ha procedido a calcular una transformación de 7 parámetros, cuyos resultados se resumen en el cuadro siguiente, y que muestran que existe una homogeneidad en los datos de partida, con unos residuos dentro de lo esperado para la precisión con que se observó la antigua red.

RESULTADOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE HELMERT 2D BARICENTRO X: 548954,052 Y: 4777850,617

NIVEL DE SIGNIFICACIÓN DEL TEST	:	,001	
POTENCIA DEL TEST	:	,800	
NÚMERO CRÍTICO	:	3,290	
DELTA X (METROS)	:	-125,430	E.M.C. : ,058
DELTA Y (METROS)	:	-214,102	E.M.C. : ,058
ROTACIÓN (GRA. CENT.)	:	,0007	E.M.C. : ,0001
ESCALA	:	1,000006	E.M.C. : ,000001
E.M.C. A PRIORI DE PESO UNIDAD	:	1,000	
E.M.C. ESTIMADO DE PESO UNIDAD	:	1,159	

Error medio cuadrático mínimo: 0,069 m (vértices 4554 y 7063, Castro de Ameas y San Nicolás respectivamente)
Error medio cuadrático máximo: 0,125 m (vértice 15153, Monte Castro)

Salvo para un punto en que el test de Baarda detecta un error grosero (y que evidentemente se elimina), se observa cómo los residuos de la transformación no exceden de los 12,5 centímetros, que está en el orden esperado, como se comentó anteriormente. Anotamos el punto mencionado con el error grosero, que se corresponde al vértice número 245, Cañoles, puesto que, como luego veremos, es el que proporcionará la mayor diferencia entra las coordenadas transformadas por los dos métodos.

La aplicación de estos parámetros de transformación al conjunto de puntos ED50-UTM proporciona un nuevo conjunto de coordenadas ETRS89 transformadas, que denominaremos ETRS89-UTM-H2D, para distinguirlas de las obtenidas de manera directa por el cálculo y compensación de la red en ETRS89.

4. TRANSFORMACIÓN CON MINICURV

La transformación del conjunto de puntos ED50 a ETRS89 utilizando la rejilla del IGN se ha realizado con la aplicación denominada SPAIN ED50 TO ETRS89 DATUM TRANSFORMATION, VI.44, realizada en el Instituto Geográfico Nacional por Javier González-Matesanz, que realiza una transformación de datum empleando modelado de distorsión de mínima curvatura con formato de rejilla NTV2 (válido para Península y Baleares). A partir de aquí se denominará simplemente con el nombre del fichero ejecutable de la aplicación: MINICURV.

Previa a esta transformación, se han realizado una serie de operaciones en el entorno MATLAB 6.1, a fin de organizar y dar formato a los datos y que sean legibles por la aplicación MiniCurv. Entre estos pasos destacamos el realizado para los cambios de formato de coordenadas geodésicas, ya que la aplicación requiere de éstas que estén escritas con la nomenclatura N o S para latitudes positivas o negativas y E o W para longitudes también positivas o negativas. Transformadas las coordenadas con MiniCurv, se obtiene un listado de coordenadas geodésicas, que han sido nuevamente formateadas para su cambio (también en el entorno MATLAB) a coordenadas UTM. El resultado se recoge en el conjunto de puntos que llamaremos **ETRS89-UTM-MC**, esto es, las coordenadas de los 185 vértices de la red geodésica de La Coruña sobre el sistema de referencia ETRS89, coordenadas obtenidas **al transformar las coordenadas ED50 mediante MiniCurv**

5. COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS CONJUNTOS DE COORDENADAS

En este momento, lo que procede es la comparación de los dos conjuntos de coordenadas (ambos sobre ETRS89) obtenidos, en el primer caso por cálculo directo de la red sobre dicho sistema de referencia y, en el segundo, por transformación de las coordenadas ED50 a ETRS89 con la aplicación MiniCurv. En el siguiente resumen se muestra, a modo de ejemplo, las diferencias obtenidas (en metros para las diferencias y en grados centesimales para las direcciones de los vectores diferencia en posición XY) para los 24 vértices REGENTE, aunque los datos esta-

Punto	DifX	DifY	DifXY	AcimutDif
173	-1,2203	-0,2420	1,2441	191,1301
245	-1,4666	1,0098	1,7806	145,2705
683	-0,6310	-0,0172	0,6312	181,3341
745	-0,5188	-0,0743	0,5241	188,0901
844	-0,4402	0,4515	0,6306	134,1626
2163	-0,5723	-0,2852	0,6394	206,2920
2255	-0,2497	0,0911	0,2658	159,5722
2355	-0,2438	-0,0418	0,2474	189,4344
4330	0,1243	0,0218	0,1262	9,5651
4554	-0,0708	0,0126	0,0719	169,5432
4673	-0,1651	0,0938	0,1899	150,2350
6784	0,0687	0,0751	0,1018	47,3254
6863	0,0669	0,0257	0,0717	21,0052
6922	0,0492	0,0439	0,0659	41,4430
7063	-0,0623	0,0001	0,0623	179,5429
7164	0,1408	0,0556	0,1514	21,3254
9265	0,0233	0,0771	0,0805	73,1106
9362	0,0201	0,0266	0,0333	52,5526
9443	0,0515	0,0475	0,0701	42,4111
9553	0,2559	0,1940	0,3211	37,0958
9643	-0,0705	0,0956	0,1188	126,2425
11956	-0,0220	0,0145	0,0263	146,3641
12065	0,0732	0,0131	0,0744	10,0847
12152	0,0285	0,0054	0,0290	10,4344
15153	-0,1725	-0,1975	0,2622	228,5156

dísticos de la comparación, los histogramas y el gráfico de distribución geográfico de errores contempla a la red completa, esto es, los 185 vértices.

El resumen del estudio estadístico de la transformación realizada con los 185 puntos de la red, de las diferencias de coordenadas se muestra en el siguiente cuadro:

VALORES MEDIOS PARA LA DIFERENCIA DE COORDENADAS		
Máxima Diferencia en X	: 1,6038	punto: 256
Máxima Diferencia en Y	: 1,3852	punto: 272
Máxima Diferencia en XY	: 2,1010	punto: 256
Para la coordenada X.		
Media aritmética para X	: 0,2039	
Desviación estándar para X	: 0,2811	
Valor medio para X	: 0,0833	
Para la coordenada Y.		
Media aritmética para Y	: 0,1334	
Desviación estándar para Y	: 0,2207	
Valor medio para Y	: 0,0710	
Para la coordenada XY.		
Media aritmética para XY	: 0,2647	
Desviación estándar para XY	: 0,3420	
Valor medio para XY	: 0,1201	

La observación de los resultados presentados anteriormente muestra una gran coincidencia para ambos conjuntos de coordenadas, con una diferencia dentro del rango esperado, pues no hay que olvidar que la precisión de red observada por métodos clásicos no es mejor que los 0,10 metros (emc) en planimetría y que, además, esta precisión se ve deteriorada por la propia configuración de la red, que en muchas zonas no ofrece una distribución de observaciones ni completa ni homogénea.

Así pues, y puesto que las diferencias entre ambos conjunto de coordenadas son del mismo orden que los errores obtenidos en el ajuste de la red sobre ETRS89, cabría esperar una relación entre ellos. Para comprobarlo se ha calculado (en el entorno MATLAB) el coeficiente de correlación, tanto para la coordenada X como para la Y, de los errores medios cuadráticos de cada punto resultantes del ajuste y compensación de la red sobre el sistema ETRS89 y la diferencia para los mismos puntos de ambas coordenadas. También se ha calculado el coeficiente de correlación entre la dirección del semieje mayor de la elipse de error del ajuste y la dirección del vector diferencia de posición. Estos resultados se muestran en el siguiente cuadro.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE EL EMC DEL AJUSTE Y LA DIFERENCIAS DE COORDENADAS	
Coficiente de correlación para X	: 0,1256
Coficiente de correlación para Y	: -0,0239
Coficiente de correlación para Acimutes	: -0,0480



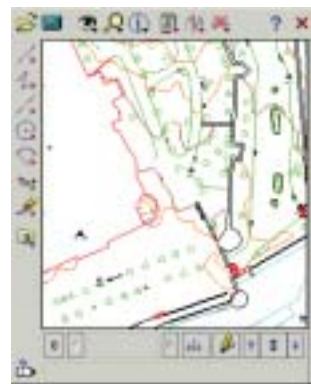
POCKET & CARTOMAP 5.5

Pocket CARTOMAP facilita el trabajo en obra con diversos aparatos GPS, estaciones totales manuales, motorizadas y robotizadas en modo remoto, distanciómetros... de diferentes fabricantes (Leica, Topcon, Trimble...) y con diferentes equipos Pocket PC (Itronix, Topcon FC100, Trimble Recon y ACU Leica Allegro...). La rapidez, calidad y funcionalidad de *Pocket CARTOMAP 5.5* establecen un nuevo hito en la operativa diaria del trabajo en obra y proporciona una plataforma de trabajo homogénea para todo su parque de instrumentos.

CARTOMAP facilita la intercomunicación entre campo y oficina técnica para la mayor eficacia en la elaboración de proyectos y ejecución de Obras de Ingeniería Civil, Urbanismo, Minería, Hidrología, Aeropuertos, Catastro, Agrimensura...

Puede solicitarnos una demostración adecuada a su problemática, sin ningún compromiso.

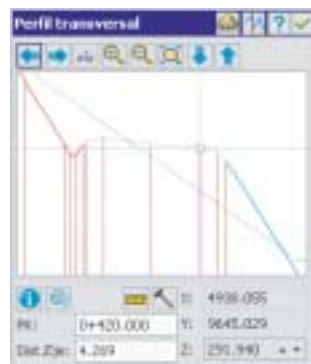
Captura de datos · Topografía analítica de campo · Modelo del Terreno · Curvado · Completo CAD 2D/3D · Croquis automático asociativo · Perfiles longitudinales · Perfiles transversales · Rasantes · Replanteo · Control de calidad · Secciones tipo · Ficheros shapefiles · y mucho más...



El autocroquis realiza el dibujo en tiempo real, según la codificación.



Se pueden incorporar ortofotos junto con cartografía en formato DXF.



Se puede replantear cualquier punto y en cualquier PK, con funciones específicas y control de calidad.



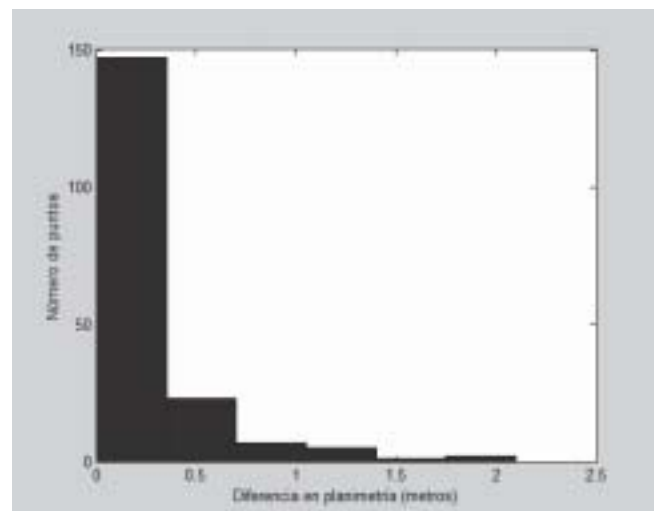
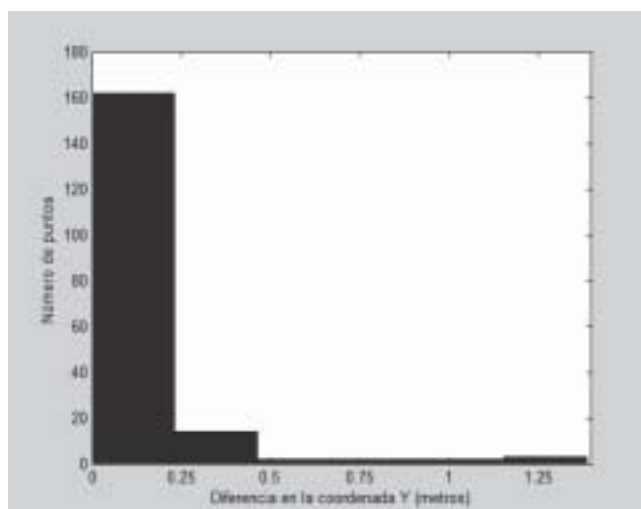
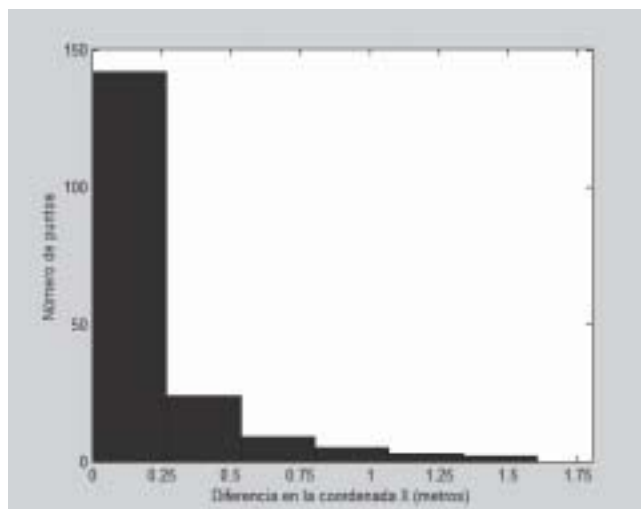
POCKET & CARTOMAP

¡Desde 600€!

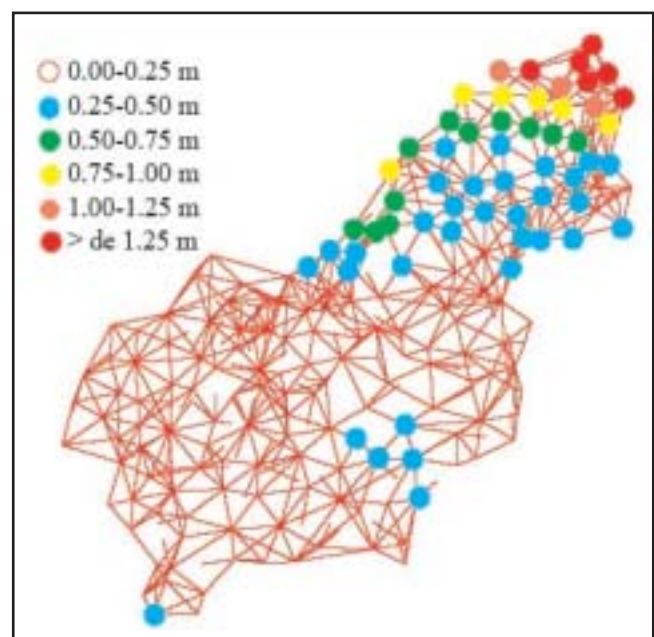
Los resultados son tan próximos a 0 que permiten afirmar con total seguridad que no existe la relación, antes anunciada, entre los errores del ajuste y las diferencias de coordenadas. La tabla siguiente presenta un resumen numérico de los histogramas de distribución de las diferencias. Se proporciona el porcentaje de puntos en cada grupo y, entre paréntesis, el número de puntos incluido en dicho intervalo.

	Dif. en X	Dif. en Y	Dif. en XY
0,00-0,25 m	75,1% (139)	89,2% (165)	68,7% (127)
0,25-0,50 m	13,6% (25)	5,9% (11)	17,4% (32)
0,50-0,75 m	5,4% (10)	1,1% (2)	5,9% (11)
0,75-1,00 m	3,2% (6)	1,1% (2)	3,2% (6)
1,00-1,25 m	1,1% (2)	1,1% (2)	1,6% (3)
> 1,25 m	1,6% (3)	1,6% (3)	3,2% (6)

En los siguientes tres histogramas de distribución se muestran las diferencias en las coordenadas, y en ellos se observa claramente que cerca de las tres cuartas partes de los puntos tienen diferencias menores de 0,25 metros y cerca del 90% está por debajo del medio metro, lo que indica la bondad de la transformación realizada con la rejilla.



Sin embargo, parece adecuado ver cómo se distribuyen geográficamente estos errores, ya que si el reparto en la red es aleatorio podrían detectarse incongruencias que no ha puesto de manifiesto el ajuste de la red. El siguiente gráfico muestra esta distribución geográfica a lo largo de toda la red.



6. CONCLUSIONES

La observación del gráfico permite realizar los siguientes comentarios:

- En referencia al punto situado más al sur (vértice 15153, Monte Castro Ciudad, vértice de la red REGENTE), el error es de 0,26 metros para la posición (la diferencia en **X** o en **Y** no llega a valer 0,20 metros) y dicho error es del mismo orden que el de los puntos que lo rodean. No debe considerarse pues significativo.
- Respecto al bloque de 5 puntos situados en la zona central (el vértice REGENTE 9553, Minas, y los vértices ROI 9536, 9583, 9588 y 12198), basta comprobar que, además de estar situados en una zona

intermedia baja del rango de valores (el mayor error es de 0,35 m, que se corresponde con el último de ellos), conforman una serie de figuras geométricas mucho peor definidas que el resto. Falta alguna diagonal en los cuadriláteros y existen visuales sin la correspondiente recíproca, lo que da menor peso a estas observaciones y, por tanto, más inconsistencia al bloque. Sin embargo, y curiosamente, esto no se hace demasiado significativo en los errores medios cuadráticos dados en el ajuste, que son muy parecidos a los de otras zonas de la red. Quizá pudiera ser debido a un mayor error en la posición de los vértices que constriñeran el cálculo de la red antigua en ED50, como ocurre de manera significativa en el siguiente grupo.

- El bloque nororiental, que es el que agrupa los mayores errores, muestra además cómo estos van incrementándose al acercarnos al borde de la red, hasta llegar al máximo valor en la diferencia de coordenadas: los 1,6 metros, que se corresponde con el punto 256, punto, por otra parte, que ya fue eliminado en la comprobación de errores groseros realizada en la transformación clásica 2D, junto con los otros que conforman el bloque de errores de más de 1,25 metros. Cabe pensar que el punto que constriñe la red en la zona (el vértice REGENTE número 245, Cañoles) tiene algún tipo de problema en su posición, además de ser el extremo de la red, factor que siempre influye, aunque no parece que sea éste el caso que nos ocupa.

Una primera conclusión permite decir, por una parte, que se confirman los problemas de la red de primer orden en la zona noroccidental de la Península de los que siempre se ha tenido noticia. De hecho, basta observar el gráfico de distorsión proporcionado por González-Matesanz, en el que se observa cómo la zona que comprende las cuatro provincias gallegas y el oeste de Asturias y de León está afectada por una distorsión de signo diferente al resto de la Península. Por otra parte, el problema que introduce el vértice 256, Cañoles, parece debido al posible error en sus coordenadas ED50, que constriñeron la red al ser calculada sobre ED50, y no a las observaciones de la propia red, puesto que, calculada ésta nuevamente, no se detectan errores groseros en la zona ni valores heterogéneos en los errores medios cuadráticos proporcionados por el ajuste.

También puede añadirse que el modelado de mínima distorsión elegido por el IGN reparte bien los errores que se encuentran en cada zona, como queda de manifiesto en la figura de distribución geográfica de las diferencias de coordenadas, **pero no los elimina**.

En cualquier caso, sería interesante comprobar qué ocurre no sólo en la provincia objeto de este trabajo, sino también en las otras tres provincias gallegas, a fin de poder detectar posibles errores groseros en la red ED50 que siguen arrastrándose a nuevos sistemas de referencia sin tener información de ello.

Respecto de los resultados que se obtienen con la transformación inversa, esto es, aplicando la transformación de MiniCurv a los vértices REGENTE para obtener coordenadas ED50 transformadas y compararlas con las coordenadas ED50 oficiales, sólo diremos que se obtienen re-

sultados idénticos (en cuanto a los errores que aparecen en las diferencias) a los de la transformación presentada, incluso sólo utilizando los 24 vértices comunes de REGENTE para calcular la transformación. Esto implica que el mencionado modelado por mínima distorsión tiene la misma eficacia y proporciona la misma precisión en los dos sentidos de la transformación, tanto de ED50 a ETRS89 como de ETRS89 a ED50.

Como conclusión de lo expuesto en este trabajo, dos alternativas se tienen en la actualidad para evitar esta situación: una, que sería la óptima, sería reobservar con GPS la Red de Tercer Orden, como se está haciendo en otros países europeos (por ejemplo Portugal). La otra alternativa que hemos seguido en este trabajo, y que es lo mínimo e imprescindible a realizar, es recalcular y ajustar las observaciones con software adecuado en el sistema de referencia ETRS89, tomando como control la red REGENTE, con la finalidad de obtener un conjunto homogéneo de coordenadas para la red de Tercer Orden, así como el consiguiente control de calidad y sus parámetros de precisión en términos relativo, absoluto y fiabilidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BARBADILLO, A. et al: *Proyecto Regente. Una nueva red geodésica Nacional*. Física de la Tierra, Núm 8. Madrid, 1996
- BOUCHER, C. et al: *Specifications for Reference Frame Fixing in the Analysis of a EUREF GPS Campaign*, VII Meeting of the EUREF WG in Berne, 1995
- CATURLA, J. L.: *REGCAN95. La nueva Red Geodésica de las Islas Canarias*, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 1995
- GONZÁLEZ-MATRESANZ, J. y DALDA MOURÓN, A. *Modelos de transformación entre ED50 y ETRS89*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid 2003
- GURTNER, W. et al: *EUREF89 Solution*. Berna, 1992
- HERNÁNDEZ, D. *Acerca de la compensación de grandes redes geodésicas aplicando teoría de grafos, matrices dispersas y programación orientada a objetos*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL: *El Proyecto IBERIA 95*, Madrid, 1995.
- NIMA. *World Geodetic System 1984*. 3ª Ed. Technical report NIMA TR8350.2. 1997
- NÚÑEZ, A., BADA, B. *Introducción de observaciones Doppler en redes geodésicas de primer orden*, V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, 1983
- NÚÑEZ, A., BADA, B. *Sobre el futuro control de redes de primer orden con GPS*, VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, 1988.
- NÚÑEZ, A., AGRÍA TORRES, J. *Análisis de la Red Fundamental de Portugal*, VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, 1988.
- NÚÑEZ, A. CÁRDENAS, C. *Composición entre las redes clásicas y los resultados obtenidos mediante observaciones GPS sobre la red fundamental de la Península Ibérica*. DATUM XXI, número 1, 2001.
- OREJA, V. et al. *Campaña GPS EUREF'89*, Madrid, 1990
- RODRIGUEZ, E. et al. *IBERIA95. Red Peninsular de orden 0*. Pub. Téc. nº 30. IGN. Madrid 1996
- SUBDIRECCIÓN GENERAL DE GEODESIA Y GEOFÍSICA. *Resultados Provisionales de la Campaña GPS IBERIA95*, IGN. Madrid, 1996. ■

Diseño Geométrico del Trazado de un Circuito de Competición para Fórmula I

Alfonso Enrique Ponz

Tutor: Enrique Priego de los Santos

E.T.S. DE ING. GEODÉSICA, CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

V Premio San Isidoro 2005 2º Premio

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

I. INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Técnica Topográfica permite explorar gran parte de las ciencias relacionadas con nuestro entorno físico, además de realizar infinidad de estudios y aplicaciones que ayudan a entenderlo y mejorarlo. Por ello, la topografía se ha abierto un merecido hueco dentro de las ingenierías que estudian el medio donde desarrollamos.

El Proyecto Final de Carrera en el que se basa este artículo consiste en el diseño y modelizado tridimensional de un circuito de competición habilitado para albergar la categoría de Fórmula I, perteneciendo quizá al ámbito de aplicación más extendido de la topografía, la obra civil.

Para la realización del proyecto se ha partido de una idea inicial, combinando las necesidades propias del trabajo junto con la ilusión de realizar un trabajo atractivo, viable, innovador y acorde con mis aficiones, de este modo he logrado llegar a lo más importante bajo mi punto de vista, disfrutar en su realización.

2. DESARROLLO

Aún estando en la era de la informática, el principio del trabajo ha consistido en realizar bocetos sobre papel, donde se ha tenido en cuenta diversos factores técnicos, además de buscar una cierta coherencia estética. Una vez logrado un diseño satisfactorio, se procedió a plasmarlo en formato digital mediante software específico para este tipo de trabajos, para lo que fue necesario emplear las normativas especificadas por la Federación Internacional de Automovilismo.

2.1. Normativa FIA

La FIA establece una normativa referente a todas las especificaciones técnicas necesarias en el ámbito del automovilismo. Para la realización de este trabajo ha sido necesario remitirse al apéndice O de esta normativa, que hace referencia a los criterios de aprobación necesarios para los circuitos de competición automovilísticos (*Criteria for the Approval Motor Racing Circuits*). En los apartados sucesivos se incluyen las restricciones, si las hubiere, para cada uno de los elementos del diseño del circuito.

Antes de abarcar los siguientes apartados se muestran dos de las definiciones incluidas, que pueden aclarar el concepto de un circuito de competición:

Circuito.—“Recorrido cerrado, permanente o temporalmente, con comienzo y final en el mismo punto, construido o adaptado específicamente para coches de carreras.”

Pista.—“Camino construido o adaptado especialmente para utilizarse en circuitos de competición. La pista está definida por los bordes exteriores de la superficie definida para la competición.”

2.2. Análisis del trazado en planta

El diseño del trazado en planta es el primer paso que se ha dado para comenzar el diseño del trazado del circuito. En este caso, el diseño parte de una idea que se va formando y plasmando sobre el papel, hasta conseguir una aproximación inicial o boceto de lo que será el trazado en planta.

Tras este proceso, que puede parecer sencillo, se ha realizado un análisis de los circuitos existentes en la actualidad en los que se realizan este

tipo de eventos. Así se pueden llegar a establecer ciertos criterios del diseño, como son zonas de adelantamiento, frenadas fuertes, tramos que presenten mayor dificultad técnica, tramos de gran velocidad, etc.

Una vez que el diseño del circuito ya está concebido y plasmado sobre el papel, con los criterios establecidos por el diseñador, se procede al diseño del trazado mediante el uso del software de cálculo informático apropiado; en este caso se ha empleado el Clip v. Windows.

Todo lo referente al software empleado y su metodología de trabajo se explica en el apartado 3.6, aunque a lo largo del artículo se hace mención de diversos aspectos de éste, sobre todo aquellos que puedan condicionar de algún modo el diseño del trazado.

Además de lo meramente relacionado con el diseño de los ejes del trazado, se contemplan otros factores, como son las zonas de emergencia en caso de accidente, las instalaciones sanitarias, la ubicación del público asistente y otros servicios propios del circuito.

Antes de comenzar el desarrollo del proceso de diseño del trazado hay que destacar que una de las mayores diferencias que presenta éste con respecto al diseño convencional de viales es la ausencia de una cartografía inicial que pueda, de algún modo, condicionar el trazado final. Como se explica más adelante, la edición de la cartografía es posterior al diseño del circuito, acoplándose a éste, de modo que se consideren ambos como un conjunto indivisible para muchos aspectos.

En lo referente a las limitaciones técnicas del trazado en planta que establece la normativa de la FIA, hay que destacar las correspondientes a la anchura de los tramos y longitud del trazado.

La anchura de los tramos nunca debe ser inferior a 12 metros y, en caso de existir ensanchamientos o estrechamientos, el incremento de anchura se hará lo más gradualmente posible, no siendo en ningún caso superior a un metro por cada 20 metros en el sentido de avance.

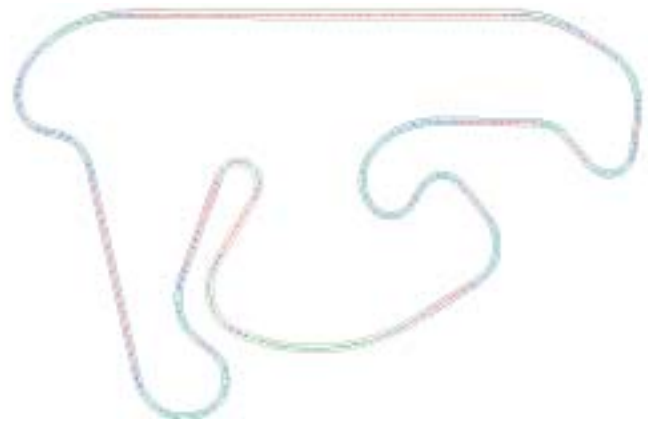
La FIA establece unas longitudes mínimas para el trazado de los circuitos según la categoría de la competición que se realice. En el caso que nos ocupa, la longitud mínima para circuitos que puedan albergar carreras de Fórmula 1 es de 3,5 kilómetros, como se muestra en el suplemento 2 del apéndice O. Sin embargo, al no existir limitaciones de longitudes máximas, se recomienda que los trazados no superen los 7 kilómetros de longitud máxima.

A diferencia de los trazados de viales habituales, no se establecen más limitaciones referentes al trazado en planta, quedando en manos del diseñador la elección del mismo.

En la siguiente figura se muestra un croquis del diseño del trazado en planta final. A partir de esta figura se explican los distintos aspectos tenidos en cuenta hasta llegar al resultado final.

2.3. Análisis del trazado en Alzado

El diseño del trazado en alzado del circuito ha tenido unos inicios similares a la planta; se ha partido de un boceto inicial que, poco a poco, se ha ido modificando y ajustando hasta obtener el resultado final.



Croquis trazado en planta

El trazado en alzado tiene gran importancia en el diseño de un circuito de competición, ya que puede acentuar en gran medida la dificultad de éste. Es cierto que sobre un mismo trazado en planta se pueden ajustar múltiples alzados que se ciñan a las limitaciones técnicas especificadas, sin embargo, queda a la elección del diseñador el determinar cuál de ellos elegir en función de las características que quiera para el trazado final.

En el circuito proyectado, el diseño del alzado ha sido realizado desde un punto de vista técnico, en el que, tras combinarlo adecuadamente con el trazado en planta, se obtienen zonas de mayor o menor complejidad para el pilotaje. En los apartados sucesivos se analizan las características del alzado en los distintos sectores del circuito, explicando el porqué de la elección empleada.

En la normativa de la FIA únicamente se hace mención de los radios mínimos de los acuerdos verticales empleados en función de la velocidad del vehículo y el parámetro K, presentando este último valores específicos para acuerdos cóncavos y convexos.

El trazado en alzado tiene una importancia especial en este circuito, ya que se parte de él para la creación del terreno sobre el que se superpone el trazado final. Este aspecto se tratará en el apartado 4.

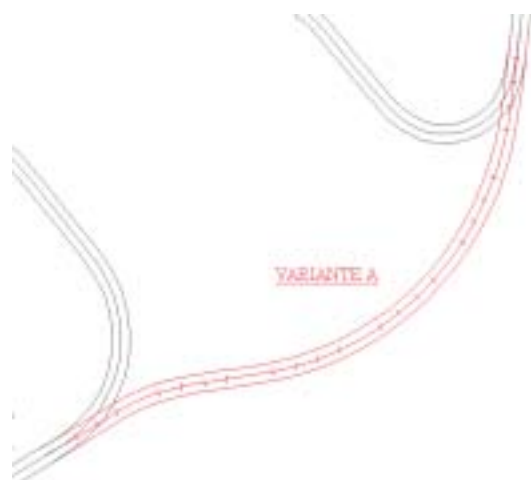
2.4. Variantes al trazado principal

En todo diseño de un circuito de competición es normal encontrarse con tramos que permitan ofrecer distintas variaciones del trazado original, ya sea para poder modificar la longitud del recorrido y albergar distintos tipos de competiciones o simplemente para generar diferentes tipos de trazado.

En el circuito diseñado se han proyectado dos variantes al trazado principal.

Variante A

Está compuesta por dos curvas y es la más corta de las dos. Parte a continuación de la recta 3 y le sigue la recta 7. Esta variante anula el sector dos del circuito, quizá el más lento y técnico del trazado.

**Variante A****Variante B**

Está compuesta por dos curvas y dos rectas, siendo la más larga de las variantes. Continúa a la curva 4 para unirse al principio de la recta 9, anulando así los sectores dos y tres del trazado.

**Variante B****2.5. Línea de “boxes”**

Es una de las zonas más características del circuito y es donde se realizan los cambios de ruedas y repontan los vehículos. Las maniobras que se realizan en este tramo son muy rápidas y complejas, lo que implica la coordinación de gran número de personas.

En el circuito diseñado la línea de boxes parte del principio de la curva 13 y va paralela a la recta principal, para acceder de nuevo al trazado principal en la recta 2, por donde la trazada principal no coincide con la zona de incorporación de los vehículos.

La línea de acceso a los boxes es más estrecha que el resto de la pista, al no permitir adelantamientos y tener limitada la velocidad. Esta línea de acceso lleva a la zona de boxes, donde los pilotos pueden parar para

**Línea de Boxes**

que los ingenieros puedan realizar múltiples arreglos y cambios a los vehículos.

3. COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y ALZADO

Como se ha podido analizar a lo largo de todo lo explicado acerca del diseño del trazado del circuito, se observa que los trazados en planta y alzado van íntimamente ligados, con el fin de establecer las características específicas del diseño final.

Debido a que las especificaciones técnicas que establece la FIA para el diseño de circuitos de competición son escasas, se deja la coordinación entre éstos, planta y alzado, a criterio del diseñador. Resulta complicado establecer una combinación que permita designar varias zonas en un mismo circuito para hacer variables las características de éste. En el circuito diseñado se han creado varias zonas de características técnicas diferentes, para hacerlo más versátil y competitivo.

4. LA SECCIÓN TRANSVERSAL

En el diseño del circuito realizado, los elementos empleados de la sección transversal varían respecto al diseño habitual de viales. El factor principal que genera esta situación es que el terreno designado se debe acoplar al diseño del circuito, de este modo no se encuentran taludes de pendientes y longitudes elevadas que, por el contrario, resultarían muy peligrosos para los pilotos en caso de accidente. Nos encontramos con terrenos cuyas pendientes transversales están muy próximas a las de la calzada principal, limitando únicamente a estas zonas los materiales empleados para su construcción.

Otro factor decisivo para la conducción es la generación de peraltes, que condiciona la velocidad de paso por curva de los vehículos. Sin embargo, la normativa impuesta por la FIA no hace referencia a limitaciones en estos valores, salvo en casos que se quiera establecer un peralte contrario al debido, ya que no está permitido por la peligrosidad que puede conllevar.

El proceso de generación del modelo digital del terreno (MDT) que forma parte del circuito ha sido muy distinto a lo habitual en el diseño de viales, al no partir de una cartografía inicial. Para ello se ha empleado un software de edición cartográfica.

4.1. Modificación del MDT

Tras la creación del MDT empleado para el cálculo de listados y planos por el software de cálculo, se procedió a su modificación para la adaptación de éste a las especificaciones indicadas para el circuito, tales como zonas de seguridad, instalaciones, zonas destinadas al público, etc., modificaciones que no alteran en caso alguno las características del terreno correspondiente a la pista y se realizaron, mediante software de edición gráfica, en tres dimensiones.

Elija su sistema topográfico:

Marque una casilla:



Quiero la integración perfecta que proporciona el receptor Trimble R6 GPS.



No. Gracias. Tengo una colección aleatoria de herramientas que no funcionan bien. Y voy a la obra en una de esas bicicletas de ruedas gigantes.



Ahora la elección está clara.

Presentamos el sistema Trimble® R6 GPS. ¡Un nuevo y avanzado sistema GPS de Trimble ahora al alcance de la mano! – robusto y listo para trabajar tanto como usted. El receptor Trimble R6 GPS se integra de forma perfecta con el controlador Trimble TSC2® y con el potente software de campo y oficina de Trimble para proporcionar una solución completa de topografía eficaz y sin esfuerzo.

Opciones flexibles, como la tecnología Trimble R-Track™ para soporte GLONASS y las actualizaciones de radios internas, permiten la configuración ideal de su sistema para satisfacer sus necesidades particulares.

El nuevo sistema Trimble R6 GPS es un componente importante del modelo Trimble Connected Site. **Infórmese más sobre la integración perfecta en www.trimble.com/newtrimbler6.**



5. MODELIZADO 3D

Actualmente, todo proyecto de ingeniería que se precie debe tener una apariencia realista que ayude a la persona interesada en él a visualizar el resultado final. Existen programas de diseño gráfico que permiten reconstruir virtualmente el trabajo realizado sobre planos, dando una apariencia más o menos realista en función del tipo de trabajo. Éste es un aspecto que está en auge gracias a la evolución tecnológica, que permite día a día mayor rapidez de cálculo. La mayoría de las empresas que presentan un proyecto realizan este tipo de representaciones, consiguiendo un mayor realismo que hace que el proyecto sea más atractivo y vendible.

Este proyecto pretende ser un pequeño reflejo de lo que es habitual encontrar en la vida profesional, por ello se ha realizado un modelizado 3D del circuito, intentando presentar un reflejo aproximado de lo que pudiera ser en realidad, haciendo un recorrido virtual por él.

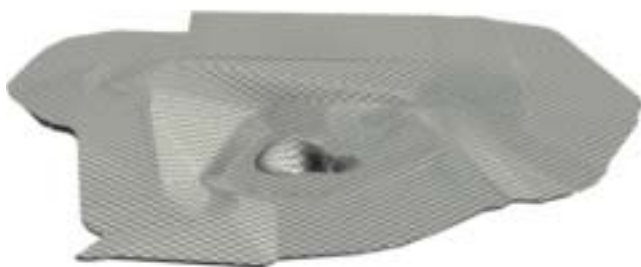
Para realizar el modelizado se ha partido de un modelo digital del terreno que debe tener un formato de archivo compatible con el software de diseño. Como es un programa muy difundido en el ámbito de la ingeniería, permite gran número de formatos de importación de programas de CAD y de diseño gráfico, siendo algunos de estos: 3DS, AI, DEM, DWG, DXF, OBJ, SHP, XML, etc. El formato elegido ha sido el DXF, que permite una correcta importación de la cartografía.

A partir de aquí comienza el proceso del modelizado del circuito.

5.1. Superficie

El software empleado permite generar superficies y modificaciones de éstas a partir de la definición de curvas de nivel, permitiendo realizar triangulaciones y optimizaciones de la misma. Una vez importado el fichero DXF que contiene la cartografía indicada, se emplea esta opción para generar la superficie.

Una vez creada la superficie, se realizan diferentes modificaciones para ajustarla y darle una forma natural y acorde con el diseño realizado.



Superficie inicial

5.2. Pista

En el modelo digital del terreno no aparecen las líneas del trazado de la pista, pero sí queda representada su superficie. A partir de aquí debe generarse el trazado de la pista en 3D y acoplarlo a la superficie.

Al finalizar esta fase del diseño ya se empieza a observar la forma que tendrá el circuito de un modo aproximado.



Superficie inicial con pista

5.3. Zonas de seguridad

El modelizado de las zonas de seguridad es posterior al de la pista, por depender de ésta para su ajuste final. Se parte del diseño en planta realizado para ubicar las diferentes zonas que se pueden encontrar a lo largo del circuito, modelizándolas independientemente unas de otras por presentar materiales distintos. Por orden de modelización se realiza: muros de protección, zonas de grama, zonas de hormigón, barreras de protección y verjas.



Imagen zonas seguridad

5.4. Pianos

Los siguientes elementos a modelizar son los planos, los cuales se diseñan en función de las especificaciones indicadas y se insertan a lo largo de todo el circuito. Deben insertarse cuando las zonas de seguridad ya estén definidas, al situarse entre éstas y los límites de la pista.



Pianos en curva



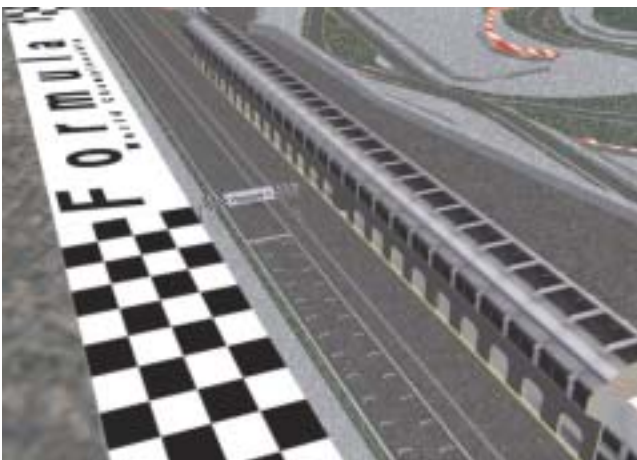
“Paddock”

5.5. Instalaciones

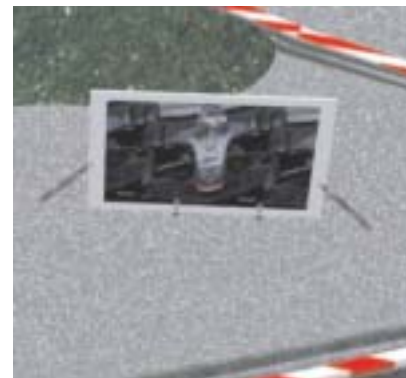
Las instalaciones propias del circuito se diseñan y ubican en función del plano en planta realizado. El modelizado de estas zonas se ha realizado en el siguiente orden: edificaciones principales, gradas e instalaciones para el público, aparcamientos y helipuertos.



Helipuertos



Edificio “Boxes”



Pantalla “gigante”



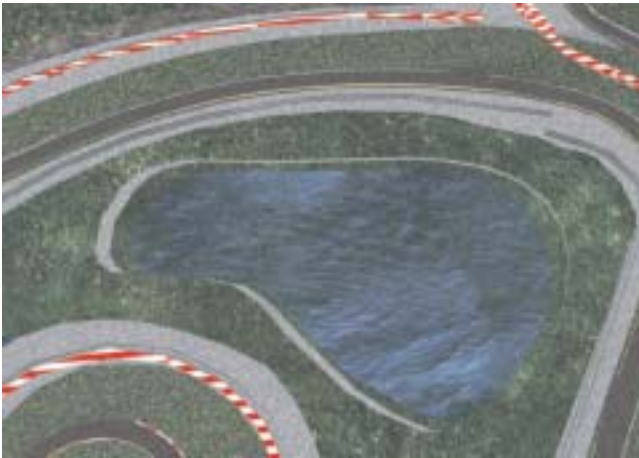
Grada principal



Instalaciones emergencias

5.6. Lago

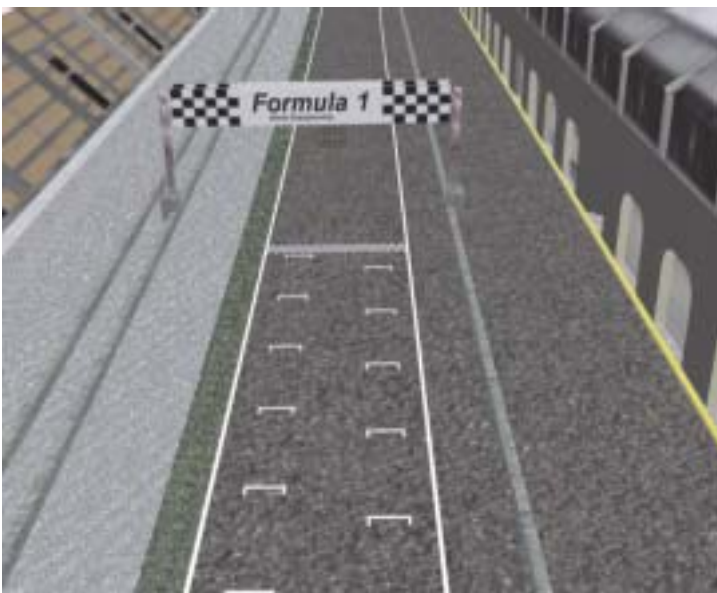
Aunque forma parte de las instalaciones propias del circuito, su modelización requiere procesos distintos, por ello no se ha incluido en el apartado anterior:



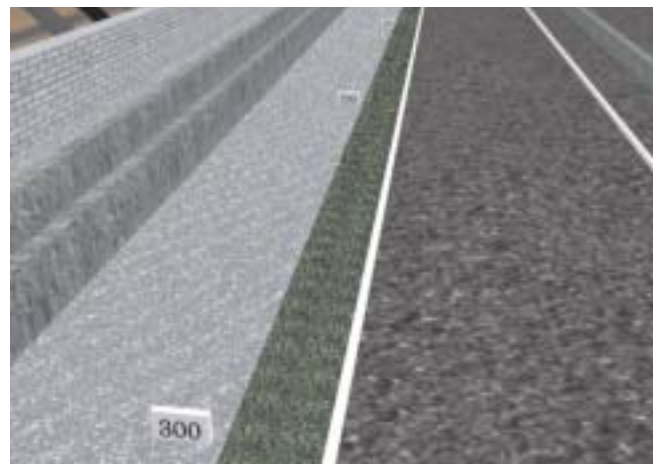
Lago

5.7. Marcas viales y señalización

El modelizado de las marcas viales de la pista y de la señalización se ha realizado para dotar al circuito de un mayor realismo. Las marcas viales se han situado a lo largo del recorrido de la pista, tal y como se había indicado, al igual que las señales de aproximación a curva de 300, 200 y 100 metros. La situación del semáforo de salida se ha situado sobre una estructura sobre la misma línea de meta, presentando un diseño aproximado al habitual en los circuitos de competición.



Parrilla de salida



Marcas aproximación

5.8. Elementos de relleno

Para lograr un mayor realismo se han introducido diversos elementos en el modelizado del circuito, tales como vehículos de F1, personas, helicópteros, etc. De este modo, la representación final del circuito presenta un mayor realismo, logrando el propósito establecido.



Vehículo competición



Helicóptero

5.9. Vegetación arbórea

La generación de los árboles es un proceso costoso que consume un elevado número de recursos del procesador; por ello, es lo último en hacerse, permitiendo disponer de más capacidad a la hora de diseñar los diferentes elementos.



Árbol

6. CONCLUSIONES

No es habitual encontrar trabajos como el presente porque la demanda de estas obras es muy escasa, lo que le confiere un cierto interés añadido. El diseño frecuente de carreteras, ferrocarriles e incluso conducciones, proporciona una base consistente a la hora de organizar y crear la metodología de trabajo y provoca que todo el software desarrollado en el ámbito del diseño geométrico de obras lineales esté muy estandarizado, si bien conlleva una serie de dificultades a la hora de realizar los proyectos menos habituales, como son el empleo de normativas específicas desarrolladas por diversas entidades y de diferentes características, tramos diseñados que no parten de una cartografía previa, que obliga a emplear software concreto de edición cartográfica y la continuidad del

trazado, que no presenta un comienzo y final definidos, como es común en las obras de diseño geométrico de viales.

Para la completa realización del proyecto ha sido necesario el empleo de diversos tipos de software desarrollados por diferentes empresas. Cuando se emplean programas pertenecientes a una misma empresa los archivos presentan compatibilidad entre ellos, sin embargo, cuando los programas son de diferentes empresas se presentan problemas de compatibilidad y es necesario, en algunos casos, emplear software adicional.

El software de diseño geométrico desarrollado permite realizar una edición de la cartografía original que puede ayudar a subsanar algún error concreto de ésta, sin embargo, si el personal no está cualificado en cartografía puede provocar consecuencias negativas. Para la edición y generación de cartografía se ha empleado software diseñado para este tipo de trabajos.

El software empleado para el diseño, maquetación y visualización es relativamente innovador y requiere una gran capacidad de procesamiento de datos.

El trabajo realizado ha sido muy amplio, enlazando líneas de trabajo diferentes. Se ha conseguido realizar un diseño geométrico preciso además de una visualización virtual acorde con los requisitos del mercado actual.

Una particularidad del proyecto es la ausencia de una cartografía base sobre el que ubicarlo; es más, la cartografía se ha generado a partir del diseño final de los ejes del circuito, de este modo el terreno se funde con el trazado de la pista, permitiendo una concordancia perfecta. Posteriormente, se ha realizado el emplazamiento de las instalaciones básicas del circuito en función de sus requerimientos.

Finalmente, e intentando estar acorde con las necesidades actuales, se ha realizado un modelo tridimensional que permite visualizar con un cierto grado de realismo todo el proyecto. Para ello se ha incluido un video en el que se muestra un recorrido virtual por los principales elementos proyectados. ■



Modelizado final tras la aplicación de luces y materiales

Modelos Digitales de Elevaciones con datos ASTER. Revisión de métodos y análisis de errores (I)

Alonso Sánchez Ríos

ING. T. EN TOPOGRAFÍA / ING. EN GEODESIA Y CARTOGRAFÍA

DPTO. DE EXPRESIÓN GRÁFICA, ÁREA DE ING. CARTOGRÁFICA, GEODÉSICA Y FOTOGRAMETRÍA (UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA)

I. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

I.1. Introducción

La captura de datos desde satélites espaciales tiene su origen a finales de los años 50, con el lanzamiento en 1957 del satélite soviético Sputnik, que dio inicio a la denominada "carrera espacial". Tres años después, la NASA¹ (*National Aeronautics and Space Administration*) lanzó el primer satélite de la serie TIROS (pionero en misiones de observación meteorológica).

A ésta, le siguieron las misiones Mercury (1961), Géminis-Titán (1965) y los vuelos de los Apollo-6, 7 y 9 (1969), hasta que en 1972 la NASA lanzó el primer satélite de la serie ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), iniciando así la serie Landsat, dedicada exclusivamente a la observación de los recursos terrestres (cartografía temática, estudios de la cubierta del suelo, exploración minera, contenido de humedad en plantas y suelo, etc.). A la serie Landsat siguieron, por parte de la NASA, otros proyectos específicamente diseñados para la observación medioambiental, como el Skylab (1973), el satélite oceanográfico Seasat (1978) y el de investigación térmica HCMM (1978).

Además, otros países se interesaron por el lanzamiento de sus propios satélites al espacio; entre ellos destacamos el satélite francés SPOT (1986), el japonés MOS-1 (1987), el indio IRS-1 (1988), los rusos Soyuz y Salut.

El panorama, por tanto, es de un imparable crecimiento en el número de misiones: ya han lanzado satélites la Agencia Espacial Europea, la canadiense, la brasileña, la china e incluso consorcios de capital privado.

Si los propósitos principales de estas misiones eran los estudios climáticos, meteorológicos, de cobertura terrestre, etc., el lanzamiento de los satélites del proyecto SPOT (*Système Pour l' Observation de la Terre*), desarrollado por el CNES francés, supone una novedad muy interesante desde el punto de vista cartográfico: la incorporación de dos sensores, denominados HRV (*Haute Resolution Visible*), que permiten obtener imágenes en las modalidades de pancromático y multibandas (verde, rojo e infrarrojo cercano), con una resolución espacial de 10 y 20 m, respectivamente. Además, el HRV tiene capacidad para variar su campo de visión (hasta 27 grados a ambos lados del nadir), lo que le permite observar la misma zona en órbitas sucesivas y, por tanto, puede adquirir imágenes estereoscópicas. Esta capacidad permite construir Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), lo que hasta entonces sólo era posible empleando técnicas fotogramétricas cuyos datos de partida eran la fotografía aérea vertical.

Si tenemos en cuenta que el MDE constituye el elemento básico para una gran parte de los trabajos de carácter territorial, sobre todo con el empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la posibilidad que nos plantea el empleo de imágenes estereoscópicas procedentes de satélites artificiales resulta muy ventajosa, a lo que además hay que añadir la componente temática.

Con el propósito de estudiar la Tierra como un sistema global y los efectos que sobre el medioambiente tienen las actividades humanas, nació el proyecto de la NASA EOS² (*Earth Observing System*).

Dentro de este proyecto, el primer satélite fue lanzado en 1999 y se designó como TERRA, a bordo del cual se encuentra el sensor ASTER

¹ <http://www.nasa.gov/home/index.html>

² <http://eospsso.gsfc.nasa.gov/>

(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), con tres subsistemas: VNIR, SWIR y TIR, de los cuales el VNIR (*Visible and Near Infrared*), con 15 m de resolución espacial, dispone de un sensor de vista cenital y otro de vista oblicua (30,9°) que permiten registrar tomas estereoscópicas y, por tanto, con capacidad de construir MDE partiendo de ellas.

1.2. Objetivos

Las características instrumentales de ASTER permiten en teoría la construcción de un MDE con sus datos, siguiendo los principios clásicos de la fotogrametría, pero se nos plantean una serie de cuestiones, como las siguientes:

- Para poder utilizar las aplicaciones informáticas de las EFD, son necesarios ciertos parámetros (datos de efemérides, modelo de sensor, etc.) ¿Proporcionan los productos ASTER estos datos? En caso negativo ¿Cómo se soluciona este problema?
- De todos los datos y productos que se pueden adquirir ¿Cuáles son los necesarios para la construcción de un MDE?
- ¿En qué formato se encuentran los datos? ¿Qué información nos proporcionan?
- ¿Cuáles son las aplicaciones informáticas que soportan estos datos?
- ¿Cómo debemos planificar la construcción del MDE? ¿Cuáles son las fases a seguir?
- Si conseguimos construir un MDE con datos ASTER ¿Cuál es la calidad del mismo?

La respuesta a este tipo de cuestiones está clara para otros sensores, como el SPOT-HRV, pero la novedad del TERRA-ASTER y su carácter no comercial han motivado que la información esté dispersa, cuando existe, y que los trabajos de explotación de los datos estereoscópicos sean aún claramente experimentales. Por este motivo, este artículo se ha planteado como una recopilación, ordenación y puesta a punto de las cuestiones, explicaciones y variables influyentes en el uso de los datos ASTER a efectos de la construcción de MDE.

Con este carácter general de compilación, se han planteado los siguientes objetivos:

1. Revisar las características técnicas de ASTER, incluyendo el estudio de su configuración estereoscópica y su funcionamiento (apartado 3).
2. Describir los productos ASTER necesarios para la construcción de un MDE, así como explicar el formato de datos en que se distribuyen (archivos HDF y MET) (apartado 4).
3. Revisar y plantear los modelos matemáticos más empleados en el tratamiento de las imágenes de satélite, con especial énfasis en los aplicables al caso ASTER (apartado 5).

4. Revisar los antecedentes en la construcción de MDE con datos ASTER y exponer una experiencia propia (fases a seguir, datos de partida, resultados, etc.) (apartado 6).

2. EL PROYECTO EOS

El proyecto EOS (*Earth Observing System*), iniciado en 1991, es un programa de la NASA cuyo objetivo general es el lanzamiento de varias naves espaciales que proporcionen la información necesaria para estudiar los cambios climáticos globales. Para ello, se concibe la Tierra como un sistema a escala global y se analiza cada uno de los componentes que intervienen en él y la interacción entre ellos. Para lograrlo, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

1. Creación e integración de sistemas de observación científica que hicieran posible la multidisciplinariedad de los estudios que se realicen.
2. Desarrollo de un sistema de información de datos integrado.
3. Atender las necesidades de los científicos dedicados a estudios multidisciplinarios a nivel planetario.
4. Implantación y gestión de una base de datos global que garantice los datos registrados por los sensores enviados al espacio durante una década o más.

Los tres satélites espaciales de EOS cuyos sensores soportan la mayor parte de las investigaciones y estudios son TERRA (1999), EOS PM (2000) y EOS Chemistry (2002), cada uno de ellos con al menos 6 años de permanencia prevista en el espacio desde su lanzamiento.

Casi todas las misiones de EOS incluyen contribuciones internacionales, por ejemplo: en TERRA hay un sensor canadiense, MOPITT (*Measurements of Pollution in the Troposphere*) y otro japonés, ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*); la misión EOS PM incorporó el sensor japonés AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*) y el brasileño HSB (*Humidity sounder for Brazil*).

Complementando el proyecto EOS, se ha diseñado el programa New Millennium, cuyo objetivo es identificar, desarrollar y validar instrumentación y tecnologías espaciales que hagan posible la vigencia de los objetivos científicos de EOS en el siglo XXI.

De entre los satélites espaciales del proyecto EOS, el que tiene más interés para los objetivos que nos proponemos en este artículo es TERRA, formalmente llamado EOS AM-1, que fue puesto en órbita el 18 de diciembre de 1999 y que lleva incorporados 5 instrumentos con el fin de "observar y medir como interaccionan la atmósfera, criosfera, tierra, océanos y seres vivos"³:

³ "The five sensors aboard Terra are comprehensively measuring our world's climate system to observe and measure how Earth's atmosphere, cryosphere, lands, oceans, and life all interact" (<http://terra.nasa.gov/>)

- ASTER: *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*
- CERES: *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*
- MISR: *Multi-angle Imaging Spectroradiometer*
- MODIS: *Moderate Resolution Spectroradiometer*
- MOPITT: *Measurements of Pollution in the Tropo-sphere*

La nave TERRA tiene una órbita circular, casi polar y heliosincrónica a una altitud de 705 km, con un ciclo orbital que se repite cada 16 días. En la tabla 1 se muestran las principales características de su órbita.

Órbita	Heliosincrónica descendente
Semieje mayor (media)	7078 km
Excentricidad	0,0012
Tiempo	10:30 ±15 min. am
Rango de elevación	700-737 km (705 en el Ecuador)
Inclinación	98,2° ± 0,15°
Ciclo de repetición	16 días (233 revoluciones/16 días)
Distance between adjacent orbits	172 km
Período orbital	98,9 min
Conocimiento de la posición	±150 m ³ ejes, 3 s
Exactitud de la repetición	±20 km, 3 s

Tabla 1. Parámetros orbitales de TERRA.
(*ASTER User's Guide , Part 1, 2001*)

El instrumento objeto del presente trabajo es ASTER que, como veremos, es un espectroradiómetro que proporciona imágenes en 14 bandas espectrales, desde el espectro visible hasta el infrarrojo térmico.

3. ASTER

3.1. Origen y organización del proyecto

En 1992 el Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI) de Japón lanzó el satélite JERS-1 (*Japanese Earth Resource Satellite*) con el objetivo general de investigar los recursos terrestres. Los usuarios de JERS-1 solicitaron el desarrollo de un sensor más avanzado con el fin de obtener datos geológicos detallados para estudiar algunos fenómenos, como la actividad volcánica, de gran importancia en Japón. En respuesta a esta demanda, MITI desarrolló el instrumento ASTER que fue integrado en la plataforma del Proyecto EOS, TERRA. En consecuencia, ASTER es un proyecto de colaboración entre la NASA y el MITI cuya duración prevista es de 6 años.

Dentro del proyecto, Japón tiene la responsabilidad del desarrollo del sensor, planificación de las observaciones y procesado de datos brutos para generar datos en formato estándar. Estados Unidos tiene la responsabilidad de proporcionar la plataforma, un vehículo de lanzamiento,

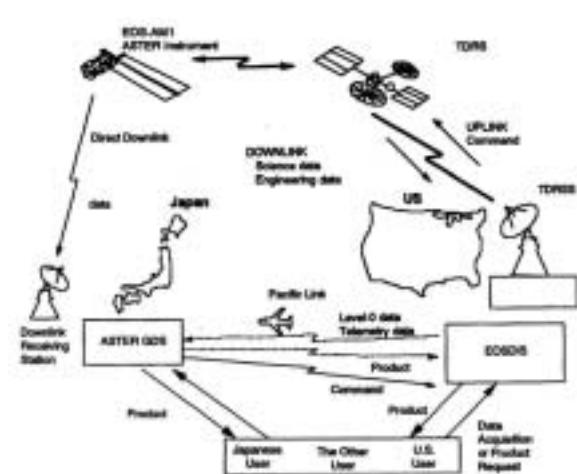


Figura 1. Arquitectura de la misión ASTER
(de Yamaguchi *et al.*, 1999)

el servicio de lanzamiento, las órdenes de conexión y desconexión y los datos de telemetría. En la figura 1 se muestra la arquitectura de la misión ASTER y las principales relaciones entre Japón y EEUU (Yamaguchi, Y., *et al.*, 1999), donde intervienen los siguientes elementos:

- TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*) (Sistema de Transmisión de datos y rastreo por satélite).
- ASTER GDS (*ASTER Ground Data System*).
- EOSDIS (*EOS Data and Information System*).

3.2. Objetivos científicos

El propósito del proyecto ASTER es contribuir al estudio de fenómenos locales y regionales en la superficie de la Tierra y de su atmósfera. Los objetivos planteados en la misión son los siguientes:

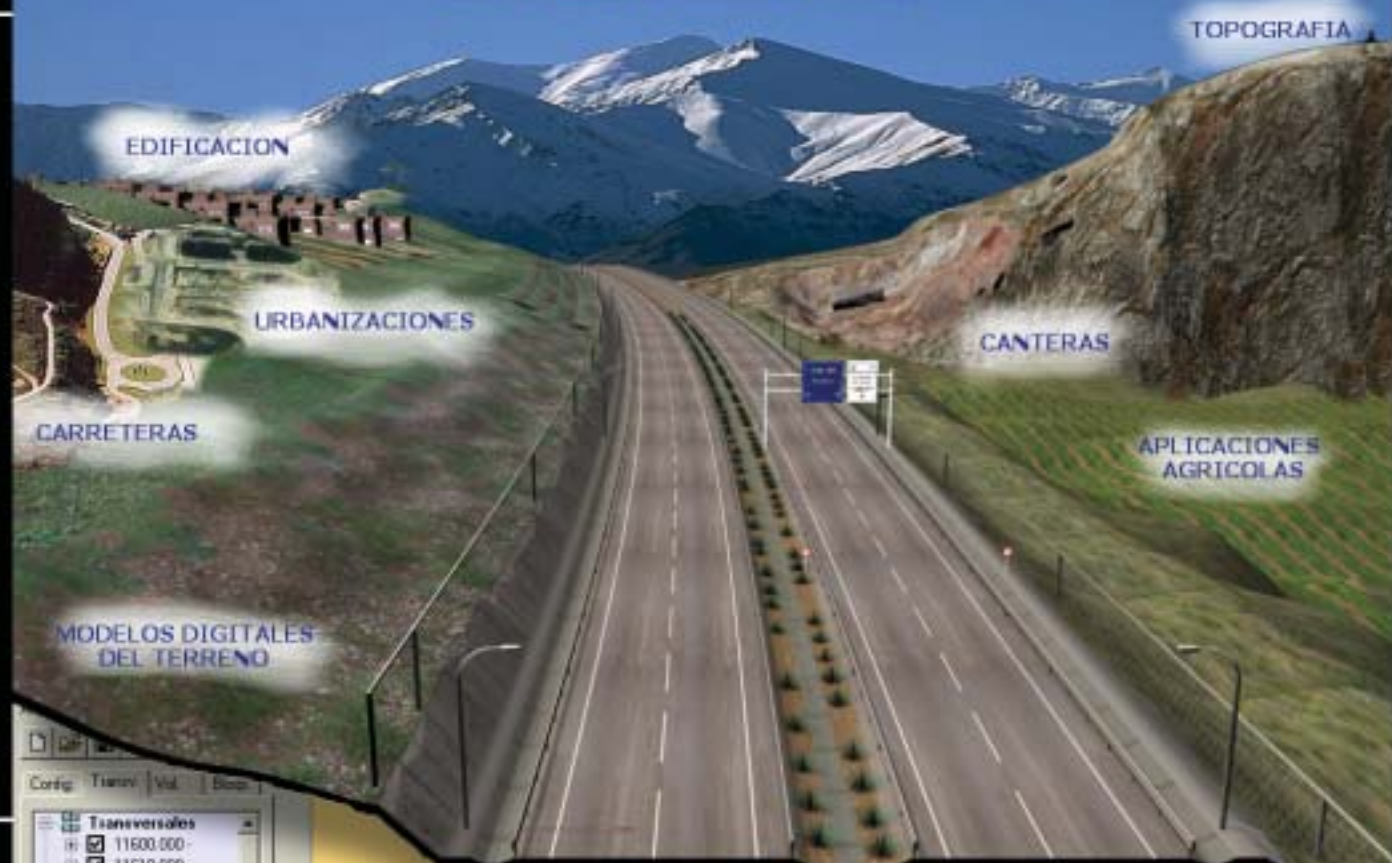
- Investigación de fenómenos geológicos, movimientos tectónicos e historia geológica a partir de mapas topográficos y geológicos detallados.
- Estudio de la distribución y cambios en la vegetación.
- Estudio de la interacción entre la superficie de la Tierra y la atmósfera a partir de la medida de la temperatura de la superficie terrestre.
- Evaluación del impacto de las emisiones gaseosas de los volcanes.
- Estudio del impacto de los aerosoles en la atmósfera y clasificación de las nubes.
- Investigaciones sobre la contribución de los arrecifes de coral en el ciclo del carbono y clasificación y localización de los corales.

3.3. Características generales de los datos ASTER

Aunque será comentado con detalle posteriormente, avanzaremos que el espectrorradiómetro ASTER tiene las siguientes características generales:

PROTOPO 6.0

DINAMISMO EN AUTOCAD



Config Transv. Vial Bases

Transversales

- 11600.000
- 11610.000
- 11620.000
- 11630.000
- 11640.000
- 11650.000
- 11660.000
- 11670.000
- 11680.000
- 11690.000
- 11700.000
- 11710.000
- 11720.000
- 11730.000
- 11740.000
- 11750.000
- 11760.000
- 11770.000
 - PROYECTO
 - TERRENO
 - VEGETAL
 - BASE
 - SUB BASE
 - EXPLANACION
 - FIRME
 - Bemas
 - Mobiliario
 - Adornos
- 11780.000
- 11790.000
- 11800.000
- 11810.000
- 11820.000
- 11830.000
- 11840.000
- 11850.000
- 11860.000
- 11870.000
- 11880.000



Software Técnico de Cálculo Topográfico y Trazado Lineal de Carreteras

Vértices | Transversales

UVI.207	Dist.	Cota	Perim.	C.Paja	Viz	Código	Capa
1	22.563	619.070	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
2	38.833	619.070	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
3	54.933	619.770	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL
4	71.833	619.070	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Talud de desmenu	PROYECTO
5	88.700	618.917	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL
6	105.703	618.217	4.773500		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
7	122.703	618.917	0.000000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL

**DISPONIBLE PARA
AUTOCAD
2007**

- Resolución espacial entre los 15 y los 60 m, en función de la banda radiométrica.
- 14 bandas, que se distribuyen en un rango espectral que va desde el espectro visible hasta el infrarrojo térmico.
- Toma de una vista oblicua en el infrarrojo próximo simultánea a las tomas cenitales; esta vista permite que las escenas ASTER sean intrínsecamente estereoscópicas.

Los datos ASTER se distribuyen como *escenas*, estructura de datos que contiene el total de las 14 bandas espectrales. Estos datos pueden tener varios niveles de procesamiento que, de forma general, son los siguientes:

Nivel 0: Datos completos sin procesar pero con los artefactos derivados de la transmisión eliminados.

Nivel 1: Como el Nivel 0 más los metadatos de las referencias temporales y espaciales y los coeficientes de calibración radiométrica y geométrica.

Nivel 2: Variables geofísicas derivadas de los datos de nivel 1 con la misma resolución y localización.

Nivel 3: Variables representadas en una estructura matricial regular, normalmente cumpliendo condiciones de consistencia e integridad.

Nivel 4: Modelos generados a partir del análisis de los datos de niveles inferiores.

De estos niveles, el de mayor interés para los trabajos que se desarrollan en este artículo es el Nivel 1.

3.4. Características del instrumento ASTER

La tabla 2 muestra las características principales de ASTER de acuerdo con los objetivos científicos de la misión (Y. Yamaguchi, *et al*, 1993; Fujisada, 1994,95), entre las cuales se pueden apreciar algunas mejoras sobre los sensores ópticos más utilizados, como Landsat-TM, SPOT-HRV y JERS-OPS. Entre éstas destacan las siguientes:

- Incremento en la relación base/altura de las imágenes estereoscópicas desde 0,3 a 0,6 para mejorar los registros de elevación de la superficie terrestre.
- Aumento del número de bandas en la región SWIR (infrarrojo medio, *Short Wave Infrared Radiometer*) de 4 a 6, para aumentar la capacidad de realizar estudios litológicos de la superficie terrestre.
- Incorporación de 5 bandas espectrales en la región TIR (infrarrojo térmico, *Thermal Infrared Radiometer*) para estudiar la temperatura de la superficie terrestre.
- Mejoras en las resoluciones radiométricas y en las precisiones para estudios de detalle.

Como ya se ha mencionado, el sensor ASTER tiene tres subsistemas ópticos diferentes:

- VNIR (*Visible and Near-Infrared Radiometer*)
- SWIR (*Short Wave Infrared Radiometer*)
- TIR (*Thermal Infrared Radiometer*)

El VNIR, con 15 m de resolución espacial, se usa principalmente para interpretación topográfica, debido a su cobertura estereoscópica en el sentido de la trayectoria de la nave (*along-track*), y para estudios de vegetación.

El SWIR, con 30 m de resolución espacial, se usa principalmente para el cartografiado de suelos.

Finalmente, el TIR, con 60 m de resolución espacial, se utiliza para estudiar las variaciones de la emisividad de la superficie terrestre y, por tanto, para la determinación de la temperatura y sus características térmicas.

En la tabla 3 se presentan las características funcionales de los subsistemas ASTER. Cada subsistema óptico emplea un telescopio diferente (ver figura 2) que cumplen las condiciones técnicas para captar las diferentes longitudes de onda de cada región espectral.

ASTER baseline performance requirements						
Subsistema	Banda	Rango Espectral (µm)	Resolución radiométrica	Precisión absoluta (s)	Resolución 4	Niveles de la señal
VNIR	1	0,52-0,60				
	2	0,63-0,69	NEΔr ≤ 0,5%	≤ ± 4%	15 m	8 bits
	3N	0,78-0,86				
	3B	0,78-0,86	NEΔr ≤ 0,5%			
	4	1,600-1,700				
5	2,145-2,185	NEΔr ≤ 0,5%				
SWIR	6	2,185-2,225	NEΔr ≤ 1,3%	≤ ± 4%	30 m	8 bits
	7	2,185-2,225	NEΔr ≤ 1,3%			
	8	2,235-2,285	NEΔr ≤ 1,0%			
	9		NEΔr ≤ 1,3%			
	10	2,295-2,365				
		2,360-2,430 8,125-8,475				
TIR	11	8,475-8,825		≤3K(200-240K)	90 m	12 bits
	12		NEΔr ≤ 0,3%			
	13	8,925-9,275		≤2K(240-270K)		
	14	10,25-10,95		≤1K(270-340K)		
		10,95-11,65		≤2K(340-370K)		
Stereo Base-to-Height Ratio				0,6 (along-track)		
Swath Width				60 km		
Total Coverage in Cross-Track Direction				232 km		
Mission life				5 years		
MTF at Nyquist Frequency				0,25 (cross-track)		
Band-to-band registration				0,20 (along-track)		
Peak data rate				89,2 Mbps		
Mass				406 kg		
Peak power				726 W		

Tabla 2. Características de ASTER. (ASTER User's Guide , Part 1, 2001)

Item	VNIR	SWIR	TIR
Scan	Pushbroom	Pushbroom	Whiskbroom
Telescope optics	Reflective (Schmidt) D=82,25 mm (Nadir) D=94,28 mm (Backward)	Refractive D= 190 mm	Reflective (Newtonian) D= 240 mm
Spectrum separation	Dichroic and Band pass filter	Band pass filter	Band pass filter
Focal plane (Detector)	Si-CCD 5000 x 4	PtSi-CCD 2048 x 6	HgCdTe (PC) 10 x 5
Cryocooler (Temperature)	Not cooled	Stirling cycle, 77 K	Stirling cycle, 80 K
Cross-track pointing Inicio/final de rastreo	Telescope rotation ±24°	Pointing mirror rotation ±8,55°	Scan mirror rotation ±8,55°
Thermal control	Radiator	Cold plate and Radiator	Cold plate and Radiator
Calibration method	2 sets of Halogen lamps monitor diodes	2 sets of Halogen lamps monitor diodes	Blackbody 270-340 K

Tabla 3. Características técnicas de los subsistemas de ASTER (ASTER User's Guide, Part 1, 2001)

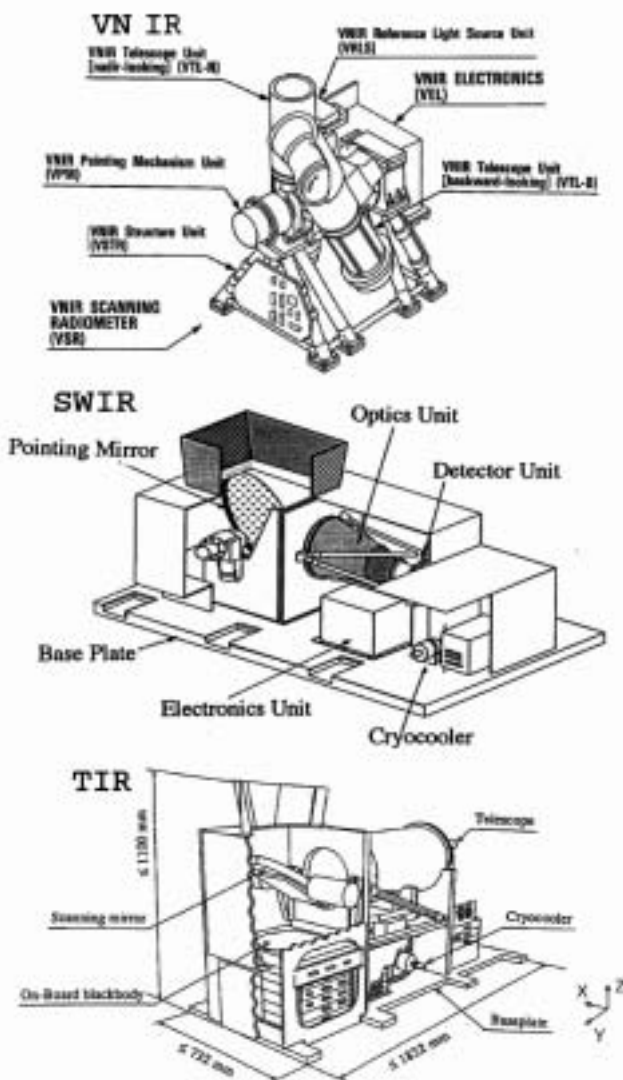


Figura 2. Esquema de la configuración de los subsistemas de ASTER (ASTER User's Guide, Part 1, 2001)

3.5. Configuración estereoscópica

El VNIR tiene dos telescopios; el primero apunta verticalmente a la superficie terrestre (el eje coincide por tanto con el nadir) mientras que el segundo está apuntando hacia atrás en una toma oblicua (*backward looking telescope*). En su conjunto, los dos telescopios registran imágenes estereoscópicas en la dirección de la órbita (*along-track*) con una relación base/altura de 0,6.

Con el fin de obtener y controlar el grado de cobertura lateral (*cross-track*), existe la posibilidad de modificar el centro del escáner mediante la llamada *pointing function*. Como el ancho del registro es de 60 km y la distancia entre órbitas vecinas es de 172 km, los ejes ópticos de los telescopios de los subsistemas VNIR y SWIR han sido diseñados para ser inclinados en dirección perpendicular a la de la órbita y cubrir una amplia zona en esta dirección. En el caso del telescopio del subsistema TIR, el espejo de escaneado tiene, además de la función de barrido, otra de balanceo.

En la figura 3 se muestra la configuración del sistema para proporcionar imágenes estereoscópicas con las tomas vertical y oblicua. Como es sabido, la relación entre la base (B), la altura (H) y el ángulo α es:

$$B/H = \text{tg } \alpha$$

donde α es el ángulo entre la toma vertical (*nadir telescope*) y la oblicua (*backward telescope*), con los que se observan la superficie de la Tierra.

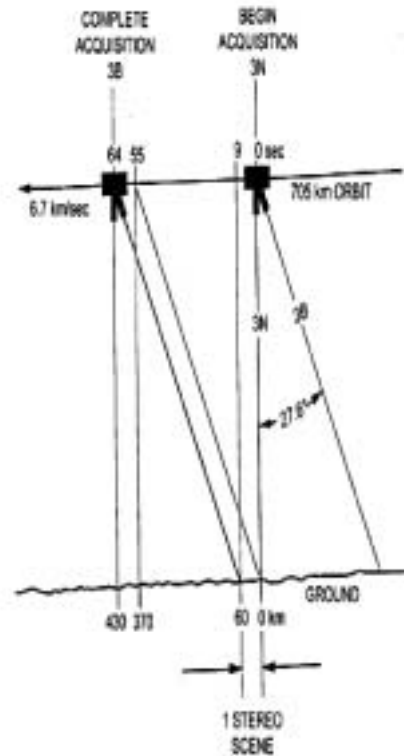


Figura 3. Configuración geométrica del sistema y tiempos empleados en la adquisición de datos por ASTER para la obtención de imágenes estéreo en la dirección de la órbita (Lang, H. R., Welch, R., 1999)

El ángulo α que corresponde a una relación $B/H = 0,6$ es de $30,96^\circ$. Si consideramos la curvatura de la Tierra, el ángulo α sería de $27,60^\circ$.

Las características de la toma estereoscópica hacen que las imágenes obtenidas cumplan la condición de epipolaridad con cierta aproximación (casi-epipolares), lo cual facilita el posterior proceso fotogramétrico.

3.6. El sistema de referencia mundial de ASTER (WRS)

El *World Reference System* (WRS) se usa para definir la posición de una escena en la superficie de la Tierra con una combinación de número de trayectoria y número de columna. Las características principales del ASTER WRS son las siguientes:

1. Las posiciones de trayectoria y columna están definidas por la denominación de la órbita.
2. La distancia entre centros de escenas adyacentes es menor de 60 km.
3. El ángulo de inclinación de las órbitas es de $98,2^\circ$.
4. La posición del centro de cada escena está definida de forma que el ángulo desde el centro de la Tierra de cada escena sea constante. Esto significa que el tiempo que se emplea en registrar cada escena es constante.
5. Las posiciones más al Norte y más al Sur son $81,8^\circ$ N y $81,8^\circ$ S respectivamente.
6. Cada punto de cruce de la órbita con el Ecuador corresponde al punto central de una escena.
7. El número de columna comienza con la primera escena de la trayectoria descendente de la nave y termina con la última escena de la trayectoria ascendente de la nave.
8. El número de trayectoria aumenta desde el Este hacia el Oeste, comenzando en los $64,6^\circ$ Oeste, que corresponde con la primera trayectoria que cruza América del Norte.

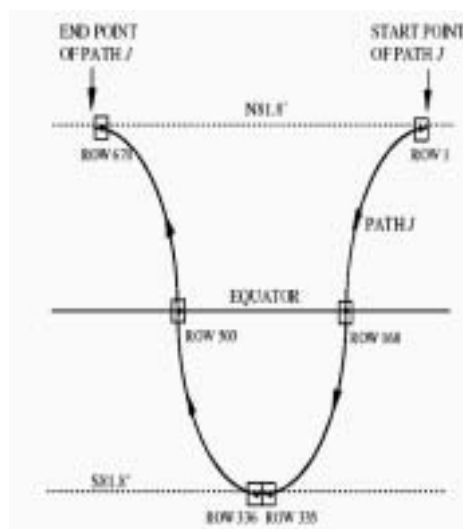


Figura 4. Números de columna de algunos puntos característicos (ASTER User's Guide, Part 1, 2001)

En la figura 4, se muestran los números de columna de algunos puntos característicos.

3.7. Calendario de la trayectoria

TERRA tiene la misma órbita que el Landsat-7 con una diferencia de 30 minutos en tiempo local. TERRA repite un ciclo cada 16 días, por tanto, hay 16 clases de trayectorias (una para cada día) para observaciones diurnas y nocturnas. Como ejemplo, en la tabla 4 se muestra el calendario para los meses de enero y febrero de 2003, donde vemos que la trayectoria 8 (P8) tiene lugar el día 1 de enero y vuelve a repetirse el día 17 del mismo mes, (dieciséis días más tarde), el día 2 de febrero (16 días después del anterior) y el 18 de febrero (16 días después del 2 de febrero).

Path Calendar in 2003

January

Upper: Date
Lower: One day path pattern

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P11	P2	P3	P4	P5	P6	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P1	P2	P3	P4	P5	P6

February

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P1	P2	P3	P4	P5	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P1	P2			

Tabla 4. Calendario previsto para los meses de enero y febrero de 2003. Adaptado de ASTER User's Guide, Part 1, (2001).

3.8. Funcionamiento del instrumento ASTER

Modos de observación

Los tres subsistemas ASTER pueden operar independientemente, combinando posiciones y ángulos de incidencia. Se han definido algunos modos de observación estándar (tabla 5).

	MODOS DE OPERACION	SUBSISTEMA			TASA DE DATOS
		VNIR	SWIR	TIR	
DAYTIME	Full	X	X	X	89,2 Mbps
	VNIR	X			62,038 Mbps
	Stereo	X			31,019 Mbps
	TIR			X	4,109 Mbps
NIGHT-TIME	TIR			X	4,109 Mbps
	Volcano		X	X	27,162 Mbps

Tabla 5. Modos de observación con ASTER (Yamaguchi et al., 1999)

En el llamado *daytime mode*, se registran datos de los tres subsistemas de forma simultánea en la misma matriz de 60 km de lado. En el llamado *nighttime mode* sólo se observa con el subsistema TIR.

El *Daytime VNIR Mode* se usa para áreas donde es necesario un registro de datos VNIR con alta resolución, pero no se necesitan datos espectrales de las bandas SWIR ni TIR.

En el *Daytime Stereo Mode* sólo se registran datos de las bandas 3N (*Nadir*) y 3B (*Backward*) del VNIR, y se emplea principalmente para obtener imágenes estereoscópicas. Este es el modo de observación necesario para la formación de un MDE con datos ASTER.

Si se necesita una observación con un ángulo de incidencia mayor de 8,55 grados, se pueden usar los modos de observación *Daytime VNIR Mode* o *Daytime Stereo Mode*, con posibilidad de balanceo del telescopio de ± 24 grados en dirección *cross-track*.

El *TIR Mode* puede utilizarse también en modo *daytime*. El océano abierto normalmente será observado en *TIR Mode*, ya que la mayor parte de la superficie de los océanos no interesa que sea observada en las bandas VNIR o SWIR. Estos tres modos son complementarios con el *Daytime Full Mode*, y se pueden utilizar solamente cuando no se puede usar el *Full Mode*, por ejemplo, en seguimientos periódicos de los límites de los glaciares antárticos, que necesita de datos *Daytime Stereo Mode*.

El hemisferio terrestre que se encuentra de noche normalmente se observa en *TIR Mode*, sin embargo, es posible utilizar también las bandas del SWIR por la noche, por ejemplo, cuando la temperatura de la zona a observar es más alta que la radiancia máxima que se puede registrar en las bandas TIR (incendios, ríos de lava, volcanes en actividad).

Las bandas del SWIR pueden medir por la noche temperaturas superficiales mayores de 650 K con 30 m de resolución. Además, podemos

acortar el tiempo de observación necesario para observar zonas calientes combinando el *Daytime Full Mode* y el *Nighttime Volcano Mode*.

Registro de los datos ASTER

Los tipos de datos ASTER son:

- Datos de ingeniería necesarios para el seguimiento y mantenimiento de la nave espacial y de los sistemas en ella incorporados.
- Datos de calibración, que se obtienen como parte de los datos de calibración del sensor en la nave.
- Datos científicos, que son registrados para cubrir los objetivos científicos de la misión.

Además, con el objeto de optimizar los recursos de observación de ASTER, se han definido tres categorías de registros de datos. Estas categorías se definen según el tamaño que ocupan los datos y los objetivos científicos de éstos. Estas categorías son las siguientes:

Global Mapping: Estos datos incluyen imágenes de toda la superficie terrestre tomadas con todas las bandas espectrales de ASTER y también en modo estereoscópico.

Regional Monitoring: Contiene los datos necesarios para el análisis de grandes regiones o para análisis regionales multitemporales. Algunos de estos datos regionales pueden necesitar solamente la imagen de una región en un determinado instante.

Local Observations: Las observaciones locales pueden ser realizadas como respuesta del DARs (*Data Acquisition Requests*) a investigadores individuales o equipos de investigación.

Las observaciones locales podrían incluir, por ejemplo, escenas para analizar los usos del suelo, realizar estudios de balance energético de la superficie terrestre o investigaciones de tipo geológico.

Una subclase de observaciones locales son las imágenes de fenómenos efímeros, como los volcanes, las inundaciones o los incendios. Las peticiones para estas "observaciones urgentes" deben ser realizadas en un corto espacio de tiempo y reciben un tratamiento especial.

Planificación y priorización

El proceso de priorización consiste en catalogar las posibles observaciones, dando más importancia a aquellas que tengan mayor valor científico. En la planificación se tiene en cuenta la función de priorización para calcular la prioridad de cada observación potencial. Los factores de peso de esta función son determinados por el equipo científico de ASTER y pueden ser modificados durante la misión. La función de priorización usa como datos de entrada la información de los datos ASTER solicitados, el tiempo de observación necesario, así como información de tipo instrumental.

En la planificación se pueden seleccionar varias configuraciones instrumentales; cada una de ellas es una combinación de un modo de obser-

vacación, posición del telescopio y ángulo de incidencia en dirección “cross-track”. Para cada intervalo de tiempo de 1 a 4,5 segundos, se calcula la prioridad de las observaciones en cada configuración instrumental. Una secuencia temporal de prioridades para una configuración instrumental se denomina “curva de prioridad”. Después de calcular todas las curvas de prioridad, se busca entre todas ellas aquella configuración instrumental que tiene prioridad máxima para cualquier intervalo de tiempo, en un día completo. El instrumento se programa para observar en esa configuración instrumental durante un intervalo de tiempo determinado.

Después, se busca la siguiente configuración instrumental, en orden de prioridad, que también se programa para la observación en un determinado intervalo de tiempo. Así se continúa hasta que todos los intervalos temporales en un día completo hayan sido planificados. En cada punto de este proceso se realizan controles para asegurar que se han cumplido todos los requisitos impuestos.

4. PRODUCTOS ASTER

4.1. Productos ASTER básicos

Por un lado tenemos una serie de productos o datos “básicos”, como son los siguientes:

- Datos ASTER Nivel 1A
- Datos ASTER Nivel 1B
- Datos ASTER Nivel 2A02 (Emisividad relativa: D-Stretch)
- Datos ASTER Nivel 2A03 (Reflectancia relativa D-Stretch)
- Datos ASTER Nivel 2B01 (Radiancia de la superficie)
- Datos ASTER Nivel 2B03 (Temperatura de la superficie)
- Datos ASTER Nivel 2B04 (Emisividad superficial)
- Datos ASTER Nivel 2B05 (Reflectancia superficial)

De entre ellos, son los datos ASTER Nivel 1A y 1B los más importantes para el objetivo de este artículo de investigación. Los primeros son datos sin procesar que contienen los datos imagen y los coeficientes de correcciones geométricas (incluyendo las correcciones de paralaje) y de calibración radiométrica (generales para cada sensor). También se proporcionan datos instrumentales y auxiliares de la nave espacial. La producción de este tipo de datos es de 780 escenas por día.

Los segundos se forman aplicando los coeficientes de calibración radiométrica y correcciones geométricas a los datos de Nivel 1A. Las bandas están adecuadamente ajustadas, especialmente si han sido sometidas a un proceso de remuestreo al aplicar las correcciones geométricas. Estos

datos se pueden utilizar para la generación de productos geofísicos y la producción es de 310 escenas diarias.

4.2. Productos ASTER de “Alto Nivel”

Existe una serie de productos ASTER de Alto Nivel (ASTER HIGHER-LEVEL PRODUCT) cuyos metadatos son de vital importancia para el procesamiento de las imágenes ASTER en las EFD (Estación Fotogramétrica Digital).

Estos metadatos están organizados en dos tipos de estructuras, como son los ficheros HDF y los ficheros MET, que se describen a continuación.

4.3. Ficheros HDF y ficheros MET

Cuando adquirimos un producto ASTER, recibimos dos ficheros diferentes, un fichero HDF y un fichero MET. El primero contiene una gran cantidad de metadatos y también de datos científicos, mientras que el fichero MET solamente contiene metadatos. Aunque existen algunos solapes entre la información de ambos ficheros, ambos son necesarios cuando necesitamos encontrar cierta clase de metadatos.

Finalidad de cada tipo de fichero

El fichero HDF es una copia de cómo fue creado por el *product generation software* un *granule* (gránulo); para ASTER, un *granule* corresponde a una escena de 60 km x 60 km, además de los ficheros asociados *granule Level metadata*. Los atributos de los ficheros HDF, con una breve descripción de cada uno de ellos, se muestran en la tabla 6.

HDF GLOBAL ATTRIBUTE	DESCRIPTION
Coremetadata.0	ECS standard metadata
Productmetadata.0.	ASTER standard metadata; AKA "Generic Header"
Xxxx_specific	Product-specific metadata; xxxx=product
Formatted product summary	Logically organized easy to read metadata summary
Instrument and Spacecraft	Telescopes used, gain settings, pointing angles, etc.
Spatial	Scene location
Temporal	Time of acquisition
Quality	Cloud coverage, other QA info
Calibration	Calibration database versions
Processing	Processing info such as time, versions...
Scene Information	Scene rotation, sun position...
Product summary information	ODL formatted version of formatted product summary
Level 1 carryover	Metadata from Level 1 input product
Badpixel information	Bad pixels of the Level 1 input product

Tabla 6. Atributos de los ficheros HDF.
(ASTER Higher-Level Product User Guide, 2001)



Una nueva dirección

Confianza, Innovación, Satisfacción... Sensaciones que encontrará en el nuevo proyecto de Sokkia España

DITAC SOLUCIONES, S.L.
Albasanz, 14 bis 1ºE
28037 MADRID
Tel.: 34914401320
Fax: 34913759562
www.sokkiaditac.es

SOKKIA

El fichero MET es un poco más difícil de explicar hasta que se comprende su procedencia; un fichero MET contiene un subgrupo de metadatos del fichero HDF (*granule-Level metadata*) además de información adicional que describe el producto general (*product - Level metadata*, también llamado *collection-Level metadata*).

Contenido de un fichero HDF

La forma más corta de responder a esta pregunta es usar términos comúnmente aplicados, como metadatos y datos (los datos son a menudo llamados "cuerpo del producto" (*product body*), pero esto es tan impreciso que los usuarios de estos términos lo que realmente están haciendo es distinguir entre dos categorías de formatos: ODL (para metadatos) y todo lo demás, según se describe a continuación.

Metadatos

Los metadatos están contenidos en una serie de componentes dentro de los ficheros HDF (cada componente es un "*global HDF attribute*").

Estos componentes están en formato ODL (*Object Descripción Lengua*), un formato usado generalmente para cierto tipo de información que siempre tiene la forma de ATRIBUTO = VALOR. Se usa mucho porque es fácil de analizar y encontrar elementos si tenemos un ordenador. Muchos usuarios lo encuentran extremadamente prolijo y poco organizado, haciendo demasiado dura la búsqueda de atributos específicos de interés. Con suficiente práctica podemos resolver este problema.

Aunque el fichero HDF contiene gran variedad de *global attributes*, uno de ellos es especial: el llamado *formatted_product_summary*, que es un conjunto que engloba la información más útil de todos los demás componentes, organizado de forma lógica y en un formato idóneo para la lectura normal sin máquinas (no ODL). Este *global HDF attribute* fue ideado específicamente para proporcionar a los usuarios de ASTER una forma sencilla de localizar información de metadatos, de ese modo se minimiza la necesidad de comprensión de detalles del fichero HDF y de la organización de los metadatos. En la columna de la derecha se muestra un resumen del contenido del "*formatted_product_summary*".

Por otra parte, si se necesita mirar alguno de los otros componentes, por ejemplo, para obtener información no contenida en el "*formatted_product_summary*", podemos buscarlo en las tablas de contenidos y tablas índice del ASTER *Higher-Level Product User Guide*, en la que, conociendo el nombre de un *metadata attribute*, podemos saber en qué *hdf attribute* hay que buscarlo. Por ejemplo, si quisiéramos encontrar el atributo *PointingAngle*, necesario para introducirlo en el software de cálculo de la EFD, debemos buscarlo en el *HDF Global Attribute* llamado *productmetadata.0*, donde veremos que las unidades de este atributo están en grados sexagesimales (*degrees*) y que corresponde al "*Pointing*

Contenido del "formatted_product_summary"

Instrument and Spacecraft

Instrumen Short Name
Spatial Resolution (by telescope)
ASTER Observation Mode (which telescopes are on)
Pointing Angles (by telescope, including time of pointing)
Gain (by band)

Spatial

Scene Four Corners
 Upper Left
 Upper Right
 Lower Left
 Lower Right
Scene Center

Temporal

Time of Day (of acquisition)
Calendar Date (of acquisition)

Quality

QA Percent Missing Data
QA Percent Out of Bounds Data
QA Percent Interpolated Data
Automatic QA Flag
Scene Cloud Coverage
Quadrant Cloud Coverage
 Upper left
 Upper right
 Lower left
 Lower right

QA Alert Table

Calibration

Geometric DB Version
Radiometric DB Version
Coarse DEM Version (used for SWIR parallax correction)

Processing

PGE Version (version of software used)
Receiving Center
Processing Center
Source Data Product (the associated Level 1 product)

Scene

Scene Orientation Angle (rotation of scene axis relative to North)
Map Projection
Solar Projection
 Azimuth
 Elevation

Band Scale Factors

Product-Specific (diferente según el tipo de producto)

Level 1 Carryover

A copy of the metadata from the associated Level 1 product--except for bad pixel information which is provided separately (next item)

Level 1 Bad Pixel Information

Number of Bad Pixels (by band)
List of Bad Pixels (by band)

Angle for the corresponding sensor". Este mismo dato aparece en el *formatted_product_summary* con el *metadata attribute* POINTINGINFO.

Contenido de un fichero MET

La información contenida en un fichero MET es extraída de la base de datos de metadatos *on-line* en el momento en que se solicita un determinado producto.

Se debe señalar que si un *QA field* ha sido actualizado desde que el gránulo fue creado, el fichero MET contendrá el valor actualizado de ese campo. Los campos objeto de actualización son:

- *Operational_Quality_Flag*
- *Operational_Quality_Flag Explanation*
- *Science Quality Flag*
- *Science Quality Flag Explanation*

Los componentes básicos de un fichero MET se relacionan a continuación:

- **"Collection" Level metadata.** Este tipo de metadato se aplica a todos los gránulos de una "colección" (para ASTER, una colección es un producto, como *Surface Radiance –VNIR, SWIR–*, o *Surface Kinetic Temperature*). Contiene información tal como el nombre del producto, qué instrumento fue utilizado e información de contacto. Algunas de estas informaciones pueden estar contenidas en otros ficheros.
- **"Core" metadata.** Para los *higher-Level products*, éste es una copia del *coremetadata.0*, pero incluye algunos de los campos de QA actualizados citados anteriormente. Para los productos *Level 1* se utiliza una versión ligeramente modificada para la misma información (esto se produce durante el "ingest" de los productos *Level 1* y ayuda a que los datos se encuentren con mayor facilidad).
- **PSA.** Son atributos específicos de cada producto (*Product-Specific Attribute*), que están incluidos en el *coremetadata.0*.

(Continuará) 

Topografía Romana (I)

Isaac Moreno Gallo

INGENIERO TÉCNICO DE OBRAS PÚBLICAS

DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN ARAGÓN. ZARAGOZA (MINISTERIO DE FOMENTO)

OBJETO

Las obras de ingeniería romana se caracterizan, entre otras cosas, por responder a una geometría muy cuidada. Las carreteras tienen, cuando el terreno es propicio, alineaciones largas y precisas, sus pendientes son suaves. Las ciudades y los campos se cuadrículaban escrupulosamente, llegando a alcanzar las dimensiones de estas parcelaciones tamaños enormes. Pero probablemente los acueductos, esas largas canalizaciones que llevaban el agua desde las fuentes naturales u otras captaciones hasta las ciudades, para el consumo humano, alcancen el paradigma de la perfección geométrica, precisamente porque su funcionamiento está fuertemente condicionado a este factor:

Quando hemos analizado el proceso constructivo de estas obras y la metodología de replanteo y construcción, nos han asaltado dudas razonables sobre la forma en que los técnicos romanos conseguían medir y construir con precisión cada cosa en su sitio. Estas obras adquieren en ocasiones una complejidad extrema y su realización, incluso hoy y con nuestros medios, sería objeto del máximo esmero y no poca dificultad en su replanteo, de forma que se garantizase su correcto funcionamiento.

Después de cierto tiempo analizando estos extremos, incentivados en buena medida por lo poco que de ello se sabe y lo escasamente convincente que resulta lo propuesto sobre la ciencia topográfica romana en la mayor parte de los textos modernos escritos al efecto, en este trabajo se expondrá un avance de lo que sobre esta particular temática hemos ido desarrollando.

A la vez que presentaremos alguno de los instrumentos que hemos reconstruido, su funcionamiento y el resultado de las experiencias que con ellos hemos realizado, expondremos someramente algunas de las técnicas que, estando perfectamente al alcance de los especialistas romanos, pudieron ser utilizadas con éxito en sus obras de ingeniería.

TECNOLOGÍA ANTIGUA

Los técnicos romanos bebieron principalmente de las fuentes del cono-

cimiento griego para resolver los problemas de medición y cálculo que sus labores de ingeniería requerían.

Y no sólo los técnicos de Roma, sino también los de la Europa del Renacimiento, se basaron en los textos antiguos para hacer progresar la mediocre ciencia directamente heredada del medievo. Juan de Herrera fue el encargado de poner en marcha las primeras academias científicas en la España de Felipe II¹. Es significativo ver como Juan de Herrera detalla los libros y textos que debían leerse en función de los objetivos del alumno. Así, por ejemplo, indica que los que deseen ser aritméticos deben saber “*los nueve libros de Euclides, alguna otra aritmética theorica como la de lordano o Boecio y la parte practica sacarla en el de frate Luca o los de Tartaglia*”; los que intenten ser geómetras y mensuradores, “*han de saber los primeros libros de Euclides, la doctrina de triángulos de Monte Regio, los últimos cinco libros de Euclides, con el 10, los esféricos de Teodosio, los Cónicos de Apolonio Pergeo y la obras de Archimedes de sphaera y cilindro*”. Mientras que, tanto los que tengan intención de dedicarse a las Mecánicas, como los astrólogos, los gnomónicos, los perspectivistas, los músicos, los arquitectos, los fortificadores, los niveladores y los artilleros, deben conocer sobre todo la Geometría de Euclides, además de otras obras específicas que también enumera.

Resalta el caso de los cosmógrafos y de los pilotos, para los que considera indispensable el conocimiento de *la Esfera y de las Teóricas de los planetas* y “*entender muy de rayz la Geographia de Ptolomeo*” junto con el uso y fundamento de las cartas de marear, del astrolabio, de la ballestilla y de la aguja.

A estos fines, Pedro Ambrosio de Ondéiz tradujo en un solo año las siguientes obras, en palabras de Juan de Herrera: “*El Undécimo y Duodécimo de Euclides, y la Perspectiva y Especularia que ha impresso a su costa, los Sphericos de Teodosio, los Equiponderantes de Archimedes y va acabando otro intitulado Apollonio Pergeo*”.

¹ ESTEBAN PIÑERO, M. 2003. *Las Academias Técnicas en la España del siglo XVI. Quaderns d'Història de l'Enginyeria Volum V 2002-2003*

Pues bien, la ciencia principal en la que se basaron los topógrafos romanos, al igual que los actuales, fue esa parte de la matemática conocida como Trigonometría.

La Trigonometría trata de relacionar los ángulos y los lados de un triángulo. Puede decirse que fue iniciada por Hiparco aproximadamente el año 150 a.C., otros le siguieron y finalmente Ptolomeo cogió el relevo en la materia. Entonces, como hoy, los ingenieros y los físicos empleaban muchas de estas herramientas trigonométricas en su labor diaria.

Las dos ramas fundamentales de la trigonometría son la trigonometría plana, que se ocupa de figuras contenidas en un plano, y la trigonometría esférica, que se ocupa de triángulos que forman parte de la superficie de una esfera. Ambas se dominaron bien en la antigüedad, ya que esta ciencia se remonta a las matemáticas egipcias y babilónicas, siendo los egipcios los primeros en usar la medida en grados, minutos y segundos para la medida de ángulos. Pero vamos a examinar aquí la labor en esta materia de los sabios de la antigüedad de los que nos han llegado noticias.

Los Precursores

Tales de Mileto

Probablemente sus trabajos son los que mayores consecuencias han traído a la ciencia mensura en occidente. Nació alrededor del año 624 a.C. y murió entre el año 548 a.C. y el año 545 a.C. Fue un filósofo recordado principalmente por su cosmología, basada en el agua como esencia de toda la materia, y por su predicción de un eclipse de sol, que debió ocurrir el 28 de mayo del 585 a.C.

No hay escritos de Tales disponibles, ni tampoco fuentes coetáneas a él a las que se pueda recurrir como referencia. Esto hace extraordinariamente difícil saber el alcance de lo logrado por Tales y aún más sabiendo que en la antigua Grecia existía la práctica de atribuir muchos descubrimientos a personas reconocidas como sabios sin que hubieran tenido parte en ellos.

A Tales se le consideró discípulo de egipcios y caldeos, ya que él mismo viajó a Egipto y Mesopotamia. La documentación perdida nos hubieran arrojado más luz sobre la labor de Tales, pero el papel escrito perece con facilidad. De esta forma, un estudiante de Aristóteles, llamado Eudemos de Rodas (año 320 a.C.), hace referencia a la ciencia que Tales obtuvo de los egipcios en una obra titulada *Historia de las Matemáticas*. Este documento se perdió pero, antes de que esto ocurriera, llegó a existir un resumen del mismo que posteriormente desapareció también. Información relacionada a este resumen aparece en el siglo V en el *Comentario* del filósofo Proclus sobre el *Primer libro de los elementos de Euclides*. Allí, después de referirse a los orígenes de la geometría en Egipto, habla sobre Tales y dice: «...primero fue a Egipto y después introdujo este estudio en Grecia. Descubrió muchas de las proposiciones por sí mismo e instruyó a sus seguidores en los principios que subyacen en muchas otras,

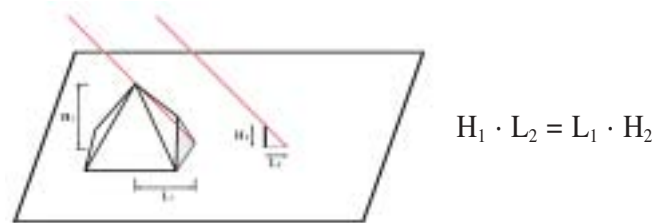
siendo su método de ataque más general en algunos casos, más empírico en otros.»

Más adelante en su *Comentario* y citando a Eudemos, Proclus afirma que Tales estableció cuatro teoremas:

1. El círculo se bisecta por su diámetro.
2. Los ángulos de la base de un triángulo con dos lados iguales son iguales.
3. Los ángulos opuestos de líneas rectas que se intersectan, son iguales.
4. Si dos triángulos son tales que dos ángulos y un lado de uno son iguales a dos ángulos y un lado del otro, entonces los triángulos son congruentes.

Hay un quinto teorema que tradicionalmente se incorpora a la lista anterior y que dice que “el ángulo inscrito en un semicírculo es un ángulo recto”. Actualmente se piensa que este teorema pudo tener su verdadero origen en Babilonia y posteriormente fue introducido por Tales en Grecia.

Parte de su leyenda atribuye a Tales el uso de sus conocimientos de geometría para medir las dimensiones de las pirámides de Egipto y calcular la distancia a la costa de barcos en alta mar. Así, Diógenes Laertes junto con Plinio y Plutarco señalan que la medida de la altura de las pirámides se llevó a cabo a través de la determinación de la longitud de la sombra que producían cuando una vara clavada verticalmente en el suelo producía una sombra igual a su altura. Para esto, los rayos del Sol deben tener una inclinación de 45°. Debido a la situación de las pirámides en Gizeh, a 30° de latitud en el hemisferio norte, sólo hay dos posibilidades para que Tales realizara esta medición, el 21 de noviembre o el 20 de enero.



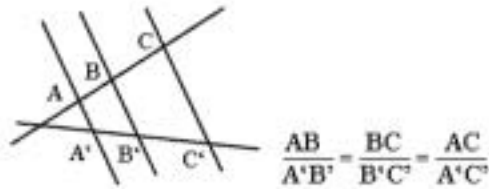
Para medir la distancia de los barcos en alta mar a la costa, la leyenda dice que Tales fue el primero en emplear la proporcionalidad de los lados de triángulos semejantes. Existen dudas sobre esto, ya que estas ideas se habían manejado con mucha anterioridad en Egipto y Mesopotamia, donde Tales pasó parte de su vida. Es muy posible que el verdadero papel que haya jugado no sea tanto el de creador y esté más relacionado con el de un intérprete, organizador y recopilador inteligente de esas estructuras lógicas.

Más espectacular fue la predicción del eclipse solar que detuvo la batalla entre Alyattes y Cyaxares en 585 a.C. Expertos modernos en la materia están convencidos de que Tales carecía del conocimiento para predecir con precisión la localidad donde el eclipse se podía observar o el

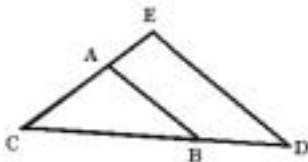
carácter del mismo, y sus estimaciones debieron ser aproximadas. Herodoto hace referencia a una predicción con solamente un año de adelanto. Es probable que el hecho de que el eclipse fuera total y que la localidad afectada correspondiera a la de una batalla importante contribuyera enormemente a la reputación de Tales como astrónomo.

Algunas consecuencias del famoso teorema de Tales son:

Triángulos semejantes: Los segmentos determinados por rectas paralelas sobre dos rectas concurrentes son proporcionales.

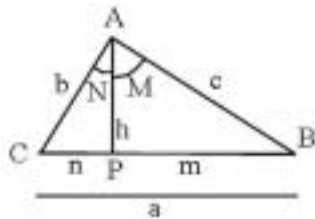


Por tanto toda paralela a un lado de un triángulo determina con los otros dos lados un nuevo triángulo semejante al primero:



Dos triángulos semejantes si tienen dos ángulos iguales o los tres lados proporcionales o dos lados proporcionales y el ángulo comprendido igual.

Teorema de la altura y del cateto: Los triángulos **PCA** y **PBA** son semejantes, ya que ambos tienen un ángulo recto, **C'** y **C** son complementarios de **B**, luego son iguales.



Por lo tanto: $b/c = h/m = n/h; h^2 = m \cdot n$

Es decir: En un triángulo rectángulo la altura es media proporcional entre los segmentos que determina sobre la hipotenusa.

Los triángulos **PCA** y **ACB** son semejantes ya que tienen los tres ángulos iguales, un ángulo recto y los ángulos **B** y **N**, ambos complementarios de **C**, son iguales.

Por lo tanto: $b/a = h/c = n/b; b^2 = a \cdot n$

Por la misma razón, los triángulos **PAB** y **ACB** también son semejantes, ya que tienen un ángulo recto y los ángulos **C** y **M**, ambos complementarios de **B**, son iguales, cumpliéndose que: $c/a = m/c = h/b; c^2 = a \cdot m$

Es decir, en un triángulo rectángulo un cateto es media proporcional entre la hipotenusa y su proyección sobre ésta.

Pitágoras

Nació en el siglo VI a.C. (probablemente el 569) en la isla de Samos (Grecia) y murió en el siglo V a.C. en Crotona (Italia). Pitágoras fue instruido en las enseñanzas de los primeros filósofos jonios, Tales de Mileto, Anaximandro y Anaximedes. Se dice que Pitágoras había sido condenado a exiliarse de Samos por su aversión a la tiranía de Polícrates. Hacia el 530 a.C. se instaló en Trotona, una colonia griega al sur de Italia, donde fundó un movimiento con propósitos religiosos, políticos y filosóficos, conocido como pitagorismo. La filosofía de Pitágoras se conoce sólo a través de la obra de sus discípulos.

Estableció su famoso teorema demostrando que en un triángulo rectángulo el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos. Así nos explica Vitruvio² el descubrimiento de Pitágoras:

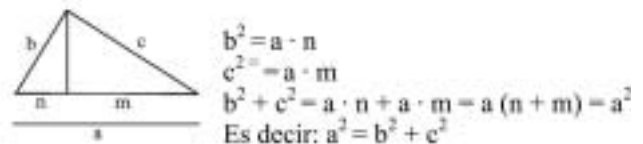
"Pitágoras inventó una escuadra que no requiere el trabajo de los artesanos, quienes únicamente a fuerza de mucha aplicación y dificultades consiguen construirla exacta; se realiza de manera irreprochable siguiendo sus métodos y preceptos. He aquí cómo:

Si se toman tres reglas, una de tres pies, otra de cuatro y una tercera de cinco, y se las junta de modo que reunidos sus extremos de punta a punta formen un triángulo, se tendrá una escuadra perfecta. Ahora bien, si sobre la longitud de cada una de las tres reglas se trazaran otros tantos cuadrados, aquél cuyo lado sea de tres pies tendrá una superficie de nueve pies; el de cuatro, tendrá dieciséis pies, y el de cinco, veinticinco pies. Así el número de pies contenidos en las áreas de dos cuadrados de tres y cuatro pies de lado respectivamente será igual al número de pies contenidos en la superficie del cuadrado que tiene cinco pies de lado.

Esta demostración, tan útil para las medidas de las dimensiones y muchas otras cosas, presta también gran ayuda en la construcción de los edificios y especialmente en las escaleras para que cada escalón tenga una justa proporción."

Muchos investigadores afirman que los egipcios conocieron la propiedad del triángulo rectángulo cuyos lados miden 3, 4 y 5 unidades de longitud, en los que se verifica la relación $5^2 = 3^2 + 4^2$, pero el descubrimiento de la relación $a^2 = b^2 + c^2$ para cualquier triángulo rectángulo y su demostración se debe indiscutiblemente a Pitágoras.

Esta demostración es perfectamente deducible a partir del teorema del cateto:



El pitagorismo, tuvo un despertar en el siglo II ya de nuestra era, en Nicómaco de Gerasa, con su libro *Introducción a la Aritmética*, libro clásico considerado básico hasta el Renacimiento.

² VITRUVIO. De Architectura, 9, praef. 6 y 7.

NUEVA VERSIÓN DE NUESTRA
ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL

Digi3D

CARGA GRANDES MODELOS SIN CONSUMIR
MEMORIA. VISUALIZACIÓN MÁS NÍTIDA.
SOPORTA ADS40, KONOS, DGN,
DWG.

NUEVO MÓDULO DE MDTOP PARA TRAZADO DE VIALES.

REALICE FÁCILMENTE TRAZADOS,
ALZADOS, PERFILES LONGITUDINALES
Y TRANSVERSALES, CUBICACIONES...

digi

- **Digi3D**
Estación de fotogrametría digital
- **TopCal21**
Cálculos topográficos
- **MDTop**
Modelos digitales del terreno
- **AeroTri**
Programa de aerotriangulación

digi

Nuevo OrtoBatch

Generación en grupo de ortofotos,
ajustes radiométricos automáticos,
mosaicos y corte por hojas en un
único programa y en sencillos pasos.
Más info en

<http://www.digi21.net/ob/>

PLAN RENOVE

CAMBIA CUALQUIER TOPCAL
DE MS-DOS, CON O SIN
LLAVE, POR EL NUEVO
TOPCAL21 PARA WINDOWS,
LLENO DE NOVEDADES,
POR SÓLO 600 €

www.digi21.net

902 21 51 21

Ctra. Canillas 138
2º planta, oficina 16 C
28043 Madrid.

Euclides

Vivió tal vez en el siglo III a.C. Su obra monumental, titulada *Elementos*, indiscutida hasta principios del siglo XX, consta de 13 libros que hablan de la geometría plana, estudio exclusivo de las figuras poligonales o circulares, de relaciones y proporciones, donde aparece la noción de semejanza, la teoría de números, el estudio de las irracionales algebraicas más sencillas y una última parte dedicada al espacio.

Fue uno de los referentes en la matemática y la ingeniería moderna del siglo XVI, considerándose entonces obligatorio su estudio para obtener provecho de la matemática aplicada.

Apolonio

Apolonio de Perga, el *Gran Geómetra*, vivió a fines del siglo III y principios del II a.C. en Alejandría, Efeso y Pérgamo. Su obra, *Cónicas*, se componía de ocho libros, siete se han conservado, cuatro en griego y tres en árabe. Trataban sobre la sección de razón, la sección de espacio, la sección determinada, las inclinaciones, los lugares planos, los contactos, etc.

Las cónicas eran conocidas por los nombres, que introdujo Apolonio, "de sección de cono de ángulo agudo (elipse), sección de cono de ángulo recto (parábola), y sección de cono de ángulo obtuso (hipérbola)".

Son famosos los teoremas de Apolonio sobre los diámetros conjugados de las cónicas con centro. Descubrió lo que hoy llamamos la evoluta de la elipse. Estudió también las homotecias, traslaciones, rotaciones, es decir, movimientos, y también las semejanzas, tanto en el plano como en el espacio. También se sabe que Apolonio conocía la proyección estereográfica de la esfera sobre el plano.

Arquímedes

Arquímedes de Siracusa (287 a.C. - 212 a.C.) fue un matemático y físico griego, caracterizado por su notable inventiva y creatividad. Se le considera el precursor de la moderna ingeniería.

Arquímedes demostró que la superficie de una esfera es cuatro veces la de uno de sus círculos máximos. Calculó áreas de zonas esféricas y el volumen de segmentos de una esfera. Demostró que "el área de un casquete esférico es igual a la superficie de un círculo que tiene por radio la recta que une el centro del casquete con un punto de la circunferencia basal".

El problema al que le atribuía una gran importancia era el de demostrar que "el volumen de una esfera inscrita en un cilindro es igual a $2/3$ del volumen del cilindro". De la misma forma demostró que la superficie de esta esfera era también los $2/3$ de la superficie del cilindro.

Más interesante es su trabajo sobre la medida del círculo. Trata de la rectificación de la circunferencia y el área del círculo. Arquímedes es el primero que hizo un intento verdaderamente positivo sobre el cálculo del número π , asignándole un valor de $3 + 10/71$. El método que empleó consiste en calcular los perímetros de los polígonos regulares inscritos y circunscritos a un mismo círculo.

También demostró que un círculo es equivalente a un triángulo que tiene por base la circunferencia y por altura el radio.

En otra de sus obras se refiere a la mecánica, especialmente a los principios de la palanca. Su punto de partida lo constituyen dos principios fundamentales, que bien pueden considerarse como axiomas de la mecánica.

1. Si se tiene una palanca en cuyos extremos actúan pesos iguales, la palanca se equilibrará colocando el punto de apoyo en el medio de ella.
2. Un peso se puede descomponer en dos mitades, actuando a igual distancia del punto medio de la palanca.

Basándose en estos dos principios estableció las leyes de la palanca. Conocida es su famosa frase para hacer resaltar la aplicación de la palanca como máquina multiplicadora de fuerza: *Dadme un punto de apoyo y os levantaré el mundo*.

Lo que realmente le hizo famoso fue el hecho de hallar el método para determinar la densidad de los cuerpos tomando como unidad la del agua.

Es cierto que los conocimientos y descubrimientos matemáticos de Arquímedes son notables, sin embargo, son tal vez más importantes sus aportaciones y descubrimientos hechos en la Física. En efecto, fuera del principio de la hidrostática ya nombrado y de cuya importancia no es necesario insistir, inventó un sistema de poleas, el torno, la rueda dentada, el tornillo sinfín y una serie de por lo menos cuarenta inventos. Entre ellos es realmente importante, por el uso que se le dio posteriormente, el tornillo sinfín con capacidad para bombear agua.

En el campo militar se le debe la invención de catapultas, de garfios movidos por palancas para inventos mecánicos.

Por métodos ópticos logró defender durante tres años a Siracusa, que estaba sitiada por los romanos. Empleando espejos "ustorios", que son espejos cóncavos de gran tamaño, logró concentrar los rayos solares sobre la flota romana incendiándola. Finalmente, el año 212 cayó Siracusa en manos de los romanos, siendo Arquímedes asesinado por un soldado romano cuando contaba con 75 años, a pesar de haber ordenado el cónsul Marcelo respetar la vida del sabio.

Hiparco

Nació en el año de 190 a.C. en Nicea Bithynia (Turquía) y murió en Rodas (Grecia) en el año 120 a.C. Se considera como el primer astrónomo científico. Prácticamente toda la información que se conoce de Hiparco proviene del *Almagesto* de Claudio Ptolomeo.

Realizó importantes contribuciones a la trigonometría, tanto plana como esférica, e introdujo en Grecia la división del círculo en 360 grados.

Construyó una tabla de cuerdas con la que pudo fácilmente relacionar los lados y los ángulos de todo triángulo plano. Se trata de un tempra-

no ejemplo de una tabla trigonométrica, similar a la moderna tabla del seno, cuyo propósito era proporcionar un método para resolver triángulos. La tabla daba la longitud de la cuerda delimitada por los lados del ángulo central que corta a una circunferencia de radio r .

En astronomía descubrió la precesión de los equinoccios, describió el movimiento aparente de las estrellas fijas, calculó la duración del año con una precisión de 6,5 minutos, calculó un periodo de eclipses de 126.007 días y una hora, calculó la distancia a la luna basándose en la observación de un eclipse el 14 de marzo de 190 a.C., su cálculo fue entre 59 y 67 radios terrestres, que está muy cerca del real de 60 radios.

Desarrolló un modelo teórico del movimiento de la luna basado en epiciclos. Elaboró el primer catálogo celeste, que contenía aproximadamente 850 estrellas, diferenciándolas por su brillo en seis categorías o magnitudes; probablemente este trabajo fue utilizado por Ptolomeo como base para su propio catálogo celeste.

Tuvo una gran influencia sobre Ptolomeo al rechazar la teoría heliocéntrica de Aristarco de Samos³, siendo así el precursor de los trabajos geocéntricos de Ptolomeo.

Herón de Alejandría

No sabemos exactamente su localización cronológica, pero la noticia del hecho de que usara un eclipse de sol, que no pudo ocurrir más que en el 62 d.C.⁴, para realizar ciertas mediciones del globo terrestre lo desplazan a épocas mucho más recientes de lo que lo hacían otros autores, que lo situaban más o menos en los siglos III y II a.C.⁵. Estamos ante un hombre clave en matemáticas aplicadas, mecánica, física, geodesia, logística y cálculo numérico. Todo esto ha llegado a nosotros en forma de retales, en lo que se denomina la llamada "colección heroniana".

La *Métrica*, obra que no fue encontrada hasta 1896, está dedicada a la medida de superficies planas o curvas, a base de problemas bien graduados. Entre los resultados está su famosa fórmula del área del triángulo, aunque recientes investigaciones se la atribuyen a Arquímedes.

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

en donde p es el semiperímetro $p = \frac{a+b+c}{2}$

Fue uno de los inventores más notables de la antigüedad, con ingenios como una rudimentaria máquina de vapor; autómatas, diversas máquinas de guerra, tales como ballestas y catapultas de largo alcance.

³ Arquímedes, en el *Arenario*, nos dice: "Aristarco de Samos publicó un libro basado en ciertas hipótesis y en el que parece que el universo es muchas veces mayor que el que ahora recibe ese nombre. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la tierra gira alrededor del Sol siguiendo la circunferencia de un círculo con el Sol en medio de la órbita...".

Y por Plutarco sabemos que Cleantes (hacia el 260 a.C.) denunció a Aristarco por impío, al haberse atrevido a negar que la Tierra era el centro del universo.

⁴ NEUGEBAUER. 1938: *Ubre eine Methode zur Distanzbestimmung Alexandria-Rom bei Heron*. Copenhague.

⁵ HEIBERG, J.L. 1912: *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia* (Leipzig).

En el campo de la topografía, realizó una labor importantísima con el desarrollo de la dioptra, un teodolito muy preciso con el que se podían realizar mediciones muy variadas, tanto terrestres como astronómicas.

Ptolomeo

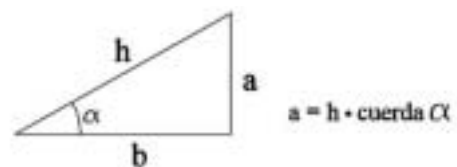
Claudio Ptolomeo vivió en el siglo II d.C., astrónomo, matemático, físico y geógrafo, fue un egipcio nacido en Ptolemais Hermii, ciudad griega de la Tebaida (Egipto) y vivió en Alejandría.

Su *Sintaxis matemática*, más conocida con el nombre árabe de *Almagesto*, sintetiza y ordena los conocimientos astronómicos de los griegos y, sobre todo, los de Hiparco.

Ptolomeo realiza varios cálculos sobre las dimensiones de la esfera terrestre, da dos métodos para determinar la oblicuidad de la eclíptica, calcula la altura del polo del mundo y la duración del día en diversos lugares del globo, da tablas de los ángulos y arcos que forman la intersección de la eclíptica con el meridiano y el horizonte. Explica las irregularidades del movimiento aparente del Sol, mediante la hipótesis del movimiento a lo largo de una circunferencia excéntrica. Completa la teoría de la Luna de Hiparco y descubre la variación anual de la excentricidad de su órbita, para explicar el movimiento aparente de la Luna usa la hipótesis del epiciclo. Tolomeo describe el astrolabio, expone el método del paralaje para hallar la distancia a la Luna, describe el método de Hiparco para calcular eclipses y completa el catálogo de su precursor; dando un total de 1.022 estrellas.

Su contribución más original es la teoría del movimiento planetario. Advierte que los planetas (o *vagabundos celestes*) están situados entre la Luna y las estrellas fijas, trata de explicar su complicado movimiento aparente en forma parecida a como lo había hecho en el caso de la Luna, pero, en lugar de atribuir al centro del epiciclo un movimiento uniforme sobre el deferente excéntrico, introduce el llamado ecuante, círculo aún menor desde el cual el movimiento del planeta parece uniforme. Con el *Almagesto* culmina y termina la astronomía antigua, que, salvo detalles, fue conservada tal cual hasta fines del Renacimiento.

Ptolomeo hace contribuciones capitales a la trigonometría plana y esférica que había creado Hiparco. Incorporó en su gran libro de astronomía, el *Almagesto*, una tabla de cuerdas con incrementos angulares de 1°, desde 0° a 180°, empleando el sistema sexagesimal inventado por los babilónicos, con un error menor que 1/3.600 de unidad. También explicó su método para compilar esta tabla de cuerdas y a lo largo del libro dio bastantes ejemplos de cómo utilizar la tabla para calcular los elementos desconocidos de un triángulo a partir de los conocidos.



Expuso el teorema que lleva su nombre, relativo al cuadrilátero inscrito en una circunferencia, dando la fórmula que relaciona la cuerda de un ángulo con la cuerda de su mitad, empleando un método de interpolación y, en general, desarrolla casi toda la trigonometría que necesita para sus cálculos astronómicos sin el auxilio de las funciones trigonométricas. Resucita también la geografía matemática creada por Eratóstenes y por Hiparco, que había sido olvidada en favor de la geografía descriptiva.

En su *Geografía* describe minuciosamente la construcción de mapas según diferentes métodos de proyección. También se ocupó Ptolomeo de la balanza, de acústica física y de óptica geométrica y fisiológica. En su *Óptica* estudió en particular los fenómenos de refracción, dando tablas de valores para diversos medios transparentes, sostuvo que los rayos que llegan de las estrellas se refractan en el aire, por lo cual la dirección observada difiere de la real.

Estos científicos fueron la base de toda la trigonometría posterior. A finales del siglo VIII, los astrónomos árabes, que habían recibido la herencia de las tradiciones de Grecia y de la India, prefirieron trabajar con la función seno. En las últimas décadas del siglo X ya habían completado la función seno y las otras cinco funciones y habían descubierto y demostrado varios teoremas fundamentales de la trigonometría, tanto para triángulos planos como esféricos. Fundamental para la formación de la teoría del coseno fue el astrónomo árabe Albatenius, Al-Battani (Haran, Turquía 858 - Samarra, Irak 929).

El concepto espacial

Para comprender la exactitud de las labores topográficas que se realizaban en la antigüedad debemos considerar, en primera instancia, que el grado de conocimiento astronómico de la tierra, su posicionamiento y movimiento en el espacio era muy elevado en aquella época. Es realmente imposible conocer desde cuando los científicos de la antigüedad sabían que la Tierra era redonda, pues se cree que todas las antiguas civilizaciones lo supieron y este concepto nunca se dudó entre los hombres de ciencia de la antigüedad. Éste es un concepto fundamental, por ejemplo, para determinar el grado de error de las nivelaciones para la canalización de las aguas y la máxima distancia admisible para su replanteo.

Está algo más claro el momento en que las magnitudes de la esfera terrestre empezaron a calcularse con cierta precisión, así como su distancia a los otros cuerpos celestes principales, el Sol y la Luna.

Eratóstenes (Cirene, 276 a.C. - Alejandría, 195 a.C.) determinó el tamaño de la Tierra mediante un método trigonométrico, utilizando además las nociones de latitud y longitud, ya introducidas al parecer por Dicaearco, por lo que bien merece el título de padre de la geodesia. Según la narración de Cleomedes⁶, Eratóstenes sabía que en Siena (hoy Aswan, en Egipto) al mediodía del solsticio de verano los objetos no proyecta-

ban sombra alguna y la luz alumbraba el fondo de los pozos. Esto significaba que la ciudad estaba situada justamente en el trópico y su latitud era igual a la de la eclíptica, cuya existencia ya era conocida por Eratóstenes.

Suponiendo que Siena y Alejandría tenían la misma longitud (realmente distan 3°) y que el Sol se encontraba tan alejado de la Tierra que sus rayos podían suponerse paralelos, midió la sombra en Alejandría el mismo día del solsticio de verano al mediodía, demostrando que el cenit de la ciudad distaba 1/50 parte de la circunferencia, es decir, 7° 12' del de Alejandría.

Posteriormente tomó la distancia entre ambas ciudades, que él fijó en 5000 estadios, de donde dedujo que la circunferencia de la Tierra era de 250.000 estadios, resultado que posteriormente elevó hasta 252.000 estadios, de modo que a cada grado correspondieran 700 estadios. Admitiendo que Eratóstenes usó el estadio egipcio (300 codos de 0,524 m), la circunferencia polar calculada hubiera sido de 39.614,4 kilómetros, frente a los 40.008 considerados en la actualidad, es decir, un error menor del 1%.

Posidonio (Apamea, Siria 135 a.C. - Rodi 51 a.C.), rehizo el cálculo de Eratóstenes obteniendo una circunferencia sensiblemente menor; valor que adoptaría luego Ptolomeo (siglo II d.C.) y en el que se basaría Cristóbal Colón para justificar la viabilidad del viaje a las Indias por occidente, viaje que probablemente nunca se hubiera atrevido a realizar con los cálculos más realistas de Eratóstenes.

Se piensa precisamente que Colón, además de los datos de Ptolomeo, manejaba las narraciones de Estrabón. Éste menciona la posibilidad de llegar a la India desde Iberia por occidente y apostaba por una cifra inferior a los 200.000 estadios como medida de la circunferencia de la Tierra. Sin embargo, el propio Estrabón, vuelve a mencionar el asunto dando 70.000 estadios como la mitad de la circunferencia de la Tierra, lo que no hace si no aumentar la confusión sobre su fiabilidad.

“Eratóstenes sostiene que la Tierra habitada forma aproximadamente un círculo, que tiende a cerrarse sobre sí mismo, de tal forma que si la inmensidad del océano Atlántico no se opusiera, podríamos ir por el mar desde Iberia hasta la India. Bastaría con seguir un mismo paralelo y recorrer la sección que queda, o sea algo más del tercio de la circunferencia total, admitiendo un valor inferior a doscientos mil estadios (unos 36.000 km) en lo que se refiere al paralelo en el que se ha hecho la anterior repartición desde la India hasta Iberia.” (Estrabón I, 4, 6-7).

“Eratóstenes formula también la hipótesis de que los setenta mil estadios aproximados (unos 12.500 km) que representan la longitud del mundo habitado valen la mitad del círculo entero sobre el que se tomó dicha longitud, o sea que, sostiene, si saliendo de occidente, navegásemos con viento este, al cabo de igual número de estadios, llegaríamos a las Indias.” (Estrabón II, 3, 6).

La redondez de la tierra parece, en contra de lo asumido hoy, que no

⁶ CLEOMEDES: *De motu circulari corporum coelestium*. Siglo I d. C.

Medición sin prisma 600 m.

Servoasistido MagDrive

Tecnología MultiTrack

Precisión SurePoint

Sistema Robótico



Distribuidor Autorizado

Trimble S6. La exclusividad a su alcance

TopoCenter PUNTOS DE APOYO TOPOCENTER EN SU ZONA:
BARCELONA 93 340 05 73 - 655 550 111 | MADRID 91 371 00 98 - 629 590 674 | LEVANTE 961 400 836 - 619 557 120
PAIS VASCO 945 13 10 24 - 616 012 095 | GALICIA 986 848 021 - 616 303 239 | BALEARS 971 408 060 - 618 260 080

Bofarull, 14, bajos 08027 Barcelona
Tel. 93 340 05 73 Fax 93 351 95 18
www.al-top.com al-top@al-top.com

al-top
TOPOGRAFIA

ha sido nunca cuestionada por los hombres de la mar y por los estudiosos del medievo. A pesar de que en ocasiones haya sido objeto de polémica, investigaciones recientes⁷ afirman que la creencia de que los habitantes de la Edad Media pensaban que la Tierra era plana, lo que se enseña hoy como verdad histórica, es invención del historiador británico de la primera mitad del siglo XIX, William Whewell.

De hecho, Colón no tuvo que convencer a nadie de la redondez de la Tierra si no de que el tamaño de su circunferencia máxima era menor que la que se suponía, admitiendo los datos de Estrabón y Ptolomeo, haciendo así su viaje a la India viable por occidente. Encontró, sin embargo, la reticencia de los científicos de las cortes europeas, incluidos los que estaban al servicio de los Reyes Católicos, que se aferraban a una circunferencia mucho mayor, la real calculada por Eratóstenes⁸. Tal vez esto signifique que el tamaño real de la Tierra fue conocido desde siempre, a partir de los datos de Eratóstenes y a pesar de los datos confusos de Estrabón y de los cálculos de Ptolomeo.

Por otra parte, el movimiento de los astros fue estudiado con éxito por **Aristarco**, que nació en Samos (Grecia) en el año 310 a.C. y murió en el 220 a.C. La revolucionaria idea de Aristarco consistía en que era la Tierra la que giraba en torno al Sol (teoría heliocéntrica) y no al revés (teoría geocéntrica). Aristarco consideraba al Sol como una estrella y probablemente que las estrellas eran soles. Además, dedujo que la órbita de la tierra estaba inclinada.

Arquímedes, en el *Arenario*, nos dice: *“Aristarco de Samos publicó un libro basado en ciertas hipótesis y en el que parece que el universo es muchas veces mayor que el que ahora recibe ese nombre. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la tierra gira alrededor del Sol siguiendo la circunferencia de un círculo con el Sol en medio de la órbita, y que la esfera de las estrellas fijas también con el Sol como centro, es tan grande que el círculo en el que supone que la tierra gira guarda la misma proporción a la distancia de las estrellas fijas que el centro de la esfera a su superficie”*.

Sin embargo, el paradigma en vigor en su época era el de que la Tierra estaba fija en el centro del Universo y el hombre era centro de la Creación. Sabemos por Plutarco que Cleantes (hacia el 260 a.C.) denunció a Aristarco por impío, al haberse atrevido a negar que la Tierra fuera el centro del universo.

Por desgracia, sabios posteriores desmintieron esta teoría y hubo que esperar más de 1700 años, hasta 1542 d.C., para que Copérnico volviera a plantear la idea, que encontró de nuevo serias reticencias. Sus destructores buscaron rápidamente la censura de su obra, Lutero y Calvino se manifestaron contra ella y en 1616 la iglesia Católica colocó el traba-

jo de Copérnico en su lista de libros prohibidos. Él había muerto un año después de publicar su trabajo.

Precisamente por que la tierra es redonda y su superficie es generalmente muy irregular, los antiguos apreciaron enseguida la necesidad de efectuar las mediciones según la proyección en planta de todas las dimensiones que se pudieran tomar. Sabían perfectamente que cualquier medida tomada sobre el terreno debía reducirse a la proyección sobre el plano horizontal de la misma y no sólo por una cuestión de exactitud, sino por mera causa de justicia:

“Cual es la razón de allanar a nivel se cuestiona a menudo, cuando abarcamos una extensión de suelo inclinada, de modo que forzamos, mientras sometemos los lados a medición, a que la desigualdad de las pendientes sea plana. En efecto, allanamos a nivel el campo más elevado y lo reducimos a la igualdad de la planicie.

La naturaleza misma de las semillas nos mostró dicha razón: porque no se podría reducir de forma correcta aquella desigualdad del suelo, a no ser porque todo lo que surge de la tierra sigue la vertical en el aire y al crecer disminuye aquella oblicuidad de la tierra y no ocupa mayor espacio que si brota de un llano.

*Si todas las semillas nacieran perpendiculares a la ladera mediríamos según la configuración del lugar; pero puesto que la ladera no da capacidad a más hileras de árboles que la superficie correspondiente en un terreno llano, se nivelará a escuadra con precisión”*⁹.

De esta forma representaban el terreno dibujando la planimetría resultante de sus labores mensurarias con la misma exactitud que hemos conocido nosotros. También formaban los mapas y planos de forma que pudiera medirse sobre ellos correctamente y trasladarse de nuevo cualquier dato al terreno si ello fuera necesario, los límites establecidos o las líneas que interesasen en cualquier trabajo topográfico encomendado.

El conjunto de los conocimientos científicos que poseían, combinados con las técnicas adecuadas para su aplicación, permitía al técnico romano desarrollar una labor topográfica excelente. Para ello necesitaron también de instrumentos de suficiente precisión, con los que sin duda contaron, pues de otro modo no se hubieran podido llevar a cabo las impresionantes obras que hemos conocido procedentes de aquella civilización.

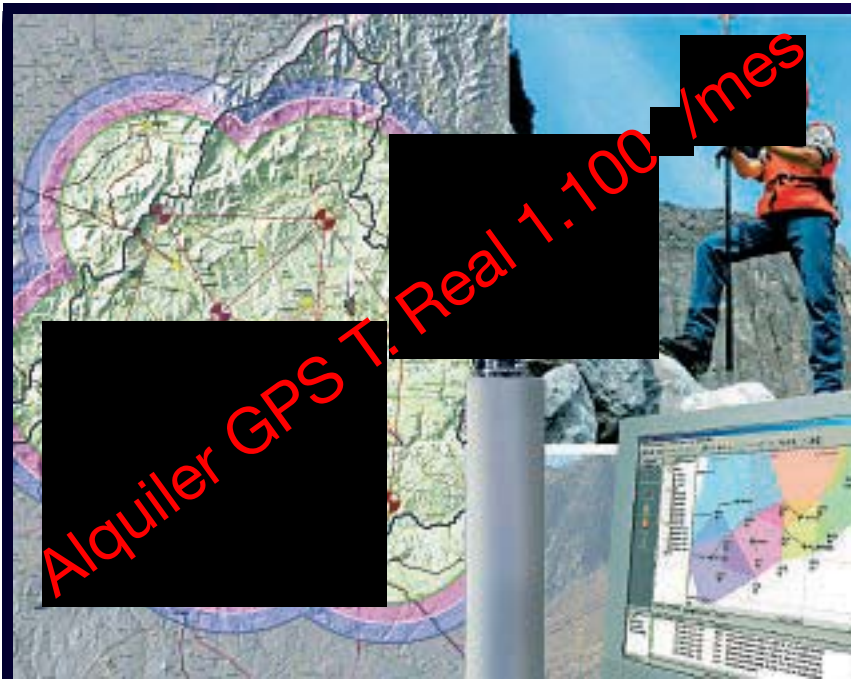
Larguísima acueductos de cien kilómetros de longitud, con pendientes muy bajas escrupulosamente establecidas en toda su longitud y muchas veces constantes en largos tramos. Extraordinarias alineaciones rectas en las carreteras que en ocasiones superaban los cincuenta kilómetros, largas presas de fábrica que debían derramar las aguas sobrantes por un punto determinado y a un nivel de llenado determinado. Grandes extensiones encharcadas, enormes en ocasiones, desecadas mediante drenaje superficial, con rotura del endorreísmo mediante canales de gran longitud y enorme costo, pero precisamente trazados y nivelados. Nada de esto puede ser fruto de la casualidad, si no de una ciencia topográfica muy bien desarrollada, precisa y avanzada, como la que dispusieron los romanos.

⁹ FRONTINO. *De limitibus*. 26.

(Continuará) 

⁷ PÁEZ CANO, R. 2003: *La esfera. La tierra plana medieval como invención del siglo XIX*. Tesis de Maestría en Comunicación, ITESO. Guadalajara, México. 150 pág. Rubén Páez Kano, es investigador del Instituto Tecnológico y de Estudios superiores de Occidente (ITESO), en Méjico.

⁸ FISCHER, I. 1975, p. 152-167: *Another look at Erathosthenes' and Posidonius' Determinations of the Earth's Circumference*. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, vol. 16.



GPS TIEMPO REAL CENTIMETRICO

IBEREF MADRID

Red de estaciones de referencia

- *Duplique su productividad*
- *Convierta sus Referencias en móviles*
- *Trabaje a más distancia con más precisión*
- *Olvídese de vigilar sus Referencias*

en Madrid y Toledo



ESTACION TOTAL

SmartStation

Serie 1200

Serie 800 - 700 - 400



NIVEL

NA2/NAK2

DNA10/03

RUGBY 100/200

RUGBY 300/400

ACCESORIOS Y SERVICIOS. DISTO SOFTWARE MATERIAL DE MARCADO SERVICIO TÉCNICO

ACRE

Leica
Geosystems

902 490 839 / 617 326 454
 informacion@acre-sl.com
 www.acre-sl.com
 www.laserescaner.com

Alquiler y Venta

Autovia A-42.
 Km 35-36. Salida Yeles
 Nave 13
 Illescas - Toledo

Control y análisis de los hundimientos del terreno ocasionados por la extracción de agua por bombeo en el área de Tesalónica (Grecia)

Ioannis D. Doukas, Ioannis M. Ifadis, Paraskevas Savaidis
UNIVERSIDAD ARISTÓTELES DE TESALÓNICA (GRECIA)

Resumen

La extracción de agua por bombeo es una de las diversas causas serias capaces de originar el hundimiento de terrenos. La extracción por bombeo de grandes volúmenes de agua (p.e. para regadíos o a efectos de drenaje de los terrenos) empleando perforaciones, tiene muchas posibilidades de originar un hundimiento del terreno, fenómeno que empeora al continuarse la extracción del agua. Las consecuencias de este fenómeno pueden ser peligrosas, sobre todo si el hundimiento del terreno no se distribuye uniformemente sobre la zona afectada por el problema.

A partir de la década de 1950, el servicio público del suministro de agua a la ciudad de Tesalónica (OYT) estableció una serie de estaciones para la extracción de agua por bombeo en el área industrial de la comunidad de Kalohori (a 15 Kilómetros al Oeste de la ciudad de Tesalónica). El número de estaciones establecidas desde 1950 a 1980 fue de 51. Hoy en día el número de estaciones operativas de forma continua es de 8. Además, existen más de 700 plantas industriales, muchas de las cuales disponen de sus perforaciones privadas para la extracción de agua por bombeo. Se estima que el número de estas perforaciones es superior a las 200. Aunque la cantidad de agua bombeada por las estaciones del OYT está controlada de forma continua, sólo existe una estimación aproximada del agua bombeada por las estaciones de extracción privadas.

La zona de Kalohori sufre un hundimiento del terreno que origina diversos problemas en el medio ambiente local. Con el fin de monitorizar estos fenómenos, en 1992 se estableció una red de nivelación, consistente en 32 estaciones distribuidas por toda la zona. La región que está siendo investigada es de aproximadamente 12.000.000 m² (3 km x 3,5 km). En los últimos diez años la red de nivelación de control ha sido medida varias veces. La evaluación de las mediciones geodésicas muestra que el mayor hundimiento se produjo en el área al sureste de Kalohori, en la que se detectó una velocidad de hundimiento del terreno de 2,8 a 5 cm/año. Más aún, parece existir una fuerte correlación entre el hundimiento del terreno y el tiempo, hecho que parece atribuirse directamente a la intensa extracción de agua por bombeo de tantas industrias sobre una zona relativamente pequeña.

Abstract

Water pumping is one among several serious causes capable to cause ground subsidence. The pumping of large volumes of water (e.g. for irrigation and water draining purposes) by using ground drillings is very possible to produce ground subsidence, a phenomenon which usually gets worse as water pumping continues. The consequences of such phenomena may be dangerous, especially when the ground subsidence is not smoothly distributed in the problematic area.

Starting from the decade of 1950, the public service of water supply of the city of Thessaloniki (OYT) established water-pumping stations, in the industrial area of the community of Kalohori (15 Km West of the city of Thessaloniki). The number of these pumping stations was 51 from 1950 to 1980. Nowadays, the number of stations operational on a continuous base is 8. Also, there are more than 700 industrial plants, many of them having their private water drillings. The number of these drillings is estimated to be more than 200. Although the amount of water pumped by OYT stations is under continuous monitoring, there is only a rough estimation of pumped water regarding the private water pumping stations.

The Kalohori area suffers from ground subsidence that causes several problems to local environment. In order to monitor these phenomena, a leveling network consisted of 37 stations was established within this area in 1992. The region under investigation is approximately 12,000,000 m² (3 Km X 3.5 Km). The control network was measured several times in a period of ten years. The evaluation of the geodetic measurements shows that the greatest subsidence occurred in the SE area of Kalohori, where a subsidence speed of 2,8 - 5 cm/year was detected. Furthermore, a strong correlation between ground subsidence and time seems to exist in this area, a fact that could be directly attributed to the extensive pumping of water by many industries in a relatively small area.

I. INTRODUCCIÓN

Los problemas más serios relacionados con la excesiva extracción de agua por bombeo (lo que también se conoce como minería de acuíferos) son los siguientes (Dripps, 2002):

- Hundimientos
- Elevados costes de bombeo
- Disminución de la superficie interior de agua
- Degradación de la calidad del agua.

Se puede definir el hundimiento del terreno como unos pequeños movimientos verticales del terreno hacia abajo. Son diversas las causas físicas que pueden originar el hundimiento del terreno (del tipo de terremotos, movimientos tectónicos, cavidades subterráneas, etc.), así como también las actividades humanas. Las actividades humanas más importantes a las que nos podemos referir, y que obviamente son los principales componentes del crecimiento urbano y de la industrialización, son (Poland, 1984, Vanicek y al. 1982, Leonard y al. 1983, Ajalloeian y al. 1998):

- Excavación de túneles
- Extracción de minerales de las minas subterráneas
- Bombeo de gas o petróleo
- Extracción de agua subterránea por bombeo.

Los factores que contribuyen a la evolución del proceso del hundimiento del terreno son:

- Existencia de discontinuidades geológicas
- Humedad de la superficie del terreno
- Nivel del agua subterránea
- Tipo de rocas existentes.

Es importante mencionar aquí que, incluso si en la mayoría de los casos, son semejantes los factores responsables de los hundimientos del terreno, las combinaciones específicas de sus causas, físicas y no físicas, componen en cada caso de hundimiento del terreno, un conjunto único de características. En consecuencia, como regla, se necesita considerar cada caso de hundimiento del terreno como un caso especial.

Es muy posible que la extracción por bombeo de grandes volúmenes de agua subterránea ocasione el hundimiento del terreno y que dicho hundimiento normalmente continúe evolucionando con la extracción de agua. En la mayoría de los casos se desarrollan lentamente (incluso casi imperceptiblemente) unas cuencas de hundimiento muy ligeras, pero que se extienden sobre áreas muy extensas. Este fenómeno no es reversible y sus resultados pueden ser peligrosos, sobre todo cuando el hundimiento no se distribuye uniformemente sobre el área afectada.

Existen múltiples zonas de la superficie terrestre afectadas por este problema. La ciudad de Bolonia, en Italia, ha experimentado un hundimiento del terreno ocasionado por la extracción de agua por bombeo en su

zona noroeste (Barbarella y al. 1986). Su magnitud ha sido de 2 metros durante los últimos 30 años. Estos hundimientos, en combinación con las particularidades geológicas de la zona, han ocasionado problemas de deformaciones en los edificios históricos de la ciudad. Grandes áreas de los EE.UU. de América (Texas, California, Arizona, Nevada, etc.) sufren serios problemas relacionados con el abuso de extracción de agua de los acuíferos (Blodget y al. 1990, Carpenter 1993, Epstein 1987, Galloway y al. 1995, Holzer y al. 1979, Jones y al. 1975, Metzger y al. 2001, Sneed y al. 2001, Sneed y al. 2002). En el norte de China, el nivel freático del agua ha descendido de 8 a 50 metros durante los últimos 30 años (Dripps 2002, Chen y al. 2003). El motivo más común de estos fenómenos es la extracción de agua por bombeo. En varias zonas de Méjico el hundimiento del terreno de 1930 a 1960 ha sido de 7,5 metros y su origen está en la extracción de agua por bombeo. En Italia y a lo largo de la costa del Adriático el hundimiento del terreno ha sido de 1 metro desde 1950 (Dripps 2002).

2. ALGUNOS DATOS HISTÓRICOS

La comunidad de Kalohori y su zona rural pertenecen al municipio de Tesalónica y están situados al oeste de la ciudad de Tesalónica (figura 1). Una gran parte del territorio rural de Kalohori se transformó durante los primeros años de la década de los años 1950 en una zona industrial muy dinámica. El servicio público de suministro de agua a Tesalónica (OYT) estableció diversas estaciones de bombeo de agua en la zona rural de Kalohori. El número de estas estaciones desde 1950 a 1980 fue de 51. Hoy en día el número de estaciones operativas de forma continua es de 8. Además, existen más de 700 plantas industriales, muchas de las cuales disponen de perforaciones privadas para la extracción de agua por bombeo. Se estima que el número de estas estaciones es de alrededor de 300. Aunque la cantidad de agua extraída por las estaciones de bombeo del OYT queda registrada de forma sistemática, no existen datos en lo que respecta a las estaciones privadas.

La altitud media sobre el nivel del mar de la parte norte de la zona rural, dentro del área de estudio, es de aproximadamente de + 2,5 a



Figura 1. Posición geográfica de la zona de Kalohori, en relación con la ciudad de Tesalónica

Período	Fecha
P1	Octubre, 1992
P2	Marzo, 1993
P3	Julio, 1993
P4	Marzo, 1994
P5	Octubre, 1994
P6	Agosto, 1995
P7	Agosto, 1996
P8	Agosto, 1997
P9	Agosto, 1998

Tabla 1. Fechas de cada campaña de nivelación

+ 3,0 metros. La parte sur (que se expande hacia el mar) debería tener una altitud media de aproximadamente 0 metros, con algunas partes de la misma incluso bajo el nivel medio del mar. Esta zona se ha enfrentado en el pasado a diversos problemas, sobre todo debido a las inundaciones (en especial en los años 1968, 1974, 1976, 1979, y 1999).

Con el fin de minimizar estos problemas, se construyó un dique entre el mar y los terrenos costeros (1968) y hasta el año 2000 se realizaron varias mejoras en su construcción. Debido al hundimiento del terreno en la zona mencionada, el OYT extrae en la actualidad unos 5.000 m³ de agua al día, en tanto que la estimación aproximada de la cantidad de agua extraída por bombeo por la industria varía entre los 10.000 y los 30.000 m³ de agua por día.

3. ESTRATEGIAS Y TRABAJOS DE CAMPO

El territorio que está siendo investigado es de aproximadamente 12.000.000 de m² (un área de 3 km x 3,5 km). La monitorización del hundimiento del terreno se está realizando con la ayuda de una red de nivelación de alta precisión, consistente en 37 estaciones distribuidas por toda la zona (denominadas R1, R2, R3,...R37), y que fue establecida en cooperación con el OYT. Se llevan efectuadas 9 campañas de nivelación. Las reglas básicas para la situación de las estaciones de la red fueron que tuvieran una buena disposición espacial, a fin de cubrir toda el área, y que hubiese al menos una estación de la red lo más próxima posible a cada una de las estaciones de bombeo del OYT.

Las seis primeras campañas de nivelación (P1, P2,...,P6) se efectuaron empleando un nivel automático Zeiss Ni 2 con micrómetro óptico y se planificaron en el tiempo para que coincidieran entre o después de las épocas de lluvias o sequías respectivamente. La finalidad básica de esta planificación fue la de ofrecer la posibilidad de realizar un análisis de correlación entre el hundimiento del terreno y la época del año. Cada una de las siguientes tres campañas (P7, P8, y P9) se planificaron para termi-

nar al comienzo del otoño (en los años 1996, 1997 y 1998) y se efectuaron empleando para las mediciones un nivel electrónico Leika NA 3000. En la tabla 1 se indican las fechas de cada campaña de nivelación.

4. ANÁLISIS DE LOS DATOS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En cada periodo de mediciones, la red de nivelación se ajustó por mínimos cuadrados (Van Mierlo 1975, Savvaidis 1992). El error medio cuadrático en altitud y en diferencia de altitudes no superó nunca los $\pm 0,49$ centímetros.

Aunque la red de nivelación establecida al comienzo del proyecto constaba de 37 estaciones, unas pocas de ellas no se incluyen en el análisis final, debido a que, por problemas sobre el terreno, era imposible medirlas en cada campaña de nivelación. En la figura 2 se ilustra la disposición de las estaciones de campo y también se puede ver la relación entre cada estación de nivelación y la de bombeo.

Al final de las mediciones del periodo P4 todas las estaciones de la red parecían sufrir de un hundimiento sistemático del terreno. Tras la con-

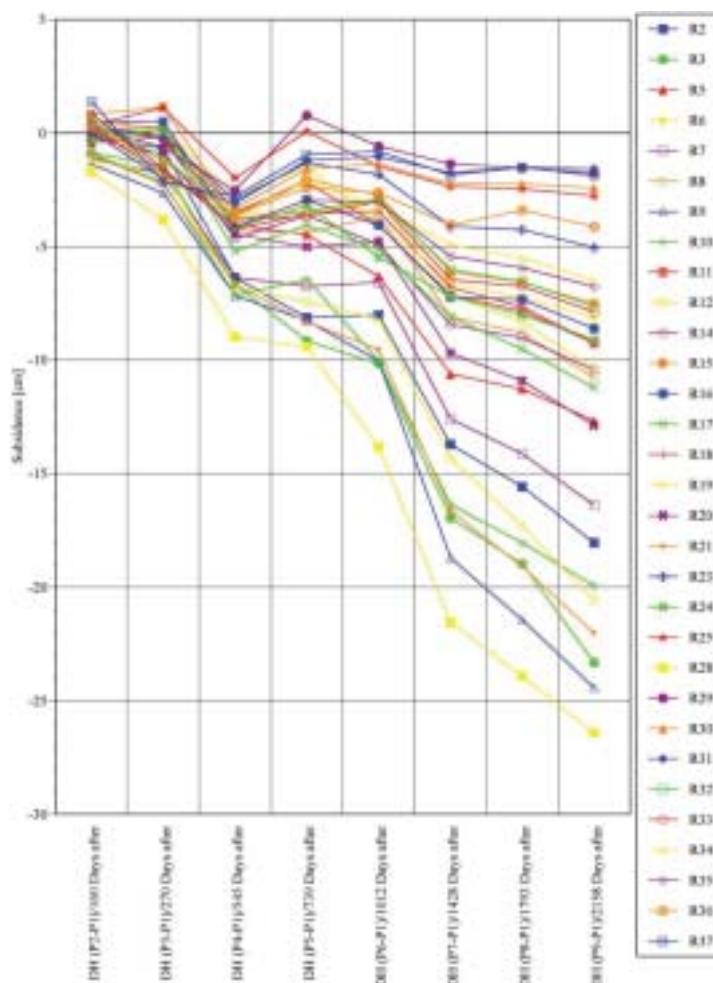


Figura 2. El hundimiento del terreno en los puntos de la red de nivelación de control a lo largo del tiempo



TECNOLOGÍA

INTEGRADA

TODA LA TECNOLOGÍA QUE NECESITA,
INTEGRADA EN UN SOLO SISTEMA

Con la nueva tecnología integrada de IS ROVER ya puede aprovechar todas las oportunidades de trabajo y ejecutarlas con la mayor calidad y rapidez, todo con un único sistema manejado por un solo operador, lo que permite al profesional trabajar con una alta capacidad tecnológica y una mínima infraestructura.

IS ROVER integra: Estación total Trimble S6, receptor R8 GNSS con correcciones de red VRS y controlador de campo TCS2 o CU, todo en un solo Instrumento.

La tecnología integrada de IS ROVER le permitirá rentabilizar más su trabajo aumentando su productividad al simplificar la implantación de equipos de campo y mejorar la metodología de trabajo.

 **Trimble**
AUTHORIZED DISTRIBUTOR


Geo-tecnologías

Santiago&Cintra Ibérica S.A.

Barcelona 93 432 89 62

Madrid 902 120 870

Valencia 96 143 35 37

Sevilla 955 087 289

www.santiagoecintra.es

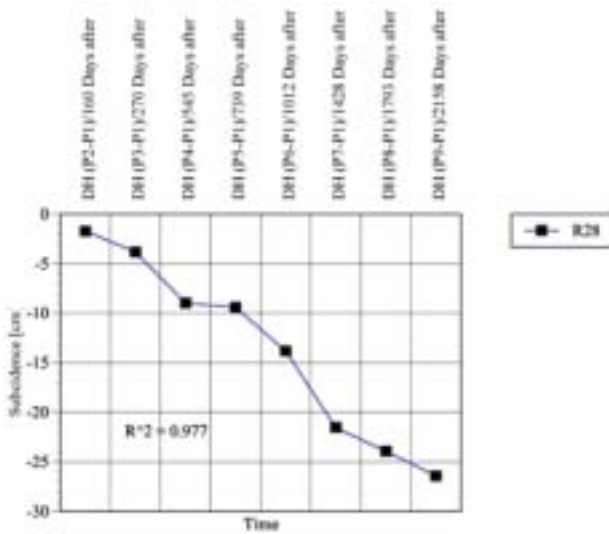


Figura 3. El hundimiento del terreno en el punto R28 de la red de nivelación de control

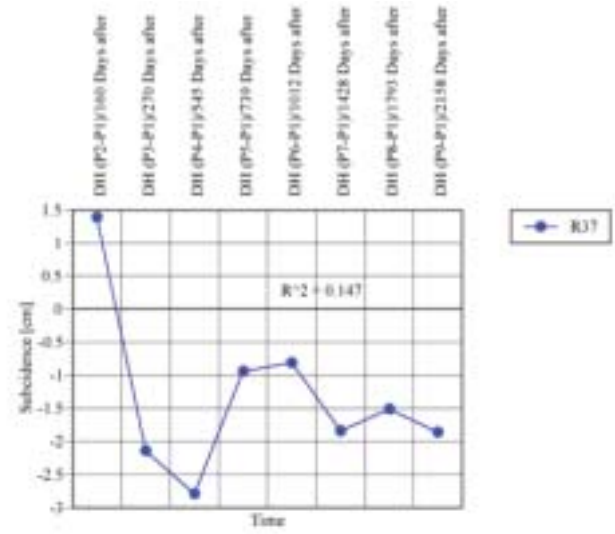


Figura 4. El hundimiento del terreno en el punto R37 de la red de nivelación de control

clusión del periodo P5, el OYT decidió detener el bombeo de agua en algunas de sus estaciones, debido al hundimiento del terreno detectado. El resultado de esta acción es obvio en la figura 2, donde tenemos un grupo de estaciones de la red que muestran un notable descenso en su ritmo de hundimiento. Por otro lado, la mayoría de las estaciones de la red de nivelación que se hallan próximas a las estaciones de extracción de agua por bombeo privadas pertenecen a otro grupo, en el que se continúa el incremento del hundimiento del terreno.

Si se eligen dos estaciones de la red representativas de los dos grupos arriba mencionados, se puede observar que la estación R28 muestra un creciente hundimiento del terreno, con un coeficiente de correlación >90, durante todo el periodo de la investigación. La estación R28 se encuentra cerca de una estación de extracción de agua por bombeo privada. Por otro lado, la estación R37 muestra que cuando se detuvo el bombeo de agua por parte del OYT el hundimiento del terreno cambió de dirección y tras el periodo P7 mostró un comportamiento estabilizado (figura 4).

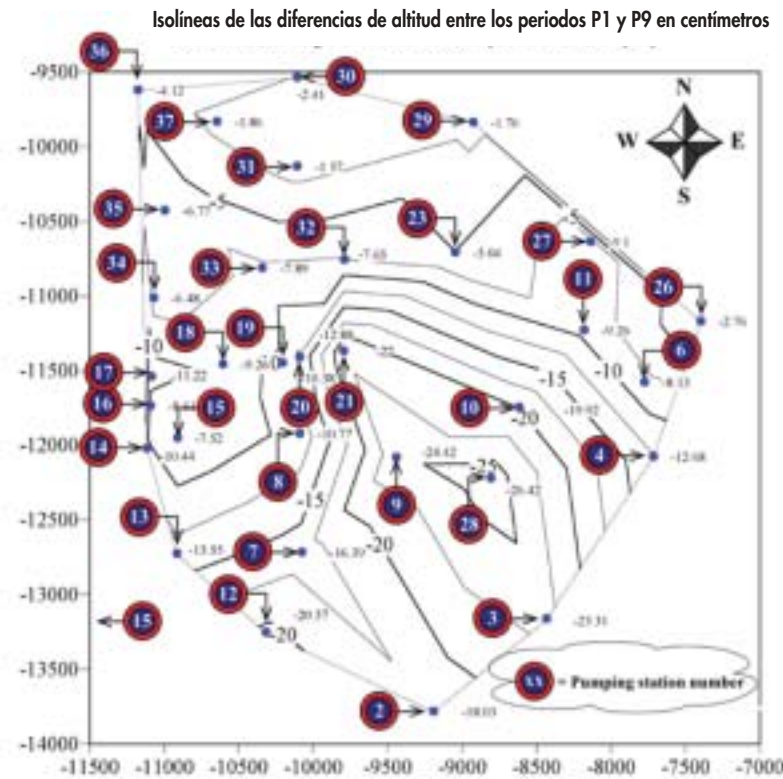


Figura 5. Las estaciones de la red de nivelación de control y las isóneas del hundimiento del terreno (entre los periodos P1 y P9)

Un estudio y comparación de las altitudes observadas en las distintas épocas, y en especial entre los periodos P1 y P9 (figura 5), muestra que, en seis años aproximadamente, el hundimiento del terreno es casi nulo en la zona noroeste, sobre la que se sitúan la mayoría de las estaciones de bombeo del OYT que se clausuraron. En cambio, en la zona sureste, donde la mayoría de las estaciones de bombeo son privadas (y en consecuencia fuera del control público efectivo), se presentan los hundimientos del terreno más importantes. En las figuras 6 y 7 se ilustran estas formaciones de hundimiento del terreno de distintas formas y se llega a una imagen global final de los problemas del hundimiento del terreno en el área de Kalohori. En cualquier caso, existe el mismo comportamiento de hundimiento del terreno en la comparación de cada dos periodos de mediciones.

La comparación entre los primeros y los últimos periodos (es decir entre el P1 y el P2) muestra casi las mismas características de formación en los hundimientos del terreno que cuando se comparan, por ejemplo, el P3 y el P1, o el P4 y el P1, etc. La única diferencia

tiene que ver con los valores absolutos del hundimiento del terreno, ya que son mayores en localizaciones específicas según va pasando el tiempo.

5. CONCLUSIONES

Los fenómenos de hundimiento del terreno detectados en la zona de Kalohori (a partir de 1950) son el resultado de un mecanismo complicado que necesitaba ser investigado de forma sistemática y multispecializada, basándose en un programa de observaciones a largo plazo. Teniendo en cuenta todas las posibles causas (Metzger y al. 2001), las más significantes parecen ser la estructura geológica y la extracción de agua por bombeo. Con unos mecanismos tan complejos de hundimiento del terreno, los métodos clásicos geodésicos, tales como la nivelación, son sólo un componente de la metodología disponible (Ge Li y al. 2001, Amelung y al. 1999, Broker y al. 1985, Fruneau y al. 2000, Najjar y al. 1993, Ng y al. 1995, Sneed y al. 2001, Sneed y al. 2002).

La evaluación de las mediciones geodésicas (efectuadas entre 1992 y 1998) muestra que el mayor hundimiento del terreno sucedió en la zona suroeste, en donde se detectó un hundimiento del terreno de 16,8 a 26,4 centímetros, equivalente a una velocidad de hundimiento de unos 2,8 a 5 centímetros por año. Más aun, en esta área existe una fuerte correlación entre el hundimiento del terreno y el tiempo, hecho que muestra una conexión directa con la presencia de muchas industrias (con-

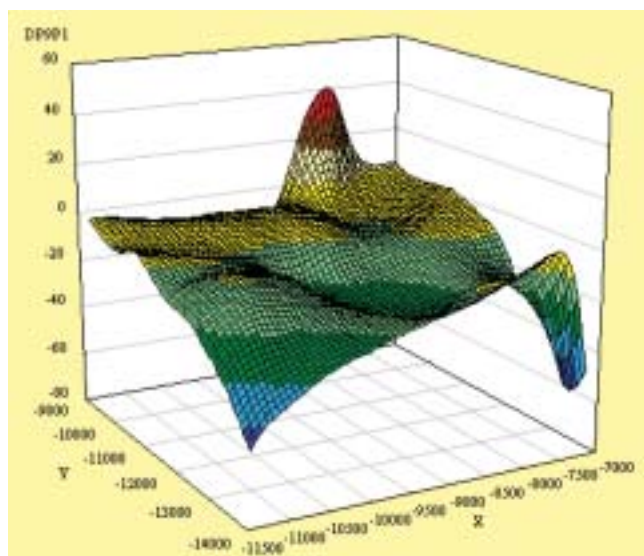


Figura 7. El hundimiento del terreno entre los periodos P1 y P9 (mapa de isolíneas tridimensional)

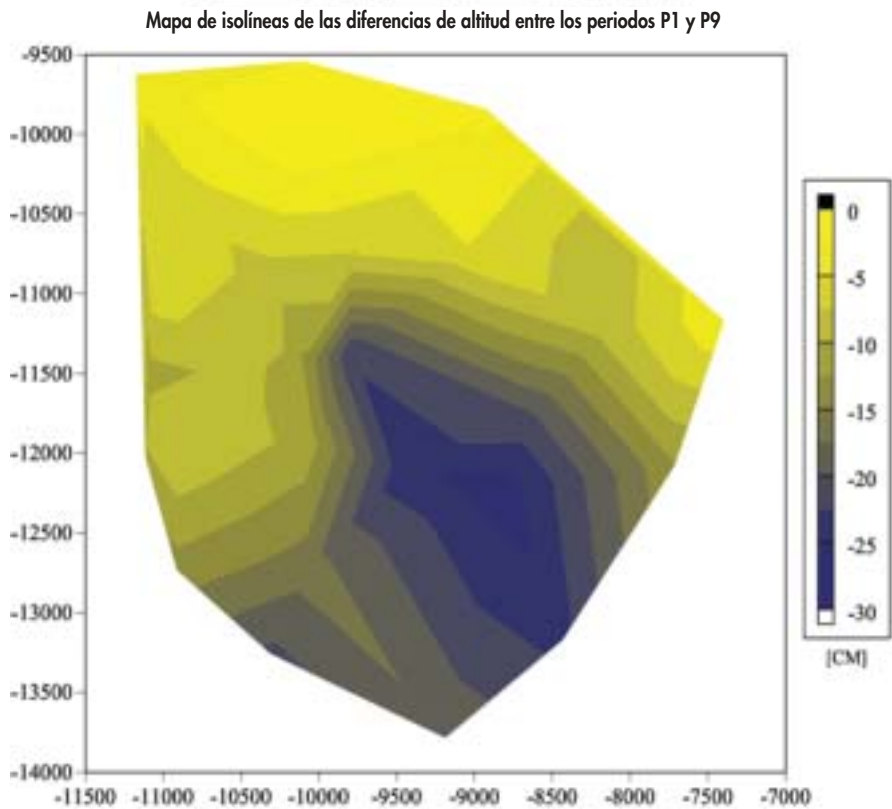


Figura 6. El hundimiento del terreno entre los periodos P1 y P9 (mapa de isolíneas)

centradas en un área relativamente pequeña) y los volúmenes de extracción de agua que bombean (fuera del control público). Por el contrario, más allá del lado oeste de la ciudad de Kalohori, que es donde se encuentra la mayoría de las estaciones de bombeo del OYT, los fenómenos de hundimiento del terreno son más ligeros (varía de 1 a 7 centímetros, es decir, una velocidad de hundimiento de apenas 0,2 a 1,2 centímetros por año). En esta área, exceptuando las estaciones de bombeo del OYT, existen también algunas estaciones de bombeo privadas, que bombean un volumen de agua desconocido. A partir de 1994, y debido a la reducción del bombeo de agua por parte de las estaciones del OYT, este territorio específico muestra una estabilidad considerable.

Hasta ahora, los fenómenos de hundimiento del terreno tienen una distribución uniforme en la zona que se ha investigado, sin valores muy diferenciados del resto. La parte suroeste muestra intensas formaciones de hundimiento del terreno y, si tenemos en cuenta que incluye a una zona costera a lo largo de los diques, existe un serio riesgo de inundaciones. Más aun, una excesiva extracción de agua por bombeo podría ocasionar una reversión del gradiente natural. Esta eventualidad ocasionaría la intrusión de agua del mar dentro del acuífero.

Las campañas de nivelación necesitan proseguir durante los próximos años (al comienzo del otoño cada año), en adición al establecimiento de un sistema de control público para regular la extracción de agua por bombeo privada. Adicionalmente, se planea aplicar técnicas más avanza-

das, como el GPS y los SIG (Bitelli y al. 2000, Blodgett y al. 1990, Ge Li y al. 2001, Laboratorio de Geodesia 1996), en combinación con campañas de nivelación, con el fin de expandir los horizontes de esta investigación.

REFERENCIAS

- Ajalloeian, R., Bahadoran, B. (1998). "Ground subsidence due to percolating and pumping water (case studies in Iran)". The 19th Asian Conference on Remote Sensing, November 16-20, 1998, Manila.
- Amelung, F., Galloway, L. D., Bell W. J., Zebker A. H., and Lacznik J. R. (1999). "Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation". *Geology*, Volume 27, No. 6, p. 483-486.
- Augarth, W. (1986). "The determination of recent crustal movements in Western Europe. Recent state, problems and future activities". Conference: Height determination and recent vertical crustal movements in Western Europe, p. 475-485, Hannover.
- Barbarella, M., Gubellini, A., Russo, P., and Vettore, A. (1986). "Time series analysis by collocation on the vertical movements of the Asinelli Tower in Bologna". Conference: Height determination and recent vertical crustal movements in Western Europe, p. 687-702, Hannover.
- Bitelli, G., Bonsignore, F., and Unguendoli, M. (2000). "Leveling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley". *Journal of Geodynamics*, Volume 30, No. 3, p. 355-369, Elsevier Science Ltd.
- Blodgett, J.C., Ikehara, M. E., and Williams, G.E. (1990). "Monitoring land subsidence in Sacramento Valley, California, using GPS". *Journal of Surveying Engineering*, Volume 116, No. 2, p. 112-130.
- Booker, J.R., Small, J.C., and Carter, J.P. (1985). "Prediction of subsidence caused by pumping of groundwater". 21st Congress of the International Association of Hydraulic Engineering and Research, p. 130-134, Melbourne.
- Carpenter, M.C. (1993). "Earth-fissure movements associated with fluctuations in groundwater levels near the Picacho Mountains, south-central Arizona, 1980-84". Professional Paper 497-H, US Geological Survey, p. 116.
- Chen, C., Pei, S., and Jiao, J. (2003). "Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou, China". *Hydrogeology Journal*, Volume 11, No. 2, p. 275-287, New York, Springer-Verlag.
- Dripps, W. (2002). *Global Water Issues*, Class Notes 9/24/02, Department of Earth and Geographic Sciences, University of Massachusetts, Boston.
- Epstein, V.J. (1987). *Hydrologic and geologic factors affecting land subsidence near Eloy, Arizona*. Water-Resources Investigations Report 87-4143, US Geological Survey, p. 28.
- Fruneau, B., Sarti, F. (2000). "Detection of ground subsidence in the city of Paris using radar interferometry: isolation of deformation from atmospheric artifacts using correlation". *Geophysical Research Letters*, Volume 27, No. 24, p. 3981-3984.
- Galloway L. D., Phillips, S. P., and Ikehara, M. E. (1995). "Land subsidence and its relation to past and future water supplies in Antelope Valley, California. Land subsidence: Case histories and current research". Proceedings of the Dr. Joseph F. Poland Symposium, California, Special Publication No. 8, Star Publishing Company, Belmont CA.
- Ge Li, Chang, Hs., Janssen, V., and Rizos, C. (2001). "Integration of GPS, radar interferometry and GIS for ground deformation monitoring. Satellite Navigation And Positioning Group", p. 8, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales
- Holzer, T.L., Davis, S.N., and Lofgen, B.E. (1979). "Faulting caused by ground-water extraction in south-central Arizona". *Journal of Geophysical Research*, Volume 84, No. B2, p. 603-612.
- Jones L, Larson, J. (1975). "Economic effects of land subsidence due to excessive groundwater withdrawal in the Texas gulf coast area". Technical Report No. 67, Texas Water Resources Institute, Texas ARM University.
- Laboratory of Geodesy (1996). "Monitoring of ground subsidence in the area of Kalohori by using a high precision leveling control network". Technical Report No. 2853, Research Committee, Aristotle University of Thessaloniki, p. 157.
- Leonhard, Th., Niemeier, W., and Pelzer, H. (1983). "Determination of vertical crustal movements from different regional levelings". Workshop on Precise Leveling, Hannover, p. 451-466.
- Metzger, F. L., Ikehara, M. E., and Howle, F. J. (2001). "Vertical-deformation, water-level, microgravity, geodetic, water-chemistry, and flow-rate data collected during injection, storage, and recovery tests at Lancaster, Antelope Valley, California, September 1995 through September 1998". U.S. Geological Survey, Open-File Report 01-414, p. 159.
- Najjar, Y., Zaman, M. (1993). "Surface subsidence prediction by nonlinear finite-element analysis". *Journal of geotechnical engineering-ASCE*, Volume 119, No. 11, p. 1790-1804.
- Ng, C., Mei, C. (1995). "Ground subsidence of finite-amplitude due to pumping and surface loading". *Water Resources Research*, Volume 31, No. 8, p. 1953-1968.
- Ngecu, W. M., Nyambok, I. O. (2000). "Ground subsidence and its socio-economic implications on the population: a case study of the Nakuru area in Central Rift Valley, Kenya". *Environmental Geology*, Volume 39, No. 6, p. 567-574.
- Poland, Joseph F. (1984). "Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal". International Hydrological Programme Working Group 8.4, Unesco, Studies and Reports in Hydrology No. 40, p. 305, Paris.
- Savvaidis, P. (1992). "Program NetS for the adjustment of geodetic control networks", Scientific Papers of the School of Technology, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.
- Sneed, M., Ikehara, M. E., Galloway L. D., and Amelung, F. (2001). "Detection and Measurement of Land Subsidence Using Global Positioning System and Interferometric Synthetic Aperture Radar, Coachella Valley, California, 1996-98". Water Resources Investigation Report 01-4193, U.S. Geological Survey, p. 31.
- Sneed, M., Stork, S.V., and Galloway L. D. (2002). "Detection and Measurement of Land Subsidence Using Global Positioning System and Interferometric Synthetic Aperture Radar, Coachella Valley, California, 1998-2000". Water Resources Investigation Report 02-4239, U.S. Geological Survey, p. 31.
- Vanicek, P., Krakiwsky, E.J. (1982). *Geodesy, the concepts*. North Holland.
- Van Mierlo, J. (1975). "Statistical analysis of geodetic networks designed for the detection of crustal movements". Book: Progress in Geodynamics, p. 52-61, North Holland Publ. Co.
- Watt, I. (1981). "Absolute datum selection and the representation and interpretation of subsidence in dolomitic mining areas, heaving clays and major structures sited in soil foundations". 2nd International Symposium of Deformation Measurements by Geodetic Methods, Bonn, Germany, p. 589-603. ■

Geo center

VENTA

ESTACIONES - NIVELES OPTICOS
NIVELES LASER - ACCESORIOS

Nuevo programa **POCKET DATA** sobre
WINDOWS CE (adaptable a cualquier PDA)

ALQUILER

GPS - ESTACIONES - NIVELES OPTICOS
NIVELES LASER

¡¡LLAMENOS!!

siempre tenemos
estaciones disponibles

SERVICIO TECNICO

NUEVOS SERVICIOS

Calibraciones 24 horas
Calibración cita previa
Contratos de mantenimiento a medida



Leiny

**Geo
center**

 **Trimble**
AUTHORIZED DISTRIBUTOR

Legislación

ORDEN EHA/3482/2006, de 19 de octubre, por la que se aprueban los modelos de declaración de alteraciones catastrales de los bienes inmuebles y se determina la información gráfica y alfanumérica necesaria para la tramitación de determinadas comunicaciones catastrales.

El texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo, establece en su artículo 13.1 que las declaraciones por las que se manifiesta o reconoce ante el Catastro Inmobiliario que se han producido las circunstancias determinantes de un alta, baja o modificación de la descripción catastral de los inmuebles, se realizarán en la forma, plazos, modelos y condiciones que se determinen por el Ministerio de Hacienda (en la actualidad, Ministerio de Economía y Hacienda). Por su parte, el Real Decreto 417/2006, de 7 de abril, por el que se desarrolla la citada disposición legal, prevé la determinación mediante orden del Ministerio de Economía y Hacienda de la forma, modelos, medios y demás condiciones en que deban presentarse las declaraciones catastrales. La aprobación de estas normas y de la Ley 58/2003, de 17 de diciembre, General Tributaria, determina la necesidad de elaborar nuevos modelos de declaraciones catastrales adaptados a la nueva normativa catastral y tributaria, lo que se hace mediante la presente orden.

Junto con la citada adaptación a la nueva normativa, esta orden introduce una radical simplificación de los modelos para facilitar el cumplimiento por los ciudadanos de las obligaciones tributarias ante el Catastro. Para ello, se han diseñado unos nuevos modelos de muy fácil cumplimentación, en los que, además, se describen de forma clara y precisa los documentos que deben acompañar a las declaraciones que deban ser presentadas. Paralelamente, y con idéntico fin, se recogen posibles cauces de colaboración entre distintas instituciones en este ámbito, de forma que fedatarios públicos, gestores administrativos y otros agentes que intervienen en el tráfico inmobiliario, puedan presentar las declaraciones catastrales en representación de los obligados tributarios. También prevé esta orden, como ya hiciera la Orden de 10 de febrero de 1999, a la que sustituye, la posibilidad de presentación telemática de las declaraciones catastrales, respondiendo así a los avances que aporta la tecnología en esta materia.

Además, la redacción de los modelos de declaración en castellano y en la otra lengua cooficial de cada Comunidad Autónoma, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 34.1.d) de la Ley General Tributaria, permitirá el normal ejercicio del derecho de los obligados tributarios a utilizar cualquiera de las lenguas oficiales en el territorio de su Comunidad.

La orden recoge también la posibilidad de modificar los modelos de declaración para acogerse al Sistema de Verificación de Datos de Identidad previsto en el Real Decreto 522/2006, de 28 de abril, por el que se suprime la aportación de fotocopias de documentos de identidad en los procedimientos administrativos de la Administración General del Estado y de sus organismos públicos vinculados o dependientes.

Por otra parte, la presente orden da cumplimiento a la previsión contenida en los artículos 31.2 y 35.3 del Real Decreto 417/2006, de 7 de abril, al recoger la información gráfica y alfanumérica necesaria para la tramitación de las comunicaciones a que se refiere el artículo 14 del texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario en sus apartados b) y c).

Finalmente, el contenido de esta orden ha sido previamente sometido a informe de la Comisión Técnica de Cooperación Catastral. En su virtud, dispongo:

Artículo 1. *Modelos de declaración.*

1. Se aprueban los siguientes modelos de declaración de alteraciones catastrales de los bienes inmuebles urbanos, rústicos y de características especiales, que figuran como anexo de la presente orden:

- a) Modelo 901 N: declaración catastral por alteración de la titularidad y por variación de la cuota de participación en bienes inmuebles.
- b) Modelo 902 N: declaración catastral por nueva construcción, ampliación, reforma o rehabilitación.
- c) Modelo 903 N: declaración catastral por agregación, agrupación, segregación o división.
- d) Modelo 904 N: declaración catastral por cambio de clase de cultivo o aprovechamiento, cambio de uso y demolición o derribo.

2. En las Comunidades Autónomas en las que exista, además del castellano, otra lengua oficial, estarán a disposición de los interesados impresos de los modelos aprobados en las dos lenguas oficiales.

Artículo 2. *Documentación general.*

1. En todas las declaraciones catastrales deberá consignarse el número de identificación fiscal (NIF) o el número de identificación de extranjero (NIE) del declarante y, en su caso, de su representante.

Si no se dispone de etiqueta de identificación fiscal, se aportará fotocopia cotejada del documento expedido por la Agencia Estatal de Administración Tributaria para la constancia del número de identificación fiscal del declarante, o de su documento nacional de identidad (DNI) o, en su caso, del documento oficial en el que conste su número de identificación de extranjero. En los supuestos en que la declaración se presente en las Gerencias o Subgerencias del Catastro o en las Entidades que hayan suscrito con la Dirección General del Catastro

tro un convenio para la tramitación de dicha declaración, bastará la mera exhibición de cualquiera de los citados documentos ante el funcionario del correspondiente registro administrativo.

Asimismo, cuando las declaraciones se presenten por medio de representante deberá aportarse el documento acreditativo de la representación con que se actúe.

2. En caso de que no conste la referencia catastral del inmueble o inmuebles afectados por la declaración en el documento que acredita la alteración, se aportará certificación catastral electrónica obtenida a través de la Oficina Virtual del Catastro (<http://ovc.catastro.meh.es>) o certificación catastral o cualquier otro documento expedido por el Gerente o Subgerente del Catastro en los que conste la referencia catastral o fotocopia del último recibo justificante del pago del Impuesto sobre Bienes Inmuebles.

Artículo 3. Documentación específica.

1. Las declaraciones por alteración del titular catastral y por variación de la cuota de participación en bienes inmuebles (901N) deberán acompañarse de la siguiente documentación:

a) Original y fotocopia o copia cotejada, del documento que acredite la alteración, ya sea escritura pública, documento privado, sentencia judicial, certificación del Registro de la Propiedad, u otros.

b) En aquellos supuestos en los que la adquisición del bien o derecho se hubiere realizado en común por los cónyuges, siempre que el documento en el que se formalice la alteración no acredite la existencia del matrimonio, se aportará, además, original y fotocopia, o copia cotejada, del Libro de Familia o cualquier documento que acredite tal condición.

c) Si se constituye un derecho de superficie o una concesión administrativa sobre parte de un bien inmueble, deberá presentarse también la documentación que refleje la descripción gráfica del inmueble original antes de la constitución de la concesión administrativa o derecho de superficie y la descripción gráfica del inmueble resultante sobre el que recae la concesión administrativa o derecho de superficie, con planos a escala que reflejen todas las cotas necesarias para realizar el cálculo de superficies.

Cuando la modificación de la titularidad o la variación de las cuotas de participación afecten simultáneamente a bienes inmuebles urbanos y rústicos, se presentarán dos declaraciones diferentes, una para cada tipo o clase de los referidos bienes inmuebles. Si la adquisición de todos ellos se ha realizado en virtud de un mismo acto o negocio, será suficiente la aportación de un solo ejemplar de la documentación que preceptivamente debe acompañar a estas declaraciones.

2. Las declaraciones por nueva construcción, ampliación, reforma o rehabilitación de bienes inmuebles (902N) deberán acompañarse de la siguiente documentación:

a) Original y fotocopia, o copia cotejada, del certificado final de obra, visado por el colegio profesional correspondiente o, en su defecto, de cualquier otro documento que permita acreditar la terminación de la obra.

b) Original y fotocopia, o copia cotejada, de la escritura de obra nueva, en caso de que se haya otorgado este documento.

c) Fotografía del edificio completo, realizada en color y tamaño 10 x 15 centímetros. Si el edificio tiene más de una fachada, se aportará una fotografía de cada una de las fachadas. Esta documentación podrá aportarse también en soporte informático, en formato JPG.

d) Plano de emplazamiento, con indicación del nombre de la localidad, de la vía pública y número, representado preferentemente sobre la cartografía catastral obtenida de la Oficina Virtual del Catastro.

e) Plano de la parcela, acotado y superficiado con indicación de la escala, representado también, de manera preferente, en la misma cartografía referida en el apartado anterior.

f) Planos acotados por cada planta del edificio con distinta distribución, de conformidad con la obra realmente ejecutada. En estos planos se representará cada uno de los locales con uso diferenciado, tales como vivienda, garaje o trastero, con expresión de las superficies construidas.

g) Memoria de materiales y calidades del proyecto ejecutado.

h) Documentación acreditativa del coste de ejecución material de las obras.

La documentación prevista en los apartados g) y h) anteriores podrá sustituirse por un certificado del secretario municipal o persona que tenga atribuidas las funciones de fe pública, comprensivo de esta información, o por cualquier otro medio de prueba admitido en derecho que sea suficiente para su acreditación, de conformidad con el artículo 24 del Real Decreto 417/2006, de 7 de abril.

Podrá declararse también en este modelo la división horizontal del inmueble cuando ésta se formalice al mismo tiempo que la obra nueva, ampliación, reforma o rehabilitación, acompañando original y fotocopia, o copia cotejada, de la correspondiente escritura pública. En este caso, la distribución de locales o elementos privativos a representar en cada uno de los planos de planta del edificio será coincidente con la descripción existente en la división horizontal. Asimismo, se representarán gráficamente los espacios correspondientes a todos los elementos comunes con expresión de las superficies construidas.

Si la declaración afecta a trasteros o plazas de estacionamiento en pro indiviso adscritos al uso y disfrute exclusivo y permanente de un titular, se adjuntará también original y fotocopia, o copia cotejada, del documento público acreditativo de dicha adscripción, así como del plano a escala descriptivo de la distribución de los trasteros y plazas de estacionamiento afectados, junto con el cuadro de superficies construidas asignadas a los mismos.

Cuando se trate de un edificio acogido a cualquier régimen de protección pública, se aportará original y fotocopia, o copia cotejada, de la cédula de calificación definitiva.

3. Las declaraciones catastrales por agregación, agrupación, segregación o división de bienes inmuebles (903N) deberán acompañarse de la siguiente documentación:

a) Original y fotocopia, o copia cotejada, del documento que acredite la alteración, ya sea escritura pública, contrato privado, sentencia judicial, certificación del Registro de la Propiedad, u otros.

b) Descripción gráfica de la situación anterior, mediante plano catastral obtenido de la Oficina Virtual del Catastro y planos a escala o croquis que reflejen todas las cotas necesarias para realizar el cálculo de superficies. En caso de imposibilidad de obtener el plano de la Oficina Virtual del Catastro, se podrá aportar croquis de localización, con indicación de municipio, referencia catastral, vía, número, paraje, polígono y parcela.

c) Descripción gráfica de la situación resultante, mediante planos a escala o croquis que reflejen todas las cotas necesarias para realizar el cálculo de superficies. En el caso de división horizontal de un inmueble, se aportarán planos acotados por cada planta del edificio con distinta distribución, en los que se representará cada uno de los locales o elementos privativos, con uso diferenciado, tales como vivienda, garaje o trastero, coincidente con la descripción existente en la división horizontal, así como la representación de todos los elementos comunes, con expresión de las superficies construidas. Si la declaración afecta a trasteros o plazas de estacionamiento en pro indiviso adscritos al uso y disfrute exclusivo y permanente

de un titular, se adjuntará también original y fotocopia, o copia cotejada, del documento público acreditativo de dicha adscripción, así como plano a escala descriptivo de su distribución, con expresión de las superficies construidas.

d) En el caso de agrupaciones y agregaciones en las que la parcela resultante no se vea alterada en su configuración física por incluir de forma íntegra a todas las parcelas agrupadas o agregadas, será suficiente con aportar el plano obtenido de la Oficina Virtual del Catastro, con indicación de las referencias catastrales correspondientes.

4. Las declaraciones por demolición o derribo, cambio de clase de cultivo o aprovechamiento y cambio de uso (904N) deberán acompañarse de la siguiente documentación:

a) Original y fotocopia, o copia cotejada, del documento acreditativo de la alteración, como puede ser la licencia o autorización administrativa, el proyecto visado y un certificado técnico o documento equivalente.

b) Descripción gráfica de la situación resultante cuando se trate de un supuesto de demolición o derribo parcial, y también en los casos de cambio de clase de cultivo o aprovechamiento que afecten solamente a parte de una subparcela y en los cambios de uso o destino que no afecten a todas las construcciones ubicadas en el inmueble, realizada sobre plano catastral obtenido de la Oficina Virtual del Catastro y planos a escala o croquis que reflejen todas las cotas necesarias para realizar el cálculo de superficies. En caso de imposibilidad de obtener el plano de la Oficina Virtual del Catastro, se podrá aportar croquis de localización, con indicación de municipio, referencia catastral, vía, número, paraje, polígono y parcela.

Artículo 4. Modificaciones de la titularidad relacionadas con alteraciones por nueva construcción, ampliación, reforma, rehabilitación, agregación, agrupación, segregación y división.

Cuando se declare, simultáneamente, junto a alguno de los hechos, actos o negocios enumerados en los apartados dos y tres del artículo tercero, una modificación de la titularidad, deberá aportarse, además, original y fotocopia, o copia cotejada, del documento que acredite la alteración, ya sea escritura pública, contrato privado, sentencia judicial, certificación del Registro de la Propiedad, u otros. Si la adquisición del bien o derecho se hubiere realizado en común por los cónyuges, y el documento en el que se formaliza la adquisición no acredita la existencia del matrimonio, se aportará, además, original y fotocopia, o copia cotejada, del Libro de Familia o de cualquier documento que acredite tal condición.

Artículo 5. Elaboración de impresos por las entidades locales.

Las declaraciones catastrales que se presenten en los Ayuntamientos o en otras entidades locales en virtud de convenios de colaboración suscritos con la Dirección General del Catastro podrán formalizarse en impresos elaborados por las citadas entidades, siempre que dichos impresos se ajusten a la estructura y contenido de los modelos que se aprueban mediante la presente orden.

En todo caso, la utilización de estos impresos requerirá autorización expresa de la correspondiente Delegación del Ministerio de Economía y Hacienda.

Artículo 6. Utilización de modelos de declaración de tributos municipales como medio de presentación de declaraciones catastrales.

De conformidad con lo establecido en el artículo 28.3 del Real Decreto 417/2006, de 7 de abril, por el que se desarrolla el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, los modelos de declaración-autoliquidación del Impuesto sobre el Incremento de Valor de los Terrenos de Naturaleza Urbana podrán ser utilizados como medio de presentación de las declaraciones catastrales por alteración de la titularidad y por

variación de la cuota de participación en bienes inmuebles, si así lo prevé la ordenanza fiscal correspondiente, siempre que consten identificados el adquirente y el transmitente, el inmueble objeto de la transmisión, con su referencia catastral, y se haya aportado la documentación prevista en el artículo 3.1.a) y b) de esta orden.

A tal fin, los Ayuntamientos remitirán a las Gerencias o Subgerencias del Catastro copia de la declaración-autoliquidación presentada, que deberá estar firmada por el adquirente, y de la documentación acreditativa referida anteriormente, salvo que exista un convenio de colaboración suscrito con la Dirección General del Catastro para la tramitación de este tipo de declaraciones catastrales, en cuyo caso la información se remitirá en los formatos previstos en el propio convenio.

Artículo 7. Información gráfica y alfanumérica necesaria para la tramitación del procedimiento de comunicación previsto en el artículo 14.b) del texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario.

1. Cuando la comunicación tenga por objeto la realización de nuevas construcciones o la ampliación, rehabilitación o reforma de las ya existentes, ya sea parcial o total, los Ayuntamientos acogidos a este procedimiento deberán poner en conocimiento de la Gerencia o Subgerencia del Catastro competente la siguiente información:

a) Referencia catastral del inmueble o inmuebles afectados por la alteración.

b) Número del expediente de la licencia o autorización otorgada.

c) Fecha de terminación de las obras.

d) Documentación prevista en los apartados c), d), e), f) y g) del artículo 3.2 de esta orden. No obstante, la documentación a que se refiere el citado apartado g) del artículo 3.2 podrá sustituirse por un certificado del secretario municipal o persona que tenga atribuidas las funciones de fe pública, comprensivo de esta información, o por cualquier otro medio de prueba admitido en derecho que sea suficiente para su acreditación, de conformidad con el artículo 24 del Real Decreto 417/2006, de 7 de abril.

e) Coste de ejecución.

f) Si existe división horizontal la distribución de locales o elementos privativos a representar en cada uno de los planos de planta del edificio será coincidente con la descripción existente en dicha división horizontal. Asimismo, se representarán gráficamente los espacios correspondientes a elementos comunes con expresión de las superficies construidas.

Además, se acompañará la relación de los coeficientes de participación de cada uno de los inmuebles que integran los edificios, con indicación de los locales mutuamente vinculados entre sí.

g) Apellidos y nombre o razón social, NIF o NIE y domicilio fiscal de los titulares de los inmuebles. La remisión de esta información tendrá carácter voluntario de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 30.2 del Real Decreto 417/2006, de 7 de abril.

2. Cuando se trate de la demolición o el derribo de las construcciones, o de la modificación de uso o destino de edificios e instalaciones, los Ayuntamientos deberán comunicar la fecha de realización de la demolición o el derribo o, en su caso, la del otorgamiento de la autorización administrativa de la modificación de uso o destino, así como la indicación del nuevo uso o destino autorizado, la referencia catastral del inmueble o inmuebles afectados por la alteración y la documentación gráfica prevista en el artículo 3.4.b) de esta orden.

Artículo 8. Información gráfica y alfanumérica necesaria para la tramitación del procedimiento de comunicación previsto en

el artículo 14.c) del texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario.

1. Cuando el contenido de la comunicación tenga por objeto la resolución de un procedimiento de concentración parcelaria, un deslinde administrativo, una expropiación forzosa, o la ejecución de proyectos de compensación, reparcelación y urbanización, o figuras análogas previstas en la legislación autonómica, las Administraciones públicas actuantes deberán poner en conocimiento de la Gerencia o Subgerencia Territorial del Catastro competente la siguiente información:

- a) Referencia catastral del inmueble o inmuebles afectados.
- b) Fecha de la alteración conforme a lo previsto en el artículo 36 del Real Decreto 417/2006, de 7 de abril.
- c) Descripción parcelaria de la situación anterior, preferentemente mediante plano catastral de la Oficina Virtual del Catastro.
- d) Descripción gráfica de la situación resultante, mediante planos acotados y superficiados.
- e) Apellidos y nombre o razón social, NIF o NIE y domicilio fiscal de los propietarios de los inmuebles resultantes.

2. Cuando el contenido de la comunicación tenga por objeto modificaciones del planeamiento que supongan alteraciones en la naturaleza del suelo, la Administración actuante que haya aprobado definitivamente la figura de planeamiento correspondiente, deberá poner en conocimiento de la Gerencia o Subgerencia Territorial del Catastro competente la siguiente información:

- a) Fecha de aprobación definitiva de la modificación del planeamiento y de su publicación en el Boletín Oficial correspondiente.
- b) Documentación gráfica de la zona afectada, preferentemente mediante plano catastral de la Oficina Virtual del Catastro.
- c) Especificaciones de uso y edificabilidad.

3. Cuando el contenido de la comunicación tenga por objeto la ejecución subsidiaria de obras de rehabilitación, demolición o derribo, derivadas del incumplimiento del deber de conservación de las edificaciones, así como aquellas otras que se deriven del incumplimiento de la función social de la propiedad, la Administración actuante deberá poner en conocimiento de la Gerencia o Subgerencia Territorial del Catastro competente la siguiente información:

- a) Fecha de terminación de las obras.
- b) Plano de emplazamiento, con indicación del nombre de la localidad, de la vía pública y número, representado preferentemente sobre la cartografía catastral obtenida de la Oficina Virtual del Catastro.
- c) Fotografía del edificio completo.
- d) Planos acotados por cada planta del edificio con distinta distribución de conformidad con la obra realmente ejecutada.
- e) Descripción gráfica de la situación resultante cuando se trate de un supuesto de demolición o derribo.

4. Cuando la comunicación tenga por objeto la ocupación directa de terrenos destinados a dotaciones, la Administración actuante deberá poner en conocimiento de la Gerencia o Subgerencia Territorial del Catastro competente la siguiente información:

- a) Referencia catastral del inmueble.
- b) Apellidos y nombre o razón social, NIF o NIE y domicilio fiscal de los propietarios de los inmuebles afectados.

Disposición adicional primera. *Utilización de medios telemáticos.*

Uno. A fin de facilitar a los interesados la cumplimentación de las declaraciones catastrales, los modelos aprobados por esta orden estarán disponibles en la página web de la Dirección General del Catastro (<http://www.catastro.meh.es>).

Dos. La Dirección General del Catastro establecerá las especificaciones y requisitos necesarios para que las declaraciones y comunicaciones a que se refiere esta orden puedan realizarse y notificarse por medios electrónicos, informáticos o telemáticos, siempre que se garanticen la autenticidad, integridad, confidencialidad y no repudio del envío.

Tres. La presentación de la documentación original especificada en los distintos artículos de esta orden se realizará siempre a los meros efectos de su comprobación, devolviéndose al declarante, si así lo solicita en el acto de su aportación, una vez efectuada aquélla. La documentación gráfica se presentará preferentemente en soporte magnético, en formato DXF, DGN, DWG o similar.

Disposición adicional segunda. *Presentación de declaraciones por fedatarios públicos y otras entidades, instituciones y organizaciones.*

Uno. La Dirección General del Catastro podrá celebrar convenios para que los fedatarios públicos, sin perjuicio de la obligación de realizar ante el Catastro las comunicaciones a que se refiere el artículo 14.a) del texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, puedan presentar las declaraciones catastrales correspondientes a aquellas alteraciones inmobiliarias de las que tengan conocimiento como consecuencia de los documentos que otorguen o inscriban, actuando como mandatarios de los obligados tributarios, conforme a los requisitos, condiciones y formatos de entrega de la información que se establezcan, todo ello de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 92 de la Ley General Tributaria.

Dos. También podrán acogerse a esta fórmula de colaboración otras entidades, instituciones u organizaciones representativas de sectores profesionales que intervengan en el tráfico inmobiliario.

Disposición adicional tercera. *Incorporación al Sistema de Verificación de Datos de Identidad.*

Tan pronto se produzca la entrada en vigor de la Orden Ministerial a que se refiere la disposición final primera del Real Decreto 522/2006, de 28 de abril, por el que se suprime la aportación de fotocopias de documentos de identidad en los procedimientos administrativos de la Administración General del Estado y de sus organismos públicos vinculados o dependientes, los modelos aprobados por la presente orden incorporarán una casilla específica donde se hará constar el consentimiento del declarante para que sus datos de identidad personal puedan ser consultados por la Administración catastral mediante el Sistema de Verificación de Datos de Identidad previsto en el citado real decreto.

Disposición derogatoria única. *Derogación normativa.*

Quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo establecido en esta orden y, en particular la Orden de 10 de febrero de 1999, por la que se aprueban los modelos de declaración de alteraciones catastrales concernientes a bienes inmuebles.

Disposición final única. *Entrada en vigor.*

La presente orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

Madrid, 19 de octubre de 2006.—El Vicepresidente Primero del Gobierno y Ministro de Economía y Hacienda, *Pedro Solbes Mira*. ■

Novedades Técnicas

PROYECTO CARTOCIUDAD

El Proyecto CartoCiudad tiene como objetivo la creación de la Base de Datos Oficial de la Administración General del Estado de red viaria, con estructura topológica de SIG, de ciudades y núcleos de población españoles, basada en cartografía digital oficial con viales e información textual, que permitirá la navegación asistida y diversos usos temáticos, con continuidad geográfica asegurada en todo el territorio nacional, utilizando como entramado soporte la base de datos BCN25 del Instituto Geográfico Nacional.

En consecuencia, CartoCiudad pretende conseguir la cartografía digital «oficial» de la AGE, con continuidad asegurada en los ámbitos urbano y rústico, utilizable como información geográfica de referencia por todos.

La producción de la Base de Datos CartoCiudad se realiza a partir de las bases de datos cartográficas oficiales de la Administración General del Estado, que incluyen, para las ciudades y entidades de población españolas, la estructura urbana, las redes viarias y la información toponímica asociada de nombres de calles, numeración de portales, distritos y secciones censales y códigos postales. Por tanto, el proyecto integra y armoniza:

- Información extraída de la Base Cartográfica Numérica a escala 1:25.000 (BCN25) de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN), especialmente la referente a redes hidrográfica y de transportes y a las entidades de población, que actúa como base de referencia para dar continuidad territorial al producto resultante.
- Información cartográfica extraída de los Catastros Inmobiliarios de la Dirección General de Catastro (DGC), especialmente en los correspondientes al ámbito urbano.
- Información sobre nombres de calles obtenida del Censo Electoral mantenido por el Instituto Nacional de Estadística (INE).
- Información sobre distritos y secciones censales del INE.
- Información sobre los distritos postales que elabora y mantiene la Sociedad Estatal Correos y Telégrafos S.A.

Este proyecto se desarrolla mediante un Convenio de colaboración entre la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, la Dirección

General del Catastro, el Instituto Nacional de Estadística, la Dirección General de Modernización Administrativa y la Sociedad Estatal Correos y Telégrafos.

Las funcionalidades que pretende conseguir CartoCiudad son:

- *Búsqueda:* Localización directa de objetos (Nomenclátor-Gazetteer), localización inversa de objetos (Geocoder-Geoparser).
- *Visualización:* Por textos, números, distritos postales y secciones censales.
- *Análisis:* Cálculo de rutas o itinerarios a pie entre dos puntos, cálculo y visualización de zonas de influencia, conexión con bases de datos.

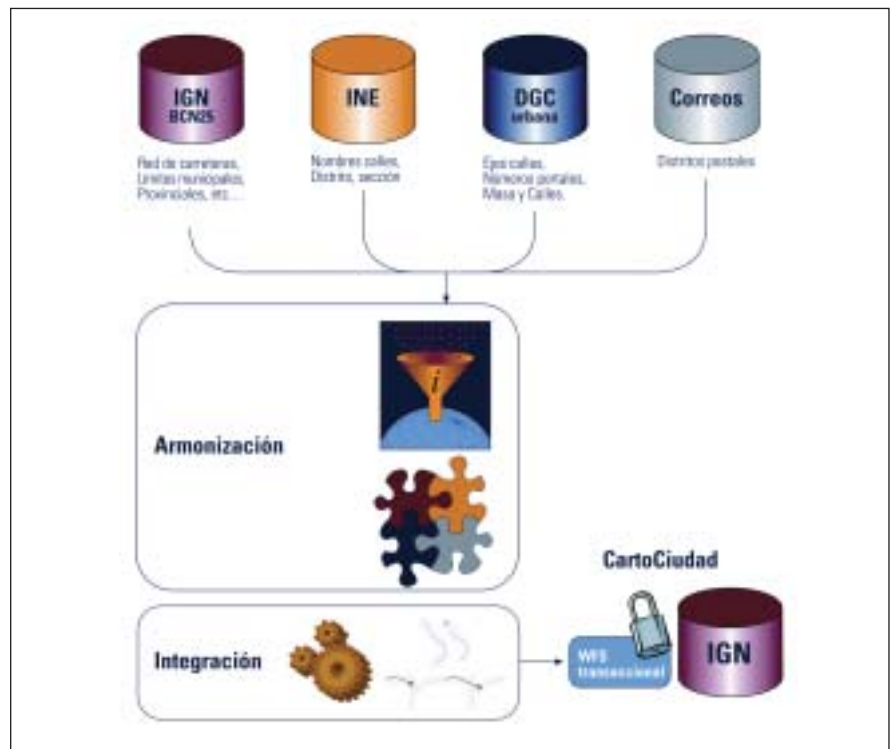
Los criterios de prioridad de actuación están marcados por la finalidad de poder prestar este servicio al mayor número de población posible en el menor plazo de tiempo, considerando también dónde se concentra el mayor número de servicios propios de la AGE. Conforme a esto, y considerando que las ciudades y núcleos de población españoles se agrupan de la siguiente forma:

Núm. de habitantes	Núm. de poblaciones	% de población
> 50.000	124	51,10
> 25.000	238	60,70
> 10.000	650	76,40
> 5.000	1.160	84,90
> 1.000	3.159	96,20

Se ha previsto desarrollar el proyecto en cinco fases, que se desarrollarán en cuatro años.

- ✓ *Primera fase, año 2005:* Definición y análisis de especificaciones metodológicas, y desarrollo de una prueba piloto con cuatro municipios.
- ✓ *Segunda fase, año 2006:* Armonización e integración de los datos, generando el producto CartoCiudad para las capitales de provincia, ciudades de más de 50.000 habitantes y sus entornos continuos urbanos, lo que supone más del 50% de la población.

- ✓ Tercera fase, año 2007: Armonización e integración de los datos, generando el producto CartoCiudad, para las ciudades y núcleos de población de más de 10.000 habitantes.
- ✓ Cuarta fase, año 2008: Armonización e integración de los datos, generando el producto CartoCiudad, para las ciudades y núcleos de población de más de 1.000 habitantes, alcanzando el servicio al 95% de la población.
- ✓ Quinta fase, año 2008: Puesta en total operación del servicio de mantenimiento y actualización de CartoCiudad, basado en el establecimiento de una estructura IDE específica, con servicios WMS y WFS, entre los centros directivos y organismos responsables de los datos originales.



AUTODESK GEOSPATIAL LANZA SUS SEMINARIOS GRATUITOS SOBRE CARTOGRAFÍA Y SIG

Autodesk lanza sus SEMINARIOS GRATUITOS sobre sistemas de creación y gestión de información geográfica (SIG) a los que es posible inscribirse desde hoy mismo en www.autodesk.es/geospatial, llamando al 902 12 10 38 o escribiendo un mail a infospain@autodesk.com.

Todos aquellos que, de una u otra forma, trabajan con información geoespacial (ingenieros, topógrafos, urbanistas, equipos de trabajo que diseñan, gestionan y comparten dicha información, etc.) pueden aprender cómo aumentar la eficiencia en la creación de sus proyectos de cartografía, colaborar eficientemente con el resto de los miembros del equipo para gestionar grandes conjuntos de datos y normas, velar por la seguridad de los mismos o, simplemente, aprender a utilizar y gestionar esa información con las soluciones para Cartografía y SIG.

A través de estos seminarios Autodesk ofrece a los profesionales comprobar cómo las soluciones Autodesk Geospatial (Autodesk Map 3D 2007 y Autodesk MapGuide Enterprise 2007) les ayudan a ser más eficientes, a eliminar errores, a compartir, publicar y revisar sus documentos de diseño de forma más segura y ágil, lo que acarrea, consecuentemente, ahorros económicos.

Estos programas permiten aumentar la productividad, usar simultáneamente archivos de dibujo por parte de múltiples usuarios y la edición de un mapa completo en una única sesión, entre otras posibilidades.

De igual modo, con el uso de las soluciones Autodesk Geospatial la colaboración entre grupos de trabajo es más eficaz incluso en el manejo

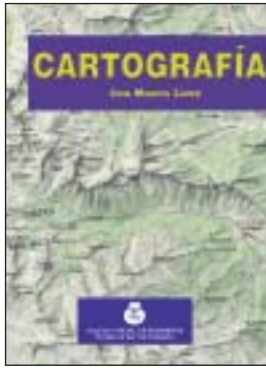
de grandes volúmenes de datos y normas. En concreto, posibilitan la organización de los datos con los archivos SDF de información espacial (que son muy fáciles de gestionar y tienen un alto rendimiento con tamaños de archivo ilimitados) y el mantenimiento de la coherencia y las normas de los archivos de manera que se eliminan errores.

El acceso y la seguridad de los datos de diseño geoespaciales son otra de las características de las soluciones de Autodesk Geospatial. Mediante estas soluciones es posible la conexión a un sistema RDBMS para proteger y extender la información al resto de departamentos sin que peligre la calidad de los datos y no se produzcan errores a la hora de trabajar simultáneamente en distintas versiones.

La integración de la información geoespacial dentro del ERP o CRM que utiliza una empresa también es posible mediante las soluciones Autodesk Geospatial. Si una empresa necesita utilizar información de diseño geoespacial, con las soluciones de Autodesk puede gestionarla e integrarla de forma eficiente en los sistemas TI que utiliza.

Basta con inscribirse. Fruto del apoyo de Autodesk al desarrollo del sector geoespacial, de sus profesionales y herramientas, que responde a la filosofía de la compañía sobre la democratización del saber en el mundo del diseño, se ofrecen estos seminarios de forma totalmente gratuita. Para obtener toda la información se puede visitar www.autodesk.es/geospatial, llamar al 902121038 o mandar un e-mail a infospain@autodesk.com

Libros Técnicos



Título: Cartografía
Autor: José Martín López

33,10 € Ref. 701
(24,10 € colegiados y alumnos E.U.I.T.T.)



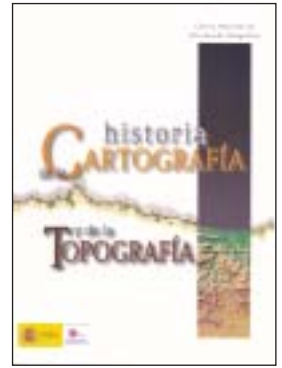
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

21,03 € Ref.: 038



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

27,10 € Ref.: 021



Título: Historia de la Cartografía y de la Topografía
Autor: José Martín López

41,60 € Ref. 039



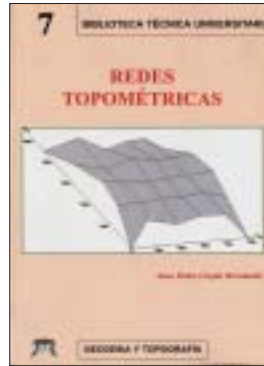
Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital
Autor: José Luis Lerma García

43,34 € Ref. 5006



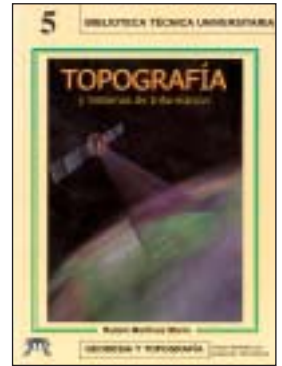
Título: Fotogrametría analítica
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

11,54 € Ref.: 804



Título: Redes Topométricas
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

22,83 € Ref. 6008



Título: Topografía y Sistemas de Información
Autor: Rubén Martínez Marín

18,10 € Ref.: 6006



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

10,20 € Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

11,75 € Ref.: 5003



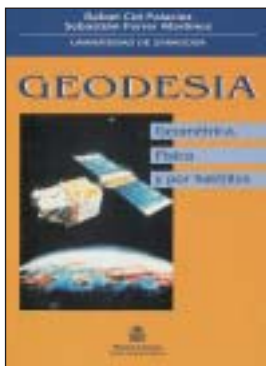
Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

8,70 € Ref.: 5002



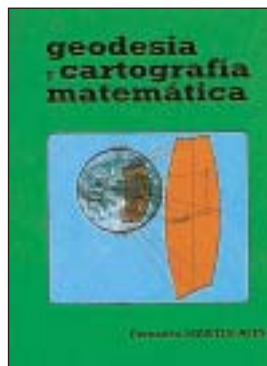
Título: Aerotriangulación: Cálculo y Compensación de un bloque fotogramétrico
Autor: José Lerma García

18,54 € Ref.: 5004



Título: Geodesia (Geométrica, Física y por Satélites)
Autores: R. Cid Palacios y S. Ferrer Mtnez.

24,10 € Ref.: 030



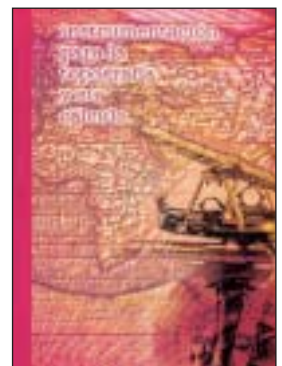
Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

32 € Ref. 205



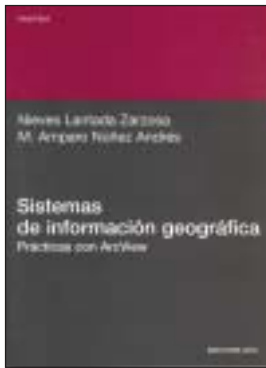
Título: Transformaciones de coordenadas
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

18 € Ref.: 6007



Título: Instrumentación para la Topografía y su cálculo.
Autor: Ignacio de Paz

26,75 € (+CD por 33,70 €)
Ref. 7001



Título: **Sistemas de Información Geográfica Prácticas con ArcView**
 Autores: N. Lantada Zarzosa y M. A. Núñez Andrés
19,00 € Ref. 803



Título: **Topografía de obras**
 Autor: Ignacio de Corral Manuel de Villena
25,00 € Ref. 802



Título: **Topografía subterránea para minería y obras**
 Autor: Ana Tapia Gómez
12,10 € Ref. 801



Título: **Fundamentos Teóricos de los Métodos Topográficos**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
15,70 € Ref. 6002



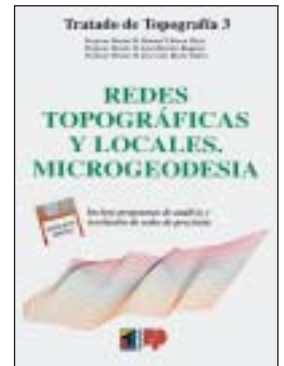
Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
15,70 € Ref. 6003



Título: **Tratado de Topografía 1**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
42,10 € (36,10 € coleg.) Ref. 2001

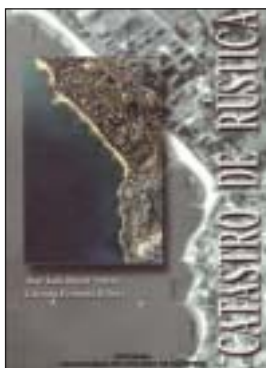


Título: **Tratado de Topografía 2**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
51,10 € (42,10 € coleg.) Ref. 2002

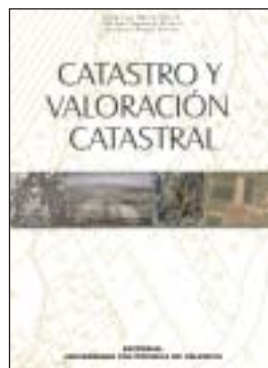


Título: **Tratado de Topografía 3**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
36,10 € (30,10 € coleg.) Ref. 2003

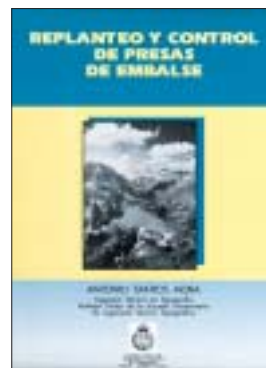
Los tres volúmenes: 129,22 € (90,15 € colegiados)



Título: **Catastro de Rústica**
 Autores: José Luis Berné Valero y Carmen Femenia Ribera
31,68 € Ref. 5005



Título: **Catastro y Valoración Catastral**
 Autores: José Luis Berné Valero, Carmen Femenia Ribera y Jerónimo Aznar Bellver
40,25 € Ref. 5007



Título: **Replanteo y control de presas de embalse**
 Autor: Antonio Santos Mora
12,10 € Ref. 302



Título: **Curso básico de replanteo de túneles**
 Autor: Antonio Santos Mora
9,10 € Ref. 303

Boletín de Pedido a la Revista TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA Avda. de la Reina Victoria, 66, 2.º C – 28003 Madrid
 Teléfono: 91 533 89 65 – Fax: 91 533 46 32

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

Gastos de envío (3 € Europa, para otros países consultar)

Nombre

Dirección Tel.

Ciudad Provincia C.P.

Forma de pago: talón nominativo giro transferencia C/C: 2032-0037-50-3300010988

Remitir justificante de giro o transferencia. **NOTA: Estos precios son con IVA incluido.**

Vida Profesional

XXIII CONGRESO DE LA FIG MUNICH (ALEMANIA)

Entre los días 8 y 13 de octubre se ha celebrado en Munich (Alemania) el XXIII Congreso de la FIG, al cual asistieron, junto a la conferencia INTERGEO y a otros actos que se celebraron de forma simultánea, más de 3000 personas, incluidos los 1300 delegados de más de 100 países. Por su parte, la feria comercial de INTERGEO tuvo 19500 visitantes, que junto a las cifras anteriormente citadas representan las mayores obtenidas nunca por un acto de la FIG en su historia.

Otros actos de este Congreso batieron también registros anteriores de asistencia; por ejemplo, la ceremonia de apertura llenó el aforo

previsto de 1400 personas y la comida de hermandad organizada por INTERGEO y la Fundación de la FIG vendió todas las plazas disponibles en el Löwenbräukeller donde se celebró, asistiendo más de 1800 delegados. También la cena de clausura en el Hofbräuhaus consiguió un lleno total, permitiendo a 600 delegados disfrutar de la hospitalidad bávara.

La ceremonia de apertura comenzó con unas palabras de bienvenida del Dr. Edmund Stoiber, Ministro-Presidente de Baviera, quien destacó lo esencial de la contribución de los topógrafos para el desarrollo de un país, mensaje éste de gran importancia viniendo



Ceremonia de Apertura del XXIII Congreso de la FIG

Con Mutua Madrileña y Aresa
nace un nuevo concepto
de seguro de salud.



Aresa

Asegurar tu coche. Hacer crecer tus inversiones.
Garantizar tu jubilación.

Desde hace 75 años te hemos ofrecido los mejores
seguros para cuidar de todo lo que te rodea.
Hoy damos un paso más, hoy queremos cuidar
de ti y de tu familia.

Por eso, Mutua Madrileña a través de Aresa,
su compañía de asistencia sanitaria, crea un nuevo
concepto de seguro de salud.

Más avanzado, adaptado a tus necesidades,
pensado para ti.

T CANTABRIA
2006
LIÉBANA TIERRA DE JÚBILO

“**MMI MUTUAMADRILEÑA**”
902 130 555 www.grupomutua.es

de un político de alto nivel. A continuación, el Prof. Holger Magel, Presidente de la FIG, dio el discurso presidencial, titulado “*Dando forma al cambio: 2002-2006, El periodo alemán de la FIG*”, enfocado en las políticas seguidas y logros alcanzados por la FIG durante la presidencia alemana. Acto seguido tomó la palabra el Dr. Klaus Töpfer, Director Ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, cuyo discurso, titulado “*Por un mundo más justo: El papel de los topógrafos en el desarrollo sostenible*”, fue considerado por muchos participantes como uno de los mejores de los últimos años. En él unió la medición con la percepción de las ideologías en un mundo como el actual, con cambios sin precedentes, con grandes diferencias económicas, donde dos de cada tres niños nacen en ámbitos urbanos. En Europa, queda por resolver la diferencia de prosperidad entre el este y el oeste, pero en el resto del mundo las diferencias son mucho mayores. Queda mucho trabajo por hacer en la implantación de sistemas legales de registro de derechos de propiedad que garanticen la posesión (“*si quieres crear un conflicto, destruye el catastro*”). Un medio en el que se garantice la propiedad de forma clara es una buena base para la libertad y las inversiones; ésta es la máxima prioridad de la Agenda del Desarrollo. La modernización no es posible sin seguridad en la propiedad. Las evidencias lo exigen. Los topógrafos son necesarios: la FIG es un importante colaborador de la ONU porque ésta necesita de los conocimientos de los topógrafos. Se necesitan mejores sistemas de gestión territorial con mejores datos; los gobiernos deberían invertir en ellos como lo hacen con otras infraestructuras.

Las presentaciones incluyeron también un discurso de bienvenida pronunciado por Hagen Graeff, Presidente del DVW (Asociación Alemana de Topógrafos), que ha albergado al Consejo de la FIG durante los últimos cuatro años. Los directores de los dos Congresos, Thomas Gollwitzer del de la FIG 2006, y Walter



Prof. Holger Magel, Presidente de la FIG

Henninger del INTERGEO, presidieron la ceremonia de apertura común a ambos. Esta actividad conjunta obtuvo un record de asistencia, ya que las puertas de la sala tuvieron que ser cerradas al completar el aforo de 1400 personas que ésta tenía.

El Premio del Congreso de la FIG fue concedido a Nsame Nsemiwe, de Zambia, por sus ponencias tituladas “*Gender Dimensions of Land Customary Inheritance under Customary Tenure in Zambia*” y “*Negotiating the Interface: Struggles Involved in the Upgrading of Informal Settlements –a Case Study of Nkandabwe in Kitwe, Zambia*”.

Programa Técnico

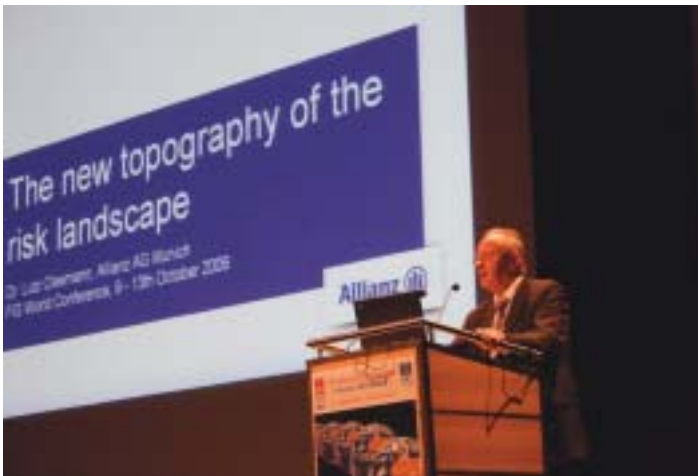
El programa técnico y científico del Congreso consistió en cuatro sesiones plenarias (tres conjuntas con INTERGEO y una con la IAG), 90 sesiones técnicas y varias jornadas (historia de la topografía, control de calidad para datos geográficos e hidrografía, y una jornada técnica de ESRI). En las sesiones técnicas se presentaron más de 500 ponencias, además de casi 100 que se exhibieron en forma de póster.

La primera sesión plenaria versó sobre *Interrelación entre lo Urbano y lo Rural* en la Administración Territorial, siendo sus ponentes el Dr. Lars Reutersward, Director de UN-HABITAT, Maximilian Geierhos, responsable de la Administración Bávara de Desarrollo Rural, y Rob Mahoney, que presentó la Declaración de Marrakech de la FIG y sus resultados. Esta sesión fue presidida por el Presidente Magel.

La segunda sesión plenaria versó sobre *Gestión de Riesgos y Catástrofes*, y fue presi-



El Presidente Magel haciendo entrega del Premio del Congreso a Nsame Nsemiwe, su ganadora



didada por Meter Kreuzer, Presidente de UN ECE WPLA, y moderada por el Dr. Andreas Drees, Vicepresidente de la FIG. Los ponentes fueron el Dr. Lutz Cleemann (Allianz Zentrum für Technik GMBH) y David B. Zilkoski (NOAA), quienes hablaron sobre "Observación de la Tierra: Obtención de información crítica sobre prevención y gestión de desastres", y el Prof. Jochen Zschau (GFZ) que presentó el "Sistema Germano-Indonesio de Alarma Rápida de Tsunami para el Océano Índico". Además, se presentó la publicación de la FIG titulada "The Contribution of the Surveying Profession to Disaster Risk Management".

La tercera sesión plenaria trató sobre el tema *Demanda de Geoinformación*, y contó con el Prof. Josef Frankenberger, responsable de la Administración Bávara de Topografía, el Prof. Joseph Salukvadze, de la Universidad Estatal de Tblisi, y Berik Davies, del Departamento de Exploración y Producción de Shell Internacional, como principales intervinientes. Esta sesión fue presidida por el Dr. Drees y moderada por el Dr. Chryssy Potsiou.

Los SIG y las IDE fueron temas principales de algunas sesiones, participando en ellas expertos internacionales como Jack Dangermond, Presidente de ESRI, Jarmo Ratia, Presidente electo de GSDI, Prof. Milan Konecny, Presidente de la ICA, etc. También participaron en el Congreso muchos representantes de organizaciones hermanas, como el Prof. Ian Dowman, Presidente de ISPRS, Prof. Gerhard Beutler, Presidente de IHO, y otros representantes de IHO, Eurogeomatics, IFHP, IFHS, ISM, CLGE, GE, FGF, etc. El Comité Conjunto de Sociedades de Información Geoespacial tuvo dos reuniones durante el Congreso.

La última sesión plenaria trató el tema *Cambio Global*, enfocado a las nuevas tecnologías, y contó con el Prof. Reiner Rummel, Secretario Permanente de la Comisión Alemana de Geodesia, el Prof. Hermann Drenes, Presidente de la Comisión I de la IAG, y el Prof. Hans Haubold, Oficina de la Naciones Unidas para Asuntos del Espacio, como intervinientes. Esta sesión, que fue organizada conjuntamente con la IAG y la Semana Geodésica, fue presidida por el Prof. Gerhard Beutler, Presidente de la IAG, y moderada por el Prof. Rudolf Staiger.

La opinión general con respecto a las sesiones técnicas pareció ser que la calidad de las ponencias fue, en general, más alta que en actos anteriores y la asistencia de público fue, en muchas de ellas, sorprendentemente alta. Esto se notó especialmente en las de las Comisiones 8, 9 y 10. Naturalmente, hubo algunos comentarios en el sentido de que había demasiadas ponencias en las sesiones, lo que no permitía disponer de tiempo suficiente para la presentación y posterior discusión. Hubo algunas anulaciones de última hora, causadas por diversos motivos, principalmente económicos y de visado. Los organizadores estuvieron muy satisfechos también de las sesiones organizadas conjuntamente con el Banco Mundial y la FAO y también con colaboradores como la GSDI y la IAG.

Durante la semana, todas las comisiones celebraron reuniones internas para discutir sus planes de trabajo y futuros proyectos.

Como es normal, se celebraron varias visitas técnicas, que ofrecieron la posibilidad de enseñar a quienes participaron en ellas algo sobre la topografía y la tecnología alemanas.

Actos Sociales

La semana del Congreso estuvo también llena de actos sociales, los cuales comenzaron con la Recepción de Bienvenida, que se celebró en el Holiday Inn después de la Asamblea General. Cerca de 700 delegados llegaron a tiempo para asistir a esta fiesta de confraternización.

El lunes, los representantes de las delegaciones nacionales fueron invitados por el alcalde de Munich a una recepción en el Ayuntamiento, que permitió a los asistentes admirar este edificio notable de la ciudad.

La recepción organizada por el Estado de Baviera se celebró en la famosa Kaisersaal (salón del emperador) del castillo Residenz. Estas habitaciones regias dieron una idea de la gran historia de Baviera a los casi 700 asistentes.

La tarde del día en que se inauguraron el Congreso de la FIG y el INTERGEO, se celebró la tradicional *INTERGEO-Treff* en el Löwenbräukeller, una de las cervecerías más famosas de Munich. Por esta vez, el *geodätentreff* fue también un acto de la Fundación de la FIG. La música bávara, la cerveza y la comida cubrieron las expectativas de los más de 1800 participantes.

El Congreso concluyó con la Cena de Despedida, que se celebró en el famoso Hoftbräuhaus. Cerca de 600 comensales atendieron la invitación para disfrutar de la hospitalidad bávara una vez más, intercambiar opiniones sobre las experiencias de la semana y hacer amistad con otros topógrafos del mundo entero.



El último acto social fue organizado por FIG 2010. Esta recepción, que tuvo lugar en el Holiday Inn después de la ceremonia de clausura, dio una nota de hospitalidad australiana y permitió el encuentro con el joven equipo australiano, organizador del próximo Congreso, y con la Naturaleza, representada por un gigantesco koala.

INTERGEO

La exposición del Congreso de la FIG se mezcló con la feria comercial anual INTERGEO y ambas atrajeron a más de 19500 visitantes que recorrieron los 3000 metros cuadrados de las tres salas del ICM que ocuparon los 550 expositores.

Las conferencias del INTERGEO congregaron a 1800 participantes. Dichas conferencias fueron abiertas a todos los participantes de la FIG, aunque muchos de ellos, debido a lo apretado del programa, no pudieron asistir a muchas de estas interesantes sesiones.

Asamblea General

La Asamblea General de la FIG se celebró en dos sesiones, una el domingo 8 de octubre y la otra el viernes 13 de octubre, en el Holiday Inn. Las principales decisiones de esta Asamblea General fueron:



Geodatentraff en el Löwenbräukeller

1. El Prof. Stig Enemark (Dinamarca) fue elegido nuevo Presidente de la FIG para el período 2007-2010. Matt Higgins (Australia) y el Dr. Dalal S. Alnaggar (Egipto) fueron elegidos Vicepresidentes de la FIG para el período 2007-2010. Paul van der Molen fue elegido Vicepresidente para el período de dos años, 2007-2008, puesto que queda vacante tras la elección de Stig Enemark como nuevo Presidente. El cuarto Vicepresidente es Ken Allred, que continúa su mandato en el nuevo Consejo durante los próximos dos años. El Dr. Chryssy Potsiu fue nombrado representante de la ACCO en el Consejo para el período 2007-2008. El nuevo Consejo comenzará sus trabajos en enero de 2007.
2. Fueron nombrados Miembros de honor de la FIG Mr. Jurg Kaufmann (Suiza) y el Prof. Kazimierz Czarnecki (póstumamente).
3. La organización de la Semana de la FIG de 2011 se concedió a la ONIGT de Marruecos y se celebrará en Marrakech en abril/mayo de 2011. La candidatura de Marrakech ganó a las de Roma, Puerto Rico y Nigeria por un estrecho margen. La elección fue difícil para las asociaciones miembros de la FIG. La 6ª Conferencia Regional se organizará en San José de Costa Rica entre los días 11 y 15 de noviembre de 2007.
4. Se presentaron cuatro nuevas publicaciones de la FIG:
 - Publicación de la FIG 35: "Enhancing the Representation of Under-Represented Groups in FIG"
 - Publicación de la FIG 36: "Administering Marine Spaces: International Issues"
 - Publicación de la FIG 37: "Guide on the Development of a Vertical Reference Surface for Hydrography"
 - Publicación de la FIG 38: "The Contribution of the Surveying Profession to Disaster Risk Management".
5. Se admitieron varios nuevos miembros. Después de la reunión de Munich, el número de asociaciones miembros de la FIG ha aumentado de 85 a 105 países. Los nuevos miembros admitidos en Munich fueron: Institución de Topógrafos de Tanzania,



Cena de Despedida del Congreso



GRUPO DE INVESTIGACIÓN:
"MATEMÁTICA APLICADA
A LA INGENIERÍA CIVIL"

MAIC

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE MATEMÁTICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

OBJETIVO DE LA REUNIÓN: Propiciar el encuentro entre profesionales relacionados con el mundo de la ciencia y la tecnología que permita avanzar en el conocimiento e intercambiar estudios e investigaciones sobre la aplicación científica de las matemáticas en las diversas áreas de la ingeniería y la arquitectura.

DESARROLLO. Acciones:

- **Sesiones especializadas donde se debatirán, simultáneamente las ponencias y comunicaciones seleccionadas en cada área temática.**
- **Conferencias plenarias programadas que convocarán a todos los congresistas.**
- **Concurso de posters relativos a las áreas temáticas del congreso.**
- **Mesas redondas, talleres...**

Áreas temáticas

- **APLICACIONES CIENTÍFICAS A LA INGENIERÍA TOPOGRÁFICA, GEODÉSICA Y CARTOGRÁFICA**
- **MATEMÁTICA APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL**
- **MATEMÁTICA Y DISEÑO EN ARQUITECTURA**
- **MATEMÁTICAS EN LAS CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**
- **METODOLOGÍA Y DIDÁCTICA DE LA MATEMÁTICA APLICADA A LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
- **MATEMÁTICAS Y MEDIO AMBIENTE**
- **DESARROLLOS TEÓRICOS DE LA MATEMÁTICA APLICADA**

Comité Organizador: Grupo de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid: Matemática Aplicada a la Ingeniería Civil

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la
Universidad Politécnica de Madrid

Correo electrónico: congreso.m.i@caminos.upm.es

Fecha: 30 de Mayo al 1 de Junio 2007

Para más información

www.caminos.upm.es/actividades/Congreso%20Matemáticas/index.htm





Vista de la feria tecnológico-comercial del Congreso

Sindicato Nacional de Geómetras-Topógrafos y Asimilados de Benin, Sociedad Iraní de Topógrafos, Federación de Ingenieros Geómetras-Topógrafos de la República Democrática del Congo, Asociación de Geodesia y Cartografía de Mongolia, Sociedad de Profesionales de las Tecnologías de la Información Territorial de Georgia, Instituto Chino de Administradores y Agentes de la Propiedad Inmobiliaria y la Federación Nacional de Ingenieros Agrimensores de Brasil. Después de una ajustada votación, la Institución de Ingenieros Topógrafos de Hong-Kong fue también admitida como nuevo miembro.

6. Fueron admitidos nuevos miembros afiliados de Islandia, Macedonia, Mongolia y Rumanía, además de ANZLIC de Australia y Nueva Zelanda. En total fueron admitidos 7 nuevos miembros corporativos, alcanzando la cifra de 34, entre los que se encuentra el primer miembro del Sudán. 13 universidades e instituciones fueron admitidas como miembros académicos.
7. La Asamblea General aprobó los informes finales de ACCO y de diez comisiones técnicas y dio a conocer los planes de trabajo de los nuevos presidentes de las comisiones para el período 2007-2010, los cuales serán aprobados en Hong-Kong en mayo de 2007.

Ceremonia de Clausura

En la Ceremonia de Clausura el Presidente Magel presentó el Resumen de la Conferencia. Además del impresionante número de participantes en el Congreso, destacó que muchos de ellos eran jóvenes profe-

sionales e informó que la FIG tiene en proyecto crear un foro de estudiantes y jóvenes topógrafos.

Las relaciones con las organizaciones afines y con las internacionales son buenas y lo seguirán siendo en el futuro. El Presidente recordó a la audiencia una frase de Kofi Annan, “*fundamental: Libertad desde la pobreza, libertad desde el temor, libertad para vivir dignamente*”, y la importancia para la profesión de tomar la iniciativa en este asunto. La FIG ya ha actuado produciendo un ampliamente reconocido y aceptado conjunto de publicaciones y cooperando estrechamente con la ONU, el Banco Mundial, organizaciones no gubernamentales y organizaciones hermanas. De especial importancia es la Declaración de la FIG sobre la Gestión de Riesgos y Catástrofes, que será aprobada en Hong-Kong.

Mucho se ha hecho y mucho queda por hacer. Los cambios a los que los topógrafos han de hacer frente son: la economía global, los nuevos paradigmas financieros, los riesgos climáticos y los desastres medioambientales, los patrones sociales de pobreza y la emigración. Los retos son: equilibrar las situaciones económicas entre regiones, dejar un planeta habitable a nuestros hijos, crear un mundo justo y en paz y conectar con los medios de comunicación de masas.

Como conclusión, el Presidente Magel dijo: “*Los topógrafos pueden encarar los cambios mediante la colaboración, la comunicación y la cooperación. Los topógrafos pueden hacer frente a los cambios con pasión, energía y entusiasmo trabajando en muchas dimensiones. Los topógrafos necesitan alas para volar y botas para andar por el duro suelo*”. ■



Ceremonia de Clausura del XXIII Congreso de la FIG



Geodesia

Navegación

Fotogrametria

Teledetección

Cartografía

Sistemas de Información
Geográfica (SIG)

Tema central:
Sensores de alta
resolución y sus
aplicaciones

Lugar de celebración:

Fira de Barcelona
Palacio de Congresos
Av. Reina Maria Cristina, s/n
www.firabcn.es

Participa enviando tu resumen a través de nuestra web:

www.setmana-geomatica.org

(Fecha límite 8 de octubre de 2006)

Existe un nuevo mundo de posibilidades



Fira Barcelona

Recinto Montjuïc
20-22 Febrero 2007

GlobalGeo es el Salón Internacional de la Geomática y la Geotelemática. Participe junto a profesionales de todo el mundo y beneficie de una oferta global. Un encuentro crucial para todas las empresas del sector. Un acontecimiento imprescindible.

 **GLOBALGEO**
ENLLOU INTERNACIONAL DE LA GEGMÀTICA
I LA GEOTELEMÀTICA

Semana
7 GEO MÀTICA
BARCELONA

www.globalgeobcn.com



COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS EN TOPOGRAFÍA

VI Premio «San Isidoro» a Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica

El Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía convoca el Sexto Premio «San Isidoro» para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica con la finalidad de reconocer y estimular el ingenio y la creación técnica entre los alumnos, premiando los mejores proyectos del curso académico que se presenten de acuerdo a las siguientes bases:

1. Aspirantes

Podrán concurrir todos los Ingenieros Técnicos en Topografía que hayan presentado el Proyecto Fin de Carrera durante el año 2006 en cualquier Escuela de Ingeniería Técnica Topográfica de España.

2. Documentación, plazo y lugar de presentación

Para participar, los alumnos deberán presentar en la sede del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía (Avenida de Reina Victoria 66, 2.º C, 28003 Madrid), antes del 16 de febrero de 2007, la siguiente documentación:

- Una copia del Proyecto Fin de Carrera en soporte papel, copia fiel del presentado en su defensa en la Escuela
- Un resumen-artículo del Proyecto
- Hoja de Solicitud debidamente cumplimentada.

Una vez finalizado el proceso de valoración y fallado el Premio, los solicitantes podrán retirar del Colegio las copias de los proyectos presentados a concurso, exceptuando los premiados, que quedarán depositados en la biblioteca del Colegio.

3. Jurado

El jurado estará compuesto por:

- Presidente: El Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- Secretario: El Secretario del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- Vocales: Cinco vocales designados por la Junta de Gobierno del Colegio, representantes de los ámbitos de la Universidad, Empresa Privada e Instituciones Oficiales.

El fallo del jurado se dará a conocer antes del 15 de abril de 2007.

4. Valoración

El premio estará sujeto a un baremo de 1 a 10 puntos según el cual se fijarán los criterios de valoración en los siguientes apartados:

- Creatividad y Originalidad del Proyecto
- Innovación tecnológica
- Rigor Técnico y Científico
- Viabilidad Técnica y Económica del Proyecto con la documentación aportada
- Presentación (memoria, modelos, programas informáticos...)
- Resultados obtenidos y aplicabilidad práctica o interés industrial en el área.

5. Premios

Se establecen tres premios para los ganadores, dotados económicamente con las siguientes cantidades:

Primer Premio:	1.500 €
Segundo Premio:	900 €
Tercer Premio:	450 €

Asimismo, a los profesores o tutores que hayan dirigido el Proyecto ganador se les hará entrega de una Placa Acreditativa.

La entrega de los Premios será pública y coincidirá con la celebración de la Fiesta de San Isidoro 2007 en Madrid.

6. Normas Complementarias

La participación en el Premio supone la plena aceptación de estas bases. El fallo del Jurado será inapelable, pudiendo declarar desierto cualesquiera de los tres premios que se otorgan, si así lo estima conveniente en función de la calidad de los Proyectos presentados. Cualquier incidencia no prevista en las presentes bases será resuelta por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

El jurado o el Colegio podrán requerir a los participantes, en cualquier momento del proceso, la documentación acreditativa que se expresa en las bases.

Los trabajos premiados serán publicados en la Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, *Topografía* y *Cartografía*, pudiéndose requerir de los autores la realización de las modificaciones en el artículo-resumen presentado que sean necesarias para dicho fin.

Indice Comercial de Firmas



Alquiler y venta de instrumentos topográficos

C/ Bofarull, 14, Bajos 08027 BARCELONA
Tel. 93 340 05 73 Fax 93 351 95 18
www.al-top.com e-mail: al-top@al-top.com




SERVICIO TÉCNICO OFICIAL

BATIMETRÍAS

- Levantamientos hidrográficos: marítimos o fluviales. Perfiles. Control obra marítima.
- Posicionamiento de dragados o vertidos.
- Toma de muestras georreferenciadas.

Embarcación propia, con GPS dif., Sonda y soft. de navegación

CB-TOP Casanovas-Berge Asoc.
C/ Trullols, 10 Ent. 2ª Barcelona (08035)
Tel./Fax: 93 418 66 02
Móviles: 629 34 16 26 / 630 02 47 01
E-mail: rb@cb-top.net



BERDALA
INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS
Y GEODÉSICOS
SERVICIO TÉCNICO

Balmes, 6 08007 BARCELONA
Tel. 93 301 80 49 Fax 93 302 57 89
e-mail: berdala@berdala.com
www.berdala.com



Trimble Ibérica, S.L.
Vía de las Dos Castillas, nº 33
ATICA. Edif. 6, Planta 3ª
28224 Pozuelo de Alarcón
Madrid - Spain
Tel 91 351 01 00 • Fax 91 351 34 43
E-mail: ana_santos@trimble.com
http://www.trimble.com

EDEF
Estudio de Fotogrametría

Marqués de Lema, 7
Tel. 91 554 42 67
28003 MADRID

LEICA GEOSYSTEMS, S.L.
**Geodesia, Topografía,
Fotogrametría y Sistemas**

Oficina y Asistencia Técnica
Edificio Trébol
C/. Doctor Zamenhof, 22
28027 MADRID
Tel. 91 744 07 40 - Fax 91 744 07 41
C/. Nicaragua, 46, 5ª planta - 08029 BARCELONA
Tel. 93 494 94 40 - Fax 93 494 94 42



CENTRAL 902 19 01 22
ANDALUCÍA 958 45 14 03
LEVANTE 963 58 14 94
GUIPÚZCOA 943 37 61 16

<http://www.geocenter.es>

DISTRIBUIDOR OFICIAL
VENTA Y ALQUILER



M. C. Centenera
**Alquiler, Venta y Reparación
de Aparatos de Topografía
y Fotogrametría**

Tels.: 665 519 430
619 255 918



TOPCON EUROPE POSITIONING B.V.
Pº Ferrocarril, 335, 2º - 2ª
08860 Castelldefels (Barcelona)
Tel. 93 145 87 32 • Fax 93 145 87 33

e-mail: topografia@topcon.es
<http://www.topcon.es>

ATICSA
— Distribuidor Oficial —



INTERGRAPH TCP-IT

Venta y Alquiler de Material Topográfico

C/ Servando González Becerra, Local 25 (Plaza de las Américas)
Tel. 924 23 13 11 - Fax 924 24 90 02 - www.aticsa.net 06011 BADAJOZ



MEDICIONES TOPOGRÁFICAS EXTREMEÑAS, S.L.L.

**ALQUILER DE G.P.S.
Y SERVICIOS TOPOGRÁFICOS**

06800 Mérida • e-mail meditexsl@hotmail.com
TLF. 924 304 984 • 679 631 689 • 659 904 344



Topografía • GPS • Hidrografía • Navegación • Fotogrametría
Distribuidor en España de:

PENTAX • JAVAD • ROLLEI • NAVCOM
Avda. Filipinas, 46 - 28003 MADRID
Tel. 91 553 72 07 - Fax 91 533 62 82
www.grafinta.com
grafinta@grafinta.com

ACRE

**Alquiler y venta G.P.S.
Instrumentos Topográficos**

Autovía Madrid-Toledo
925-490839 617 326454
www.acre-sl.com



Geosystems



Distribuidor 

Santiago & Cintra Ibérica, S.A.
C/ José Echegaray, 4 - P.A.E. Casablanca B5
28100 Alcobendas (Madrid)
Tel. 902 120 870 - Fax 902 120 871
e-mail: info@santiageocintra.es

Alvaro Molina Topografía-G.P.S.
Alquiler y Servicios Topográficos

Sistemas G.P.S. 

Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

Tel. 670 248 852 • 670 243 059
e-mail: almolina@infonegocio.com

Ningún equipo
está completo, sin un
buen

GUÍA

Mapas Guía, Series Turísticas
y Espacios Naturales del...



CENTRO NACIONAL
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



Y además...

Mapa Topográfico Nacional a escalas 1:25.000 y 1:50.000,
Mapas Provinciales a escala 1:200.000, Cartografía Digital,
Mapas Autonómicos, Mapas Serie World, Teledetección,
Fotografía Aérea, Atlas Nacional de España, Mapas en Relieve,
Cartografía Histórica, Libros, etc.

Oficina central: Monte Esquinza, 41 - 28010 MADRID
Comercialización: General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es • webmaster@cnig.es
<http://www.cnig.es>