

Nuestra portada:

*Escuadra romana de agrimensor de l'Orme-Ennemain (Somme).*

*Foto: Hervé Petitot.*

**Vol. XXIII - N.º 137**  
**Noviembre-Diciembre**  
**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 91 553 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

Modelos Digitales de Elevaciones con datos ASTER. Revisión de métodos y análisis de errores (y II)	<b>3</b>
Alonso Sánchez Ríos	
Posibilidades de uso de equipos GPS de bajo coste en aplicaciones geodésicas de precisión	<b>20</b>
Volver Schwieger y Andreas Gläser	
Topografía Romana (II)	<b>30</b>
Isaac Moreno Gallo	
Elaboración del Mapa Turístico y Excursionista de Jalance (Valencia) a escala 1:25.000	<b>46</b>
Óscar García Costa	
Infraestructuras en desarrollo: Crecimiento y Evolución de los Portales Espaciales	<b>60</b>
Jeanne Foust, Winnie Tang y Jan Selwood	
Primer Programa de Ingeniería Geomática en Colombia	<b>68</b>
Gonzalo Jiménez Cleves, José Joaquín Vila Ortega y Julián Garzón Barrero	
Novedades Técnicas	<b>72</b>
Vida Profesional	<b>78</b>
Índices del Volumen XXIII, 2006	<b>84</b>
Índice Comercial	<b>87</b>

# 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: 952-431571  
www.aplitop.com  
Info@aplitop.com

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

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)

(Continuación) 

## 5. EL TRATAMIENTO DE LAS IMAGENES

### 5.1. Introducción

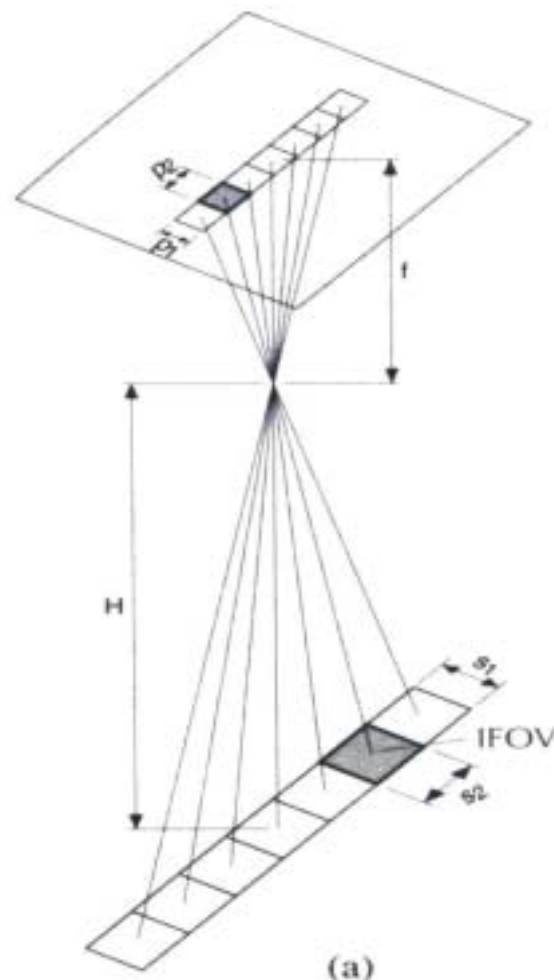
Las enormes posibilidades de las imágenes de satélite, como su resolución espacial y posibilidades de explotación estereoscópica, convierten a estas imágenes en una nueva fuente para aquellos científicos que trabajan en los campos de la Fotogrametría, la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). No obstante, estos datos de alta resolución también necesitan un correcto tratamiento de los mismos para obtener resultados fiables. De esta forma, la órbita del satélite, su posición, sus ángulos de toma y sus parámetros de orientación interna tienen que ajustarse en un modelo geométrico para obtener la mayor precisión, utilizando el menor número de *puntos de apoyo* en el terreno.

El problema es de fácil solución si conocemos el modelo de sensor y datos exactos de efemérides, pero en el caso de ASTER no se proporcionan estos datos. Esto significa que un conjunto de parámetros importantes son desconocidos y no pueden ser determinados analizando la propia imagen. El problema que esto plantea es que la aplicación informática que se use debe realizar la triangulación usando sus modelos matemáticos propios y, deseablemente, debe soportar varios tipos de sensores.

### 5.2. La geometría de las imágenes

Las imágenes ASTER-VNIR están tomadas con un escáner de tipo *pushbroom*, también llamadas cámaras lineales. Esta configuración (figura 5) es un vector de CCD1. Los tamaños del píxel del sensor colocado en el plano focal son  $P_1$  y  $P_2$ ; la matriz lineal proyecta una línea sobre el terreno de anchura  $L_1$  y longitud  $L_2$ . El tamaño del píxel sobre el terreno, que es  $S_1 \times S_2$ , se denomina campo de vista instantáneo o IFOV (*Instantaneous Field of View*).

Estos aspectos geométricos condicionan la perspectiva de la imagen, ya que cada línea es una imagen independiente y tiene su propia posición y orientación, debidas al movimiento de la plataforma. Este problema



**Figura 5. Principio de la captura de datos con una cámara lineal (Schenk, T., 2002, p. 205)**

puede reducirse con el uso combinado de navegadores GPS y sistemas inerciales de navegación. Otra solución es la combinación de varios sensores lineales MOMS-02 emplea tres sensores lineales, ASTER usa dos, uno en dirección vertical y otro inclinado  $27,60^\circ$  (*backward*), lo que proporciona una geometría más robusta de cara a la determinación tridimensional de puntos.

La fragilidad de la geometría proporcionada por este tipo de sensores se agrava si tenemos en cuenta los posibles movimientos incontrolados del sensor respecto de la plataforma, velocidad de ésta, bien muy lenta o bien muy rápida, rotaciones espontáneas entre líneas del eje de la cámara debidas a movimientos repentinos de la plataforma, etc. Es decir, podemos concluir diciendo que el problema fundamental de las cámaras lineales es la determinación de la orientación externa de cada línea.

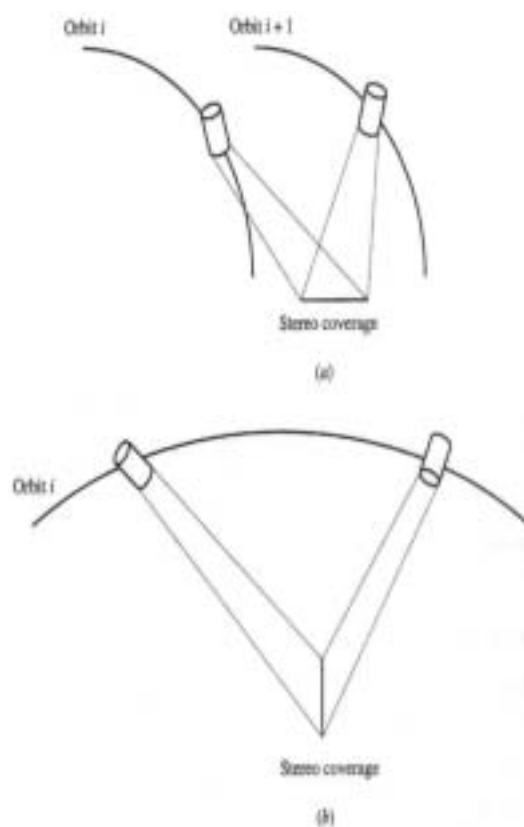
¿Por qué se utilizan estos sensores? La respuesta es clara: presentan un diseño simple y bajo coste de la matriz lineal de sensores. Además, presentan la opción de añadir otras matrices lineales con diferentes respuestas espectrales, lo que proporciona la adquisición de imágenes en color o multiespectrales de forma efectiva.

Otro aspecto importante en la geometría de las imágenes espaciales es el estudio de las órbitas de los satélites y plataformas que portan los sensores, así como la forma en que consiguen la estereoscopia, condición indispensable para la formación de un MDE. De esta forma, existen varios tipos de órbitas:

- *Heliosincrónicas (sun-synchronous)*: Cuando el satélite siempre pasa por un mismo punto a la misma hora local. Normalmente se diseña este tipo de órbitas con sensores remotos y teledetección. ASTER emplea este tipo de órbita. La altura orbital característica es de unos 800 km.
- *Geosincrónicas (geo-synchronous)*: También llamadas geoestacionarias, en las que el satélite permanece en la misma posición relativa respecto de la Tierra. Un ejemplo de este tipo de satélites es el Meteosat. Este tipo de órbitas no puede usarse para obtener imágenes de alta resolución, ya que la altura orbital es de algo más de 40.000 km.

Por otra parte, la cobertura estereoscópica puede obtenerse de dos formas distintas:

- *Configuración lateral o cross-track*: Se consigue la estereoscopia cuando el sensor toma la misma zona de la imagen en dos órbitas adyacentes (figura 6).
- *Configuración longitudinal o along-track*: En este caso, el sensor toma dos imágenes secuenciales en la misma órbita, con unos segundos de separación. Habitualmente, una imagen es vertical y la otra oblicua, bien hacia delante (*forward*), bien hacia atrás (*backward*). Normalmente, se utilizan distintos telescopios para los distintos ángulos de toma. ASTER utiliza esta configuración con dos telescopios separados (figura 6).



**Figura 6. Configuraciones orbitales para la obtención de imágenes estereoscópicas (Mikhail, M. et al, 2000, p. 75).**

### 5.3. Soluciones propuestas

Por todo lo expuesto, resulta evidente la necesidad de buscar una solución al problema. En definitiva, tenemos que recurrir al empleo de una serie de modelos matemáticos que variarán según el caso de que se trate y que se exponen a continuación (Sadeghian, S., et al., 2001).

#### *Modelo de función racional (RFM)*

El concepto de RFM fue desarrollado por Gyer (Sadeghian, S., et al., 2001) y ha sido muy usado por la US Defense Mapping Agency en su sistema de producción digital. En este sistema, una coordenada imagen es definida por dos funciones polinómicas. El RFM para coordenadas terreno tridimensionales es utilizado por IKONOS, SPOT, MOMS y Landsat, entre otros, así como en cámaras fotogramétricas de uso general. Por ejemplo, el modelo de IKONOS, denominado *Rational Polynomial Camera (RPC)* se expresa simplemente como una relación de dos polinomios cúbicos con los suficientes grados de libertad como para conseguir el máximo ajuste con el modelo físico del sensor.

La transformación lineal directa (DLT), la transformación proyectiva en dos dimensiones, la aproximación polinómica, la transformación afín, la transformación conforme y la aproximación multicuadrática son derivaciones del modelo de función racional RFM. A continuación se definen brevemente cada una de ellas, para más adelante centrarnos en la transformación lineal directa (DLT), por ser la más adecuada a nuestro en-

tender en el tratamiento de las imágenes ASTER usando software de tipo comercial.

**La transformación proyectiva en dos dimensiones**

Está definida por ocho parámetros que relacionan el objeto y el plano imagen.

**La aproximación polinómica**

Una forma usual de aproximación a la geometría de la imagen de satélite es el empleo de funciones polinómicas, en lugar de modelos rigurosos.

**La transformación afin**

En este caso se realiza una transformación cuyas ecuaciones generales son:

$$x = A_1 \cdot X + A_2 \cdot Y + A_3 \cdot Z + A_4$$

$$y = A_5 \cdot X + A_6 \cdot Y + A_7 \cdot Z + A_8$$

donde  $x$  e  $y$  son las coordenadas imagen y  $X$  e  $Y$  las coordenadas del espacio objeto (coordenadas terreno). Presenta el inconveniente de la "variación del relieve". Una variante del modelo de transformación afin 3D, llamado "transformación afin corregida del relieve" (Fraser C.S., et al., 2002), tiene en cuenta que la imagen se debe referir a un elipsoide y transformada mediante una proyección cartográfica.

**La transformación conforme**

Consiste en una transformación de cuatro parámetros: una rotación, dos traslaciones (en  $X$  y en  $Y$ ) y un escalado uniforme.

**La aproximación multicuadrática**

En primer lugar, se utiliza un polinomio para iniciar la transformación geométrica. Después, se utiliza una función de interpolación que, de forma separada, ajusta los vectores de los residuos en  $X$  e  $Y$  a cada punto de control. Los pesos explican el efecto de distorsiones locales medidas respecto a cada punto de control, ya que se calculan usando una matriz de interpolación en la que se tiene en cuenta la distancia entre los puntos de control.

**La transformación lineal directa (DLT)**

Se definen once parámetros lineales de orientación que definen las relaciones entre el espacio imagen bidimensional y el espacio objeto tridimensional.

**Método de los elementos finitos**

Este método consiste en un procedimiento sistemático de derivación de funciones aproximadas en distintas subregiones de un dominio. Presenta

tres características que hacen que sea superior a otros métodos que compiten con él:

- El problema se representa como un grupo de subdominios geométricamente simples, llamados elementos finitos, y no como un dominio geoméricamente complejo.
- Dentro de cada elemento finito, las funciones de aproximación se derivan teniendo la idea básica de que cualquier función pueda ser representada por una combinación lineal de polinomios algebraicos.
- Las relaciones algebraicas entre los coeficientes indeterminados se obtienen de forma que cumplan las ecuaciones directoras, incluso teniendo en cuenta los pesos de cada elemento.

**5.4. Método propuesto**

Resulta evidente afirmar que las imágenes procedentes de escáneres lineales de alta resolución presentan una gran utilidad para la comunidad científica, aún teniendo en cuenta las limitaciones en cuanto al conocimiento de ciertos parámetros geométricos necesarios para el tratamiento de estas imágenes. Esto ha provocado que tanto las casas comerciales de equipos fotogramétricos y de teledetección como equipos de investigación universitarios de las áreas de sensores remotos y ciencias geográficas, hayan desarrollado en los últimos dos o tres años una nueva generación de software que tiene como fin principal la producción de MDE y ortoimágenes usando técnicas de *image matching*. (Al-Rousan, N., Petrie, G., 1998); (Papapanagiotu, E.G., Hatzapoulos, I.N., 2000).

Entre ellos, podemos destacar PCI Geomática OrthoEngine (PCI Geomatics), Desktop Mapping System (DMS) (R-WEL) y ERDAS Imagine OrthoBASE Pro (ERDAS) (Hirano Akira, et al, 2003), (Al-Rousan, N., Petrie, G., 1998), (Altaier, A., Kany, Ch., 2002), (Toutin, Th., Cheng, Ph., 2001).

En la mayoría de los casos, este tipo de software comercial se comporta como una auténtica "caja negra", donde el usuario no conoce qué modelos matemáticos se están utilizando, teniendo que recurrir a analizar el MDE obtenido para poder conocer los intervalos de precisión y fiabilidad alcanzados.

Existen numerosos trabajos que realizan comparativas de las precisiones obtenidas en el tratamiento de imágenes utilizando distintos modelos de sensor. Entre ellos, podemos destacar los realizados por Sadejian et al.

Métodos	AE(m)	AN(m)	API(m)
DLT	06,07	05,86	08,44
Proyectiva 2D	05,46	08,12	09,78
Elementos finitos	26,95	08,30	28,19
Conforme	-	-	78,00

**Tabla 7. Valores de AE, AN, RMSE de los puntos de control en coordenadas UTM de los datos de fotografías KFA-1000.**

(2001), en los que tras la aplicación en una zona de estudio empleando imágenes SPOT tipo IA y KFA-1000, considerando la calidad de los puntos de apoyo, el mejor resultado se obtuvo con el método DLT (*Direct Linear Transformation*), con un emc de 8,4 m para las fotografías espaciales KFA-1000 (tabla 7).

En las investigaciones realizadas por Wang, Y. (1999) en dos zonas experimentales, la primera con un par SPOT pancromático, utilizando los modelos SDLT y polinómico para la triangulación, se obtuvieron desviaciones estándar semejantes en ambos casos (tabla 8). En la segunda zona se realizó el estudio con imágenes IRS-1C, obteniéndose muy buenos resultados con el modelo SDLT, no siendo posible realizar la triangulación con el modelo de aproximación polinómica, por falta de conocimiento de datos tales como la distancia focal o los ángulos de rotación de la imagen (tabla 9).

Estas investigaciones confirman que el modelo DLT, o más bien su derivado el SDLT (en el que no es necesario el conocimiento de ningún parámetro del sensor ni la corrección previa de la imagen original), puede estar entre los más indicados en el tratamiento de las imágenes ASTER.

Triangulation model		SDLT	Polynomial
Standard deviation		0,61 pixel	0,82 pixel
Check point accuracy	mX	10,6 m	8,5 m
	mY	8,1 m	22,1 m
	mZ	21,4 m	18,4 m
GCPs residual accuracy	mX	4,6 m	N/A
	mY	6,4 m	N/A
	mZ	18,7 m	N/A
Total points: 14 GCPs, 8 checks, 50 tie points			

**Tabla 8. Resultados de la triangulación automática con un par SPOT, utilizando los modelos SDLT y Polinómico (Wang, Y., 1999).**

Std. deviation 0,44 pixel	Accuracy from residuals		
	mX	mY	mZ
GCPs	1,8 m	2,3 m	2,4 m
Check points	3,8 m	6,0 m	4,1 m
Total points: 11 GCPs, 5 checks, 25 tie points			

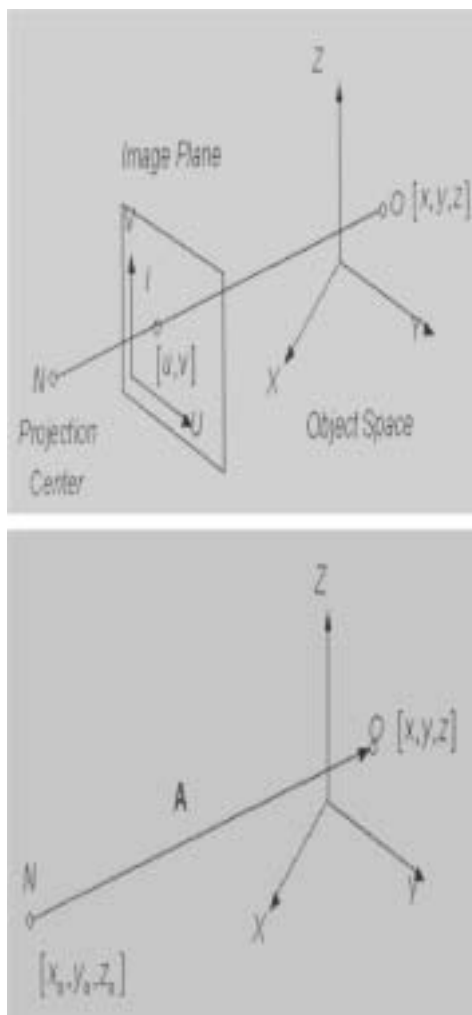
**Tabla 9. Resultados con el modelo SDLT y datos de imágenes IRS-1C (Wang, Y., 1999)**

**El modelo SDLT**

Podemos concluir diciendo que el modelo de transformación directa (DLT), y más bien su derivado SDLT, parecen estar entre los más adecuadas para el tratamiento de las imágenes de sensores que no proporcionan datos precisos de sus efemérides, como es el caso de ASTER. Por ello, pasamos a continuación a exponer ambos modelos.

**La Transformación Lineal Directa (DLT)**

Sea la figura 7, donde aparece el sistema de referencia del espacio objeto (sistema X, Y, Z) y el sistema de referencia del espacio imagen (sistema U, V).

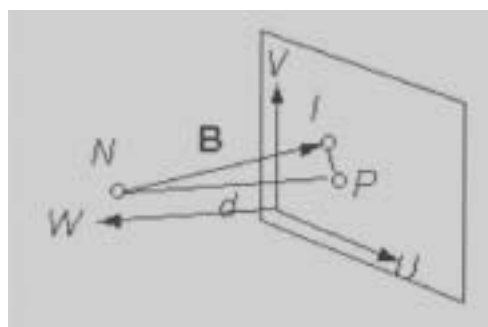


**Figura 7. Sistemas de referencia**

El punto O (x, y, z) del espacio objeto aparece en el espacio imagen como I (u, v); el punto N es el centro de proyección de la cámara.

Los puntos N, I y O pertenecen a la misma línea (rayo), lo que se conoce con el nombre de "condición de colinealidad", en la que se basa el método DLT.

Si asumimos que las coordenadas del centro de proyección son N (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>), respecto del sistema de referencia del espacio objeto, el vector A que va desde el punto N al punto O estará definido como A (x-x<sub>0</sub>, y-y<sub>0</sub>, z-z<sub>0</sub>).



**Figura 8. Sistema de coordenadas del espacio imagen**

Nadie podía controlar al espacio...hasta que apareció.



# SPATIAL IMAGING

En un mundo dominado por la tecnología, solo había algo que podía salvarles. Y que les permitiera ver el mundo en una dimensión completamente nueva. Anunciando la pricipia mundial de un nuevo y potente sensor. Trimble® VX™ Spatial Station.

VX TECNOLOGÍA MUY EXCEPCIONAL

PRESENTÁNDOSE AHORA MUNDIALMENTE:

[WWW.TRIMBLE.COM/SPATIAL](http://WWW.TRIMBLE.COM/SPATIAL)

TRIMBLE VISION  
TECHNOLOGY

## UN INSTRUMENTO. INNUMERABLES APLICACIONES.

Diseñada para capturar escenas y coordenadas en 2D y 3D, Trimble® VX™ Spatial Station permite una rápida entrada en Spatial Imaging. Optimizadas para una rápida adquisición de datos, las soluciones Trimble Spatial Imaging reducen la distancia entre el mundo geoespacial y las mediciones terrestres.

## AMPLÍE SUS HORIZONTES Y LAS POSIBILIDADES DE SU EMPRESA.

Trimble VX Spatial Station es la herramienta perfecta para integrar escaneados de resolución estándar e imágenes digitales con medidas de coordenadas de precisión topográfica. Trimble VX produce dibujos 2D clásicos y mejorados, levantamientos de ejecución 3D mejorados con colores, seguimiento de inspecciones, detección de colisiones y cálculos de volumen/superficie.

## TECNOLOGÍA TRIMBLE VISION™

La tecnología Trimble VISION™ ofrece video en vivo en la pantalla del controlador, permitiendo que los usuarios identifiquen y capturen, rápida y fácilmente, los datos correspondientes con una eficacia inmediata.

## SISTEMA ÓPTICO AVANZADO

Tecnologías de escaneado 3D, de estación total óptica y de video integradas en una sola plataforma.

## SOFTWARE TRIMBLE REALWORKS SURVEY™

El software Trimble RealWorks Survey™ les permite a los usuarios crear escenas de ejecución para desarrollar presentaciones 2D o 3D atractivas.



Por otra parte, si en el sistema de referencia del espacio imagen añadimos un eje ortogonal a las anteriores  $\mathbf{W}$  (figura 8), los puntos  $\mathbf{I}$ ,  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{N}$  tendrán las siguientes coordenadas en este sistema:

$$\mathbf{I} = (\mathbf{u}, \mathbf{v}, 0) \quad \mathbf{P} = (\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0, 0) \quad \mathbf{N} = (\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0, \mathbf{d})$$

Siendo  $\mathbf{P}$  el "punto principal"; la línea que va desde el punto  $\mathbf{N}$  al plano de la imagen, y que es paralelo al eje  $\mathbf{W}$  y perpendicular al plano de la imagen, se llama eje principal; la distancia principal  $\mathbf{d}$ , es la distancia entre los puntos  $\mathbf{P}$  y  $\mathbf{N}$ .

El vector  $\mathbf{B}$ , desde el punto  $\mathbf{N}$  al  $\mathbf{I}$ , se define como  $\mathbf{B} (\mathbf{u}-\mathbf{u}_0, \mathbf{v}-\mathbf{v}_0, -\mathbf{d})$ . Como los puntos  $\mathbf{O}$ ,  $\mathbf{I}$  y  $\mathbf{N}$  son colineales, los vectores  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{B}$  están en la misma línea recta, por lo que la condición de colinealidad se puede expresar como:

$$\mathbf{B} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{A} \quad (1)$$

donde  $\mathbf{c}$  es un escalar:

Como los vectores  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{B}$  están referidos a los sistemas de referencia del espacio objeto y espacio imagen respectivamente, para transformar el vector  $\mathbf{A}$  al sistema de referencia del espacio imagen utilizamos las siguientes expresiones:

$$\mathbf{T}_{I/O} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{A}^{(I)} = \mathbf{T}_{I/O} \cdot \mathbf{A}^{(O)} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \mathbf{A}^{(O)}$$

Donde:  $\mathbf{A}^{(I)}$  corresponde a la definición del vector  $\mathbf{A}$  en el sistema de referencia del espacio imagen;  $\mathbf{A}^{(O)}$  corresponde a la definición del vector  $\mathbf{A}$  en el sistema de referencia del espacio objeto.

$\mathbf{T}_{I/O}$  es la matriz de transformación del sistema de referencia del espacio objeto al espacio imagen. Sustituyendo valores, tenemos que:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u} - \mathbf{u}_0 \\ \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \\ -\mathbf{d} \end{bmatrix} = \mathbf{c} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} & \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y} & \mathbf{y}_0 \\ \mathbf{z} & \mathbf{z}_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

o lo que es lo mismo

$$\begin{aligned} \mathbf{u} - \mathbf{u}_0 &= \mathbf{c} [r_{11}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{12}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{13}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)] \\ \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 &= \mathbf{c} [r_{21}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{22}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{23}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)] \\ -\mathbf{d} &= \mathbf{c} [r_{31}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{32}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{33}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)] \end{aligned} \quad (4)$$

y operando en la última ecuación, queda que:

$$\mathbf{c} = \frac{-\mathbf{d}}{r_{31}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{32}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{33}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)} \quad (5)$$

Si ahora sustituimos el valor de  $\mathbf{c}$  en las ecuaciones anteriores (4) queda:

$$\begin{aligned} \mathbf{u} - \mathbf{u}_0 &= -\mathbf{d} \frac{r_{11}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{12}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{13}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)}{r_{31}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{32}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{33}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)} \\ \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 &= -\mathbf{d} \frac{r_{21}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{22}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{23}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)}{r_{31}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{32}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{33}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)} \end{aligned} \quad (6)$$

Como las coordenadas  $\mathbf{u}$ ,  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{u}_0$  y  $\mathbf{v}_0$  se expresan en cm y los sistemas de digitalización utilizan normalmente otras unidades, como el píxel, se deben convertir las ecuaciones anteriores, de la forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{u} - \mathbf{u}_0 &\Rightarrow \lambda_u (\mathbf{u} - \mathbf{u}_0) \\ \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 &\Rightarrow \lambda_v (\mathbf{v} - \mathbf{v}_0) \\ \mathbf{u} - \mathbf{u}_0 &= -\frac{\mathbf{d}}{\lambda_u} \frac{r_{11}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{12}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{13}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)}{r_{31}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{32}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{33}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)} \\ \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 &= -\frac{\mathbf{d}}{\lambda_v} \frac{r_{21}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{22}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{23}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)}{r_{31}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + r_{32}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + r_{33}(\mathbf{z} - \mathbf{z}_0)} \end{aligned} \quad (7)$$

siendo  $\lambda_u$  y  $\lambda_v$  los factores de conversión para los ejes  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$  respectivamente. Si ahora reescribimos las ecuaciones anteriores (7) de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= \frac{L_1 \mathbf{x} + L_2 \mathbf{y} + L_3 \mathbf{z} + L_4}{L_9 \mathbf{x} + L_{10} \mathbf{y} + L_{11} \mathbf{z} + 1} \\ \mathbf{v} &= \frac{L_5 \mathbf{x} + L_6 \mathbf{y} + L_7 \mathbf{z} + L_8}{L_9 \mathbf{x} + L_{10} \mathbf{y} + L_{11} \mathbf{z} + 1} \end{aligned} \quad (8)$$

donde:

$$[\mathbf{d}_u, \mathbf{d}_v] = \left[ \frac{\mathbf{d}}{\lambda_u}, \frac{\mathbf{d}}{\lambda_v} \right] \quad (9)$$

$$\mathbf{D} = -(\mathbf{x}_0 r_{31} + \mathbf{y}_0 r_{32} + \mathbf{z}_0 r_{33})$$

$$L_1 = \frac{\mathbf{u}_0 r_{31} - \mathbf{d}_u r_{11}}{\mathbf{D}}$$

$$L_2 = \frac{\mathbf{u}_0 r_{32} - \mathbf{d}_u r_{12}}{\mathbf{D}}$$

$$L_3 = \frac{\mathbf{u}_0 r_{33} - \mathbf{d}_u r_{13}}{\mathbf{D}}$$

$$L_4 = \frac{(\mathbf{d}_u r_{11} - \mathbf{u}_0 r_{31}) \mathbf{x}_0 + (\mathbf{d}_u r_{12} - \mathbf{u}_0 r_{32}) \mathbf{y}_0 + (\mathbf{d}_u r_{13} - \mathbf{u}_0 r_{33}) \mathbf{z}_0}{\mathbf{D}}$$

$$L_5 = \frac{\mathbf{v}_0 r_{31} - \mathbf{d}_v r_{21}}{\mathbf{D}}$$

$$L_6 = \frac{\mathbf{v}_0 r_{32} - \mathbf{d}_v r_{22}}{\mathbf{D}}$$

$$L_7 = \frac{\mathbf{v}_0 r_{33} - \mathbf{d}_v r_{23}}{\mathbf{D}}$$

$$L_8 = \frac{(\mathbf{d}_v r_{21} - \mathbf{v}_0 r_{31}) \mathbf{x}_0 + (\mathbf{d}_v r_{22} - \mathbf{v}_0 r_{32}) \mathbf{y}_0 + (\mathbf{d}_v r_{23} - \mathbf{v}_0 r_{33}) \mathbf{z}_0}{\mathbf{D}}$$

$$L_9 = \frac{r_{31}}{\mathbf{D}}$$

$$L_{10} = \frac{r_{32}}{\mathbf{D}}$$

$$L_{11} = \frac{r_{33}}{\mathbf{D}}$$

tenemos la expresión general del método de Transformación Lineal Directa en tres dimensiones (3-D DLT) donde los coeficientes  $L_1$  a  $L_{11}$  son los parámetros de transformación que relacionan los sistemas de referencia del espacio objeto con el del espacio imagen.

El cálculo de estos parámetros se suele realizar por técnicas de mínimos cuadrados, partiendo de un conjunto de puntos del espacio objeto, o puntos de apoyo (*ground control points*, GCP), cuyas coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  son conocidas, con la precaución de que estos puntos no sean coplanares.

Como para poder realizar un ajuste por mínimos cuadrados se necesita que el número de ecuaciones planteadas sea mayor que el número de incógnitas, resulta que para la obtención de los 11 parámetros de transformación de la DLT, necesitamos como mínimo 6 puntos de apoyo, ya que cada punto dará lugar a dos ecuaciones.

**Cálculo de los parámetros físicos de la cámara:**

Coordenadas del punto principal y posición de la cámara: de las ecuaciones anteriores (9), podemos deducir que:

$$\begin{aligned} L_1x_o + L_2y_o + L_3z_o &= -L_4 \\ L_5x_o + L_6y_o + L_7z_o &= -L_8 \\ L_9x_o + L_{10}y_o + L_{11}z_o &= -1 \end{aligned} \tag{10}$$

o lo que es lo mismo:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 \\ L_5 & L_6 & L_7 \\ L_9 & L_{10} & L_{11} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -L_4 \\ -L_8 \\ -1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 \\ L_5 & L_6 & L_7 \\ L_9 & L_{10} & L_{11} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -L_4 \\ -L_8 \\ -1 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{11}$$

De la misma forma, deducimos que:

$$\begin{aligned} L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2 &= \frac{1}{D^2} [r_{31}^2 + r_{32}^2 + r_{33}^2] = \frac{1}{D^2} \\ D^2 &= \frac{1}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2} \end{aligned} \tag{12}$$

y

$$\begin{aligned} (DL_1)(DL_9) + (DL_2)(DL_{10}) + (DL_3)(DL_{11}) &= \\ U_o [r_{31}^2 + r_{32}^2 + r_{33}^2] - d_u [r_{11}r_{31} + r_{12}r_{32} + r_{13}r_{33}] &= u_o \\ (DL_5)(DL_9) + (DL_6)(DL_{10}) + (DL_7)(DL_{11}) &= v_o \\ u_o = D^2 (L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11}) &= \frac{L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11}}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2} \\ v_o = D^2 (L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11}) &= \frac{L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11}}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2} \end{aligned} \tag{13}$$

Factores de escala y matriz de transformación: de (9) podemos deducir que

$$\begin{aligned} r_{11} &= \frac{D [u_oL_9 - L_1]}{d_u} \\ r_{12} &= \frac{D [u_oL_{10} - L_2]}{d_u} \\ r_{13} &= \frac{D [u_oL_{11} - L_3]}{d_u} \\ r_{21} &= \frac{D [v_oL_9 - L_5]}{d_v} \\ r_{22} &= \frac{D [v_oL_{10} - L_6]}{d_v} \\ r_{23} &= \frac{D [v_oL_{11} - L_7]}{d_v} \\ r_{31} &= DL_9 \\ r_{32} &= DL_{10} \\ r_{33} &= DL_{11} \end{aligned} \tag{14}$$

así como

$$\begin{aligned} d_u^2 &= D^2 [(u_oL_9 - L_1)^2 + (u_oL_{10} - L_2)^2 + (u_oL_{11} - L_3)^2] = \\ &= \frac{(u_oL_9 - L_1)^2 + (u_oL_{10} - L_2)^2 + (u_oL_{11} - L_3)^2}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2} \\ d_v^2 &= \frac{(v_oL_9 - L_5)^2 + (v_oL_{10} - L_6)^2 + (v_oL_{11} - L_7)^2}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2} \end{aligned} \tag{15}$$

teniendo en cuenta que tanto  $d_u$  como  $d_v$  son valores positivos y que los ángulos de Euler  $\omega$ ,  $\gamma$ ,  $\chi$  se deben calcular a partir de los nueve elementos de la matriz de transformación.

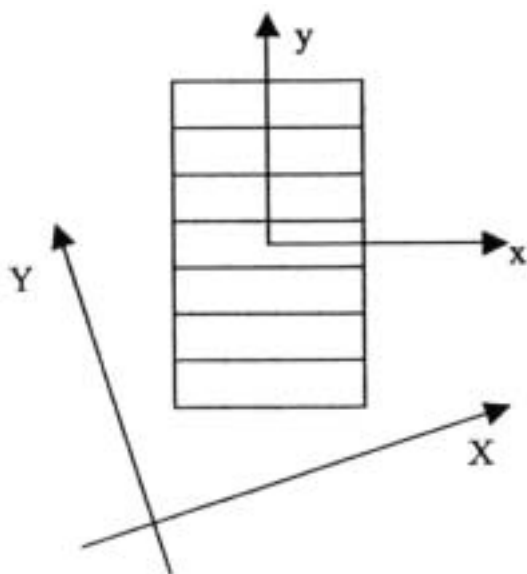
En este método de transformación se puede incluir la corrección de errores sistemáticos como parte de la misma, aunque este hecho hace que la solución sea no-lineal.

Otros aspectos importantes a destacar son que el método se basa en la ortogonalidad de la matriz de transformación y el ajuste mínimo cuadrático no garantiza la obtención de una matriz ortogonal, debido a los errores residuales, y la ya comentada obligación de que los puntos de control no sean coplanares. Para solucionar algunos de estos problemas, o incluso para adaptar el método a situaciones particulares, se han propuesto métodos modificados, como el propuesto por Wang, Y., 1999, llamado SDLT (*Self-calibrating Direct Linear Transformation*), para la orientación de las imágenes de sensores lineales (*pushbroom*). Este modelo no necesita de ningún parámetro del sensor, como la orientación interna, el ángulo de incidencia o la información de efemérides; tampoco requiere de pre-corrección geométrica de los datos originales de la imagen. Todas estas particularidades hacen que este modelo sea ideal para su em-

pleo con imágenes de satélites de alta resolución, de las que no se proporcionan, entre otras, información de las efemérides, como es el caso de ASTER.

Según Wang, Y. (1999), el modelo de orientación basado en la condición de colinealidad queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ 0 &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{aligned} \quad (16)$$



**Figura 9. Sistema de coordenadas de una imagen tomada con un escáner lineal**

Donde  $x, y$  son las coordenadas imagen,  $f$  es la distancia focal,  $X, Y, Z$  son las coordenadas terreno,  $X_s, Y_s, Z_s$  son las coordenadas del centro de proyección de cada línea escaneada,  $A_1, a_2...c_3$  son los componentes de la matriz de rotación, calculadas a partir de los ángulos de Euler  $\omega, \phi, \chi$ .

Como las coordenadas  $X_s, Y_s, Z_s$  y los ángulos  $\omega, \phi, \chi$  son diferentes para cada línea escaneada, normalmente se reducen mediante aproximaciones polinómicas, de forma que:

$$\begin{aligned} X_s &= X_0 + k_1 t + \dots \\ Y_s &= Y_0 + k_2 t + \dots \\ Z_s &= Z_0 + k_3 t + \dots \\ \omega_s &= \omega_0 + k_4 t + \dots \\ \phi_s &= \phi_0 + k_5 t + \dots \\ k &= k_0 + k_6 t + \dots \end{aligned} \quad (17)$$

donde  $k_1, k_2 \dots k_6$  son coeficientes y  $t$  es una variable proporcional al tiempo. Normalmente, la coordenada imagen a la dirección de vuelo puede ser nombrada como  $t$ .

Será por tanto necesario el conocimiento de los valores iniciales de los parámetros de orientación externa ( $X_0, Y_0, Z_0, \omega_0, \phi_0, \chi_0$ ) para obtener los parámetros de orientación interna (distancia focal y punto principal), pero esta información en muchos casos (como con ASTER) no está disponible, por lo que debemos recurrir a aproximar los parámetros de orientación externa a un polinomio de primer orden, es decir, se asume que:

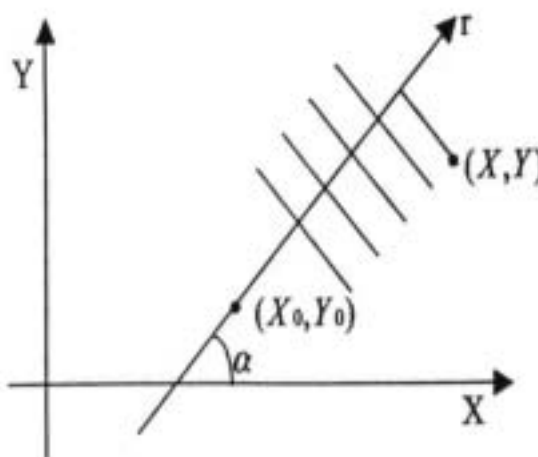
$$\begin{aligned} R &= R_0 \Delta R \\ R_0 &= R_{\omega_0} R_{\phi_0} R_{\chi_0} \\ \Delta R &= R_{\Delta\omega} R_{\Delta\phi} R_{\Delta\chi} = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta k & \Delta\phi \\ \Delta k & 1 & -\Delta\omega \\ -\Delta\phi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (18)$$

Como la coordenada  $y$  coincide con la dirección de vuelo, reescribimos la ecuación de colinealidad de la forma:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} &= \lambda R \Delta R \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \\ &= \lambda R_0 (E + Ky) \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} y \end{aligned}$$

$$\text{con } K = \begin{bmatrix} 0 & -k_6 & k_5 \\ k_6 & 0 & -k_4 \\ -k_5 & k_4 & 0 \end{bmatrix}$$

donde  $E$  es la matriz identidad. Como la imagen es una proyección ortogonal en la dirección  $y$ , la coordenada  $y$  es proporcional a la distancia sobre el terreno en la dirección de vuelo (dirección  $r$  en la figura 10). Por tanto, las coordenadas del centro de proyección de cada línea se pueden expresar como:



**Figura 10. Dirección de vuelo y orientación exterior**

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \\ Z'_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k'_1 \\ k'_2 \\ k'_3 \end{bmatrix} (X \cos \alpha + Y \sin \alpha) \quad (20)$$

donde  $(X'_0, Y'_0, Z'_0)$  y  $(K'_0, K'_0, K'_0)$  son las nuevas incógnitas.

Operando adecuadamente queda que:

$$\lambda \begin{bmatrix} x - k_5fy \\ k_4fy - k_6xy \\ -f - k_5xy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1x + I_2Y + I_3Z + I_4 \\ I_5X + I_6Y + I_7Z + I_8 \\ I_9X + I_{10}Y + I_{11}Z + I_{12} \end{bmatrix} \quad (21)$$

donde  $I_1, I_2, \dots, I_{12}$  son los coeficientes.

El sistema de ecuaciones no es lineal. Podemos aceptar que el error sistemático de rotación en la dirección de vuelo es más pequeño que los propios errores aleatorios, por lo que eliminamos la influencia de  $K_5$  aunque estos efectos deben ser validados mediante test. La relación entre el sistema de coordenadas píxel  $(x_p, y_p)$  y el sistema de coordenadas imagen  $(x, y)$ , es la siguiente:

$$\begin{aligned} X &= S_x X_p + X_0 \\ Y &= S_y Y_p + Y_0 \end{aligned} \quad (22)$$

Donde  $(S_x, S_y)$  son las dimensiones del píxel en ambas direcciones y  $(X_0, Y_0)$  son los parámetros de traslación. Sustituyendo estos valores en las ecuaciones anteriores y eliminando la influencia de  $K_5$ , queda:

$$\begin{aligned} x_p &= \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \\ y_p - L_{12}x_p &= \frac{L_5XL_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \end{aligned} \quad (23)$$

donde  $L_1, L_2, \dots, L_{12}$  son los coeficientes.

Este sistema de ecuaciones corresponde a una transformación lineal entre las coordenadas píxel de la imagen y sus coordenadas terreno, con la inclusión de una corrección a las coordenadas imagen para eliminar los errores sistemáticos (autocalibración).

A esta transformación derivada se le denomina SDLT (*Self Direct Linear Transformation*) y tiene la particularidad de no necesitar los parámetros de orientación interna ni datos aproximados de los parámetros de orientación externa, como la información de efemérides, lo que la hace particularmente adecuada para las imágenes ASTER.

De la misma forma, Mikhail et al., (2000), basándose también en que cada línea de la imagen, tomada en un determinado intervalo de tiempo, puede ser considerada como una imagen perspectiva única, con sólo una dimensión en la dirección  $y$ , y por tanto con sus propios centros de perspectiva y parámetros de orientación, proponen otro modelo de transformación:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix} = kR_{III}R_{II}R_I \left[ R_0^T \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} \right]$$

donde  $R_0$  representa el movimiento inercial de rotación de la Tierra,  $R_I$  representa el movimiento inercial nominal de rotación de la plataforma,  $R_{II}$  representa las diferencias entre los movimientos nominal y real de rotación de la plataforma y  $R_{III}$  representa la rotación del sensor respecto de la plataforma.

Otros investigadores (Fristch, D., Stallmann, D., 2002) proponen modelos basados en los principios rigurosos de la Fotogrametría combinados con ciertas condiciones orbitales de los satélites (movimiento en una órbita elíptica). La posición del sensor en la órbita se deriva de datos orbitales nominales conocidos, mientras que las variaciones de las posiciones de toma de la imagen se modelan mediante un polinomio. Para la autocalibración se añaden dos parámetros adicionales: la distancia focal y la corrección del punto principal. Los parámetros de orientación externa y los adicionales del modelo sensor se determinan mediante un ajuste por mínimo cuadrado. El uso de información adicional de la que podemos disponer puede ser empleado para aproximarnos a algunos de los valores incógnitas.

## 6. LA FORMACIÓN DE MDE CON ASTER

### 6.1. Introducción

La posibilidad de utilización de datos ASTER para la formación de MDE está basada en los principios de la fotogrametría aérea y digital ya empleados en otras misiones anteriores (Lang H.L., Welch, R., 1999), de forma que se puede establecer que la relación entre la elevación de un punto y su paralaje es proporcional a la relación base/altura de la toma.

Los datos que se emplean para la extracción de las elevaciones son los que proporcionan las bandas 3N y 3B del subsistema VNIR y la correspondencia entre los puntos homólogos de la imagen se realiza por estereocorrelación (también llamada correspondencia estereoscópica automática o simplemente técnicas de correlación).

Para calcular la posición de un punto del terreno se aplica el "método de los haces", que, particularizado para este caso, consiste en determinar la posición de un punto del terreno como la intersección de los ejes ópticos de los telescopios oblicuo (vista 3B) y nadiral (vista 3N).

### 6.2. Experiencias en la construcción de MDE con datos ASTER

La investigación en el campo de la construcción de MDE con datos ASTER discurre por dos caminos distintos y, a la vez, conectados entre sí. Por un lado, dentro de los propios objetivos de la misión se incluyó

la producción de MDE como un producto más, que se designa como el STANDARD PRODUCT AST 14. Por otro lado, la intención de que sea la propia comunidad científica la que elabore sus propios MDE, basándose en los principios de la fotogrametría aérea y digital.

El AST 14 es un producto estándar de ASTER que se puede solicitar, previo pago, al DAAC (*Distributed Active Archive Center*). Consiste en un MDE absoluto o relativo (según se proporcionen puntos de apoyo o no) formado a partir de datos del nivel I (bandas 3N y 3B) con el software PCI.

Por cuestiones de tipo programático y económicas, sólo se realiza un MDE por día, con un coste anual aproximado de 260.000\$ USA y de 700\$ USA por escena.

En la tabla 10 se observan los requerimientos de precisión para los puntos de apoyo y las precisiones que en teoría ofrece este producto.

<b>COBERTURA</b>	escena ASTER de 60 km x 60 km
<b>FORMATO:</b>	matriz regular de elevaciones relativas (en m) referidas a la menor elevación de la escena o al nivel del mar y proyectada a UTM.
<b>RESOLUCIÓN</b>	X-Y: 30 m; Z: 1m (menor incremento)

PRODUCT NOMBRE	NUMBER OF GCPs (MINIMUM)	GCP (RMSE <sub>xyz</sub> ) ACCURACY	DEM (RMSE <sub>xyz</sub> ) ACCURACY
Relative DEM	0	N/A	10-30 m*
Absolute DEM	1	15-30 m	15-50 m**
Absolute DEM	4	5-15 m	7-30 m**

\* Z values referred to lowest elevation pixel in the DEM, and "accuracy" is relative to this pixel.

\*\*Z values referred to absolute vertical datum (mean sea Level).

**Tabla 10. Características del producto ASTER DEM (Lang, H.L., Welch, R., 1999)**

En los últimos años han ido apareciendo instituciones y entidades, tanto públicas como privadas, equipos de investigación, universidades, etc., que valorando las enormes posibilidades de la fotogrametría espacial y, más concretamente, de la aplicación de los datos e imágenes ASTER para la formación de modelos digitales de elevaciones y ortofotos, han desarrollado técnicas y métodos específicos para este tipo de trabajos. De esta forma se ha intentado paliar el déficit en la producción de MDE por parte del equipo científico de la misión ASTER, además de mejorar en gran medida los resultados finales. Nos encontramos con dos escenarios distintos y a la vez interconectados, como son:

- Empresas dedicadas al desarrollo de software y hardware fotogramétricos, que han adaptado sus productos a las nuevas necesidades de

los datos espaciales y las imágenes de satélite. Entre éstas, podemos citar PCI Geomática OrthoEngine (PCI Geomatics), Desktop Mapping System (DMS) (R-WEL), ERDAS Imagine OrthoBASE Pro (ERDAS), etc.

- Las universidades y centros de investigación, que están desarrollando algoritmos y software específicos adaptados a estas nuevas necesidades (Al-Rousan, N, Petrie, G., 1998), (Fritsch, D., Stallmann D., 2002), (Lee, H-Y., et al., 2000), (Pa-papanagiotu, E. G., Hatzopoulos, J, 2000), (Kääb, A, 2002).

En definitiva, se pretende que con un equipo relativamente modesto y un software adecuado, sea de diseño propio o no, y obteniendo los datos e imágenes ASTER, proporcionados prácticamente sin coste a través de INTERNET, un equipo de investigación pueda construir un MDE de cualquier parte del mundo con precisiones medias.

Existen instituciones y grupos de investigación que ya han realizado los primeros trabajos, pero aún están en fase de validación y comprobación, por lo que la bibliografía existente resulta bastante escasa, y la que existe normalmente se limita a la exposición de datos y resultados simulados antes del lanzamiento de la plataforma. No obstante, el enorme interés que despierta este tema en la comunidad científica hace que sucesivamente se realicen proyectos y trabajos que, sin duda, ayudarán a mejorar e implantar una técnica adecuada y que esté totalmente contrastada.

Para hacernos una idea de las posibilidades de construcción de MDE con datos ASTER en la actualidad, a continuación se expondrán algunos trabajos.

#### Revisión de los estudios realizados

La bibliografía que trata sobre la formación de MDE con datos ASTER es hasta el momento escasa. En la más antigua, los autores se limitan a exponer la posibilidad de construir MDE con estos datos, ofreciendo unos valores de ECM simulados. Normalmente son publicaciones de los miembros vinculadas al equipo científico de la misión previas al lanzamiento de la plataforma o cuando los datos enviados todavía no son aprovechables (Yamaguchi, Y., et al. 1999) (Yamaguchi, Y. et al, 2001). Desde el punto de vista de este artículo no tienen mucho interés, ya que la información que se obtiene es meramente descriptiva y no basada en trabajos reales. Por otra parte, existen estudios basados en datos reales y que despiertan un mayor interés científico:

- **Davis, A. M. Liu J.G (2000)**. Realizan estudios en la montaña Bogde Shan, al NO de China, y en Nevada (EE.UU.) empleando datos ASTER nivel IA y nivel IB, por separado, utilizando el software Virtuozo para el proceso fotogramétrico y generación del MDE. Los puntos de apoyo se miden con GPS o se obtienen de mapas topográficos existentes.



## POCKET & TABLET CARTOMAP 5.6

*Pocket y Tablet CARTOMAP* facilitan 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...) y Tablet PC (UMPC, Toughbook...).

La rapidez, calidad y funcionalidad de *Pocket y Tablet CARTOMAP 5.6* 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.

*Tablet CARTOMAP* facilita la comunicación 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
- Modelos Digitales del Terreno
- Curvado
- CAD 2D/3D
- Croquis automático asociativo
- Perfiles longitudinales
- Perfiles transversales
- Rasantes
- Replanteo
- Control de calidad
- Secciones tipo
- Ficheros Shapefile 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 & TABLET CARTOMAP

## ¡Desde 625€!

licencia adicional de CARTOMAP Básico "Topografía y Curvado"

ANEBA Geoinformática, S.L.  
BARCELONA • MADRID • HAMBURGO  
info@aneba.com • Tel. 933.633.820

Tras la construcción de los MDE (uno partiendo de datos nivel IA y otro con datos del nivel IB) y comparándolos cualitativa y cuantitativamente con el MDE (30 m) del USGS, tienen como resultado que el MDE construido con datos del nivel IB se ajusta más al MDE del USGS, por lo que recomiendan emplear datos ASTER del nivel IB para la construcción de MDE.

En cuanto al análisis del error, obtienen resoluciones espaciales de 30-45 m y precisiones en las elevaciones de unos 20 m (sic).

- **Toutin, Th y Chen, Ph (2001).** Realizan un estudio en Drum Mountains, Utah (USA). Ésta es una zona con topografía consistente en un 40% de superficie quebrada, con cadenas montañosas que van desde los 1.300 a los 2.600 m sobre el nivel del mar, y un 60% de superficie relativamente plana. Se genera el MDE mediante software PCI Geomatics OrthoEngine, que aplica modelos rigurosos basados en las condiciones de coplanaridad y colinealidad usando las bandas 3N y 3B de VNIR.

En este trabajo emplearon 8 puntos de apoyo y 6 puntos de control independientes tomados con GPS, con precisiones de ± 1 m; los primeros son puntos de los bordes de las imágenes, con altitudes máximas y mínimas; los segundos se tomaron en la parte central de la imagen. Tras el análisis de los resultados obtenidos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se pueden utilizar imágenes ASTER para realizar mapas de escalas 1:100.000 a 1:50.000 y para la construcción de MDE.
- Los datos "estéreo" tomados a lo largo de la trayectoria eliminan las variaciones radiométricas cuando hacemos el *image matching*.
- Con puntos de apoyo precisos (± 1 m) se pueden generar MDE con precisiones mejores de 25 m.
- Cuando las imágenes y la zona de estudio son óptimas, podemos obtener precisiones mayores de 10 m (83% de confianza) a 17 m (90% de confianza).
- Por lo tanto, se pueden obtener curvas de nivel desde el MDE con equidistancia de 30 m partiendo del ASTER DEM.

- **Kääb, A. et al. (2002).** Realizan un estudio consistente en la monitorización de deformaciones en zonas de alta montaña. El control de error

se realizó mediante medidas fotogramétricas manuales (punto a punto), obtenidas de un MDE obtenido de cartografía 1:30.000, con un paso de malla de 25 m.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- EMC de 60 m para toda la zona de trabajo, en general.
- EMC de 18 m en zonas de topografía moderada, aún dentro de la alta montaña.

- **Hirano, A. et al. (2003).** Con el fin de comprobar las previsiones ofrecidas en los MDE ASTER, previas al lanzamiento de la plataforma Terra, este equipo de investigación realizan MDE ASTER de cuatro zonas geográficamente dispersas, como son: Monte Fuji (Japón), los Andes (frontera entre Chile y Bolivia), San Bernardino (California, USA) y Huntsville (NE de Alabama, USA), cada una con distintas características topográficas.

El software fotogramétrico usado fue Desktop Mapping System (DMS) (R-WEL). Para las orientaciones se emplearon puntos de apoyo tomados directamente desde mapas topográficos existentes o bien tomados con GPS.

El análisis de los resultados obtenidos, se resume en la tabla 11.

Study area and DEM parameters	Image-to-image registration (pixel)	Image-to-ground registration Number of GCPs (source)	Image-to-ground registration RMSExy (pixel)	Completeness of stereo-correlation (percent success)	Number of check points (source)	RMSEz (m)
Mt. Fuji 1600 x 1400 pixels (24x21 km) 75 m posting	± 0,85	5 map points (1:25.000)	6 m (± 0,4)	97	51 map points (1:25.000)	± 26,3
Andes Mountains 3700 x 3800 pixels (55,5x57 km) 150 m posting	± 0,76	5 map points (1:50.000)	19,5 m (± 1,3)	99	53 map points (1:50.000)	± 15,8
San Bernardino 1500 x 1500 pixels (22,5x22,5 km) 75 m posting	± 1,13	12 DGPS points	18 m (± 1,2)	99	16 map points (1:24.000)	± 10,1
Huntsville 1500 x 1800 pixels (22,5x18 km) 30 m posting	± 0,62	8 DGPS points	9 m (± 0,6)	97	39 DGPS points 512 DGPS points (kinematic) 239,776 posts (USGS DEM)	± 7,3 ± 11,1 ± 14,7

**Tabla 11. Resumen de los datos de partida y resultados de diferentes ASTER DEMs, obtenidos con el software Desktop Mapping System (DMS)TM (R-WEL) (Hirano, A., et al., 2003)**

- **Cuartero, A. (2003).** Presenta un estudio muy detallado sobre el análisis de MDE formados con datos ASTER, donde se analiza, entre otras cuestiones, la influencia que el número de puntos de apoyo tiene sobre el error final del MDE y la influencia de la distribución de estos puntos en los resultados de los ajustes de las imágenes.

Las pruebas experimentales se realizaron con el software ERDAS Imagine OrthoBASE Pro y PCI Geomatica OrthoEngine, obteniendo errores de elevación comprendidos entre los 13,9 y 37 metros, equivalentes a 0,9 y 2,5 píxeles respectivamente.

Los puntos de apoyo y control empleados pertenecen a datos existentes, identificados sobre imágenes SPOT-HRV, por lo que los resultados obtenidos han estado influenciados por la dificultad de identificar estos puntos en las imágenes TERRA-ASTER.

### 6.3. Resultados y análisis de un trabajo real.

De la bibliografía revisada se puede deducir que es posible la realización de MDE con datos ASTER. También podemos observar que no existe un consenso en la metodología a seguir, tanto en la procedencia, el número y la distribución de los puntos de apoyo y de control, como en el tipo de software más idóneo a emplear. Respecto a los puntos de apoyo y de control, las procedencias son tan variadas como las posibles fuentes: mapas topográficos, MDE existentes, observaciones GPS ideadas para otros fines, mediciones fotogramétricas, etc. En el caso del software, la elección no se hace en base al proceso matemático que se emplea (casi siempre desconocido), sino más bien es función de la pura disponibilidad del mismo.

Uno de los propósitos de esta memoria es analizar la posibilidad de construcción de un MDE empleando datos ASTER nivel LIA y obtención de ECM en la coordenada Z empleando puntos de apoyo y de control y software comercial expresamente ideado para este tipo de imágenes, como es el módulo Aster DTM 2.0<sup>4</sup>, Research Systems<sup>5</sup>, que presenta dos ventajas importantes: permite procesar las imágenes tanto desde el punto de vista de la teledetección convencional como del de la fotogrametría; es un sistema abierto y programable y, por tanto, idóneo para la investigación, pues permite que el usuario pueda intervenir en el proceso de formación del MDE mediante la programación de algoritmos adecuados.

#### Decisiones previas

Selección de la zona de estudio y adquisición de la escena ASTER. Como el objetivo de este apartado es la construcción y posterior análisis de la resolución altimétrica de un MDE con datos ASTER empleando la aplicación ASTERDTM 2.0, conviene que la escena sea variada, con

zonas con relieve y zonas más o menos llanas. Se seleccionó una escena que cubre la Sierra de las Villuercas, situada al NE de Extremadura. (España).

Las escenas ASTER se distribuyen a través del EOSDG (*Earth Observing System Data Gateway*) y una vez solicitadas pueden descargarse, previo pago, mediante FTP.

Una tarea importante es la selección adecuada de la escena que se desea adquirir, prefiriendo las tomadas próximas al solsticio de verano, con el fin de evitar sombras en la imagen. Asimismo, se evitan las nubes y se procura que sea lo más reciente posible. La búsqueda y petición de la escena se realiza en <http://edcimswww.cr.usgs.gov/publimswelcome/>

#### Material y aplicaciones informáticas disponibles

Para la realización de los trabajos previos disponemos del siguiente material:

- (1) 2 receptores GPS Leica System 300.
- (2) Leica SKI-Pro ver. 2.5.
- (3) ENVI ver. 3.6 (RSI, <http://www.rsinc.com/>)
- (4) ASTERDTM ver. 2.0 (RSI)
- (5) ArcView GIS 3.2. (ESRI, <http://www.esri.com/>)
- (6) Excel 2000 (Microsoft)

El material 1 y 2 se emplea para la observación y cálculo de las coordenadas de los puntos de apoyo y control.

El designado en los puntos 3 y 4 se utiliza para tareas complementarias, como identificación de puntos de apoyo y líneas de control, pero principalmente para la construcción del MDE (AsterDTM 2.0). Las aplicaciones Arcview (Sistema de Información Geográfica) y Excel 2000 (Hoja de Cálculo), se utilizan para el control del error.

#### Sistema de coordenadas a emplear

El MDE que queremos construir se realizará en el ETRS 89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) con representación plana en proyección UTM (*Universal Transverse Mercator*) y con alturas elipsóidicas, por lo que deberemos apoyar los trabajos de campo en vértices REGENTE (Red Geodésica Nacional observada por Técnicas Espaciales), cuyo elipsoide asociado es el GRS80 (en la práctica idéntico al WGS84).

El motivo de esta elección se basa en lo siguiente:

1. Los productos cartográficos oficiales en nuestro país se desarrollan actualmente bajo el sistema de referencia oficial, que es el ED50 (*European Datum 1950*), con altitudes ortométricas referidas al nivel medio del mar en Alicante. No obstante, es previsible que en un futuro no muy lejano, con el fin de unificar toda la cartografía europea,

<sup>4</sup> <http://www.envi.com.br/asterdtm>

<sup>5</sup> <http://www.rsinc.com/>

se cambie al ETRS-89 y, por tanto, sería deseable que nuestro trabajo no pierda vigencia por este motivo.

2. Los trabajos de campo para la observación de los puntos de apoyo y puntos de control se realizarán con técnicas GPS, que refieren sus observaciones, tanto planimétricas como altimétricas, al elipsoide WGS84 (que, recordemos, es idéntico al GRS80), por lo que tendremos mayor consistencia en nuestros resultados (sobre todo en el cálculo de los parámetros de transformación de un sistema a otro) si tanto las coordenadas de los vértices geodésicos empleados como las proporcionadas por los receptores GPS están referidas a elipsoides idénticos.

### **Toma de datos en campo y cálculos realizados**

Con el fin de disponer de datos fiables, tanto para el apoyo de la imagen como para el posterior análisis de la resolución altimétrica, durante el mes de agosto de 2003 se procedió a la planificación y toma de datos en campo, mediante tecnología GPS, tanto de los puntos de apoyo como de los puntos de control.

La campaña se desarrolló en las siguientes fases:

1. Selección de la cartografía del MTN50 (Mapa Topográfico Nacional escala 1:5000) y del MTN25 (Mapa Topográfico Nacional escala 1:25000) en algunas zonas donde la primera no estaba actualizada, que cubriera toda la imagen ASTER.
2. Identificación de los vértices geodésicos de cada hoja, tanto los pertenecientes al sistema ED-50 como aquellos que pertenecen a REGENTE.
3. Identificación de los puntos de apoyo, consistentes en puntos reconocibles en la imagen y en la cartografía, convenientemente distribuidos por la imagen.
4. Selección de caminos, pistas y carreteras poco transitadas para la observación de líneas de control mediante técnicas GPS en modo cinemático.
5. Observación GPS diferencial (DGPS) en modo estático utilizando los vértices geodésicos seleccionados para el cálculo de los parámetros de transformación del sistema WGS84 a ETRS89 (proyección UTM).
6. Cálculo y ajuste de los parámetros de transformación.
7. Observación de los puntos de apoyo y de las líneas de control mediante técnicas DGPS, los primeros en modo estático y las segundas en modo cinemático.
8. Procesado y cálculo de los puntos de apoyo y de control observados, obteniendo 29 puntos de apoyo, con precisión de  $\pm 10$  cm, y unos 5000 puntos de control (extraídos de las líneas de control) con precisión estimada de  $\pm 50$  cm, todos en coordenadas UTM ETRS89, con altitud elipsoidal.

### **Construcción del MDE**

Para la construcción del MDE utilizaremos la aplicación informática AsterDTM vr. 2.0, soportada por la aplicación ENVI ver 3.6, con capacidad para extraer valores de elevación partiendo de imágenes ASTER nivel IA y IB (bandas 3N y 3B).

Cada imagen ASTER contiene un estereopar, ya que se observa la misma zona desde dos puntos de vista con ángulos diferentes. De esta forma, el estereopar está formado por las bandas 3N y 3B del VNIR, con 15 metros de resolución espacial. El software AsterDTM convierte estas dos bandas en un par de imágenes cuasi-epipolares, que tienen un desplazamiento de los píxeles en la dirección del vuelo del satélite que es proporcional a la elevación de cada píxel. Para determinar estos desplazamientos, que se transformarán en valores de elevación, se utilizan técnicas de correlación.

Al margen de los principios fotogramétricos básicos consistentes en la explotación de las vistas estereoscópicas para reconstruir el relieve, seguimos sin conocer cuáles son los algoritmos matemáticos que la aplicación emplea en el tratamiento de las imágenes, qué modelo de sensor utiliza para las orientaciones, etc., aún habiéndolos solicitado, sin éxito, a la empresa suministradora, como ocurre con la mayoría de las aplicaciones, lo que desvela una opacidad que obedece a intereses comerciales (por otra parte lógicos).

Nos limitamos, por tanto, a describir el flujo de trabajo, que sigue los siguientes pasos:

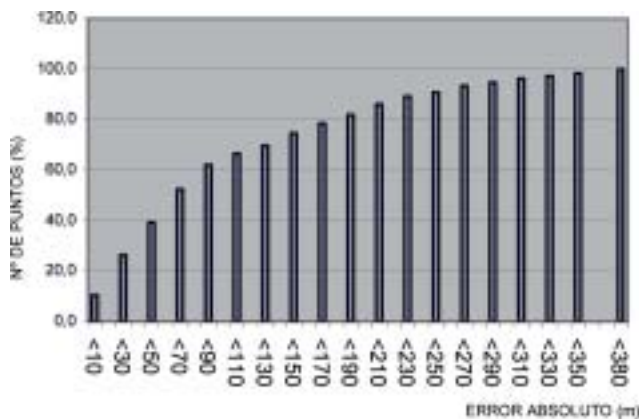
1. Abrir el fichero ASTER HDF (nivel IA) con *ASTER Input file*. En nuestro caso, este fichero es el pg-PR1A0000-2001060401-027-010, correspondiente al fichero HDF de la imagen seleccionada para este trabajo. Automáticamente se despliegan las bandas de los subsistemas VNIR, SWIR y TIR; para la formación del MDE tendremos que seleccionar las bandas del subsistema VNIR.
2. Correcciones radiométricas y geométricas de las bandas del nivel IA para transformarlas en bandas del nivel IB.
3. Asignación de un nombre al fichero de salida del MDE (pg-PR1A000-2001060401-027-010DEM) y definición de sus características espaciales.
4. Importación de los puntos de apoyo. Aunque AsterDTM tiene la posibilidad de utilizar los puntos de apoyo que se encuentran en el fichero HDF (en el apartado de efemérides) de la imagen ASTER, éstos no tienen la suficiente exactitud para los objetivos que nos proponemos. Por ello, identificaremos de forma minuciosa los puntos de apoyo tomados en campo, sobre la imagen y le asignaremos las coordenadas (x, y, elevación) correspondientes a cada uno de ellos. De esta forma tendremos un fichero de puntos de apoyo. Esta operación la realizaremos desde la ventana *Ground Control Points*

Collection, eligiendo la opción File ⇒ Save GCPs w/map coords. En nuestro caso, obtenemos el fichero llamado Puntosvilluercas.pts, que será transferido al módulo AsterDTM con el comando GCP Input file.

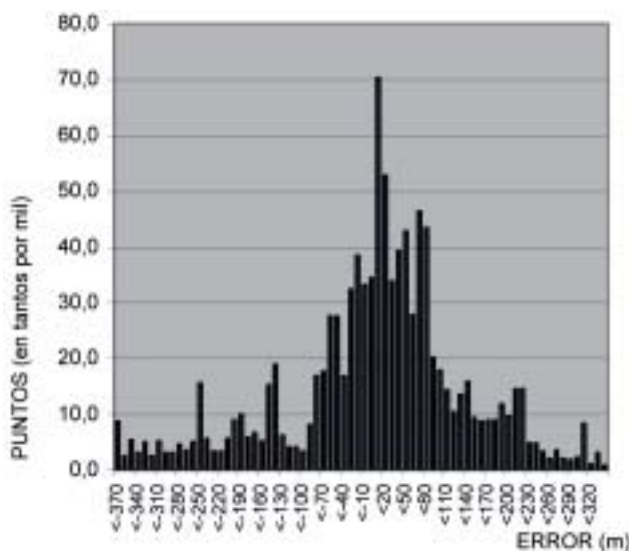
- Extracción del MDE. Con los datos y fases anteriores realizadas, se procede a la formación del MDE propiamente dicho, utilizando el comando Start ASTERDTM Extraction. El proceso se realiza con cuatro pasadas de correlación más el postproceso. Una vez finalizado, podemos visualizar el coeficiente de correlación alcanzado.

**Control del error**

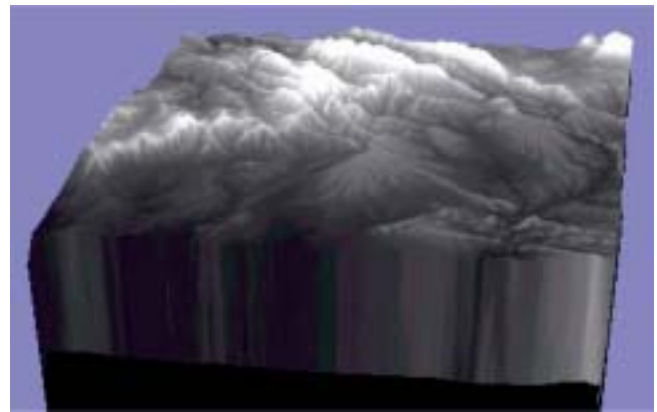
Una vez que hemos construido el MDE, tenemos un producto del que no conocemos su calidad. Para determinar el nivel de error que se comete en las elevaciones del MDE, debemos recurrir a los cerca de 5.000 puntos extraídos de las líneas de control tomadas en campo mediante técnicas DGPS en modo cinemático, con precisión estimada de ± 50 cm en sus coordenadas.



**Figura 11. Histograma de frecuencias relativas agrupadas.**



**Figura 12. Histograma de frecuencias relativas.**



**Figura 13. Perspectiva 3D del MDE generado.**

El método a seguir es comparar el dato de elevación que proporciona el MDE para cada punto, con el dato que tenemos de las observaciones de campo. Par ello, empleamos el Sistema de Información Geográfica Arcview 3.2. (ESRI) y la Hoja de Cálculo Excel 2000 (Microsoft).

Del análisis realizado, obtenemos los histogramas de frecuencias de las figuras 11 y 12. En la figura 13 tenemos una perspectiva 3D del MDE generado.

**7. CONCLUSIONES**

De todo lo expuesto anteriormente, podemos deducir las siguientes conclusiones:

- Se pueden obtener modelos digitales de elevaciones partiendo de imágenes ASTER VNIR 3N, 3B.
- Que el tratamiento de estas imágenes para ese fin necesita de un software adecuado a los datos estándar que se proporcionan, en cuanto a datos de efemérides, posiciones de toma, etc., lo que implica el uso de modelos de transformación específicos y rigurosos que deben tener en cuenta el movimiento de la plataforma sobre una órbita elíptica, además de las características propias de los sensores lineales, en los que cada línea de la imagen tiene su propia perspectiva.
- De entre los modelos de sensor que se han revisado, consideramos que el más adecuado para el tratamiento particular de las imágenes ASTER es el DLT, o más bien un modelo derivado, como el SDLT, que tiene en cuenta las circunstancias y particularidades anteriores, referentes a falta de determinados datos de efemérides esenciales para el cálculo y el movimiento del sensor lineal a través del tiempo sobre una órbita elíptica.

Estos modelos basan sus resultados en la calidad, distribución y número de los puntos de apoyo, por lo que la fase de toma de éstos debe estar adecuadamente planificada (Shin, D., et al., 1999), (Cuartero, A. 2003).

4. Existe una gran dependencia de las casas comerciales que desarrollan software adecuado, en cuanto a las posibilidades del análisis de los procesos, ya que suelen comportarse como "cajas negras", sin indicar claramente qué modelos matemáticos utilizan (por otra parte razonable desde el punto de vista comercial), lo que obliga a los usuarios a analizar y validar los resultados tras el proceso, es decir, el usuario en la mayoría de los casos no sabe exactamente de qué forma se están procesando sus datos y solamente puede validar estadísticamente unos resultados obtenidos en unas condiciones y circunstancias particulares (calidad de la imagen, geometría, condiciones de toma, número y distribución de los puntos de control terrestres, etc.).

Lo mismo ocurre cuando se pretende hacer una evaluación de varios sistemas de distintas casas comerciales, ya que podemos obtener conclusiones de los resultados obtenidos por cada uno de ellos, pero no de forma general, sino atendiendo a las condiciones y circunstancias particulares anteriores.

Este problema se podría solucionar con el desarrollo de una aplicación por parte del equipo de trabajo que lo vaya a utilizar, pero esto no es tarea fácil, ya que se necesita la participación de personal muy especializado.

5. El empleo de imágenes ASTER para la formación de modelos digitales de elevaciones de mediana resolución, así como para otras aplicaciones de Teledetección (Zhu, G., Blumerg, D.G., 2002), supone un considerable ahorro económico para los proyectos y trabajos de investigación, ya que estas imágenes son prácticamente gratuitas (su coste es de 55\$ USA) frente a costes tan elevados como los de las imágenes de IKONOS, MOMS, SPOT, etc. Esto hace que se pueden emplear estos recursos económicos en otras fases, como la toma de puntos de apoyo y de control en campo o la adquisición de equipos de hardware y desarrollo de software para el tratamiento de los datos, o bien hacer que los trabajos y proyectos de investigación sean más asequibles a las entidades que los fomentan.

Sería deseable que los nuevos proyectos de satélites con resoluciones de 30 m o mayores, como IKONOS Block 2, ISI Eros-B1 a B6, Cartosat 2, NEMO, ARIES, etc., tuvieran en cuenta estas circunstancias por el bien de la comunidad científico-tecnológica mundial.

## 8. REFERENCIAS

- Al-Rousan, Petrie, G., *System calibration, Geometric testing and validation of DEM & Orthoimage data extracted from SPOT stereopairs using commercial available image processing systems*, IAPRS, Vol. 32, part. 4 'GIS-Between Visions and Applications': Stuttgart, 1998.
- Altmaier, A., Kany C., Digital surface model generation from CORONA satellite images, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, 221-235, 2002.
- Cuartero, A., Análisis de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) generados con imágenes SPOT-HRV y TERRA-ASTER. Tesis doctoral, Universidad de Jaén, 2003.
- Davis, A.M., Liu J.G., DEM generation using ASTER Stereo imagery, *GRSG*, 2000.
- ERSDAC, 2001. ASTER User's Guide Part. I, Part. II, (Ver. 3.1).
- ERSDAC, 2003. Aster User's Guide Part III, DEM Product (L4A01).
- Fraser, C.S., et al., Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56,177-194, 2002.
- Fritsch, D., Stallmann D., *Rigorous Photogrammetric Processing of High Resolution Satellite Imagery*, ISPRS, Vol. XXXIII: Amsterdam, 2000.
- GEOSYSTEMS SUPPORT INFO, ASTER Data Processing, *DEMS and Orthoimages from ASTER Data*, GEOSYSTEMS GmbH: Alemania, 5 p., 2002 (inédito).
- Hirano, A., et al., Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1255, article in press,1-15, 2003.
- JPL, 2001 ASTER Higher-Level Product user Guide (Ver. 2.0).
- Kääb, A., Monitoring high-mountain terrain deformation from repeated air-and spaceborne optical data: examples using digital aerial imagery and ASTER data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1232, article in press, 2002.
- Kääb, A. Et al., Glacier monitoring from ASTER imagery. Accuracy and Applications. EARSEL Proceedings. LIS-SIG Workshop. Berne, March 11-13, 2002.
- Lang, H.R., Welch, R., *Algorithm Theoretical Basis Document for Aster Digital Elevation Models (standard product AST14)*, JPL, University Of Georgia: EEUU, ATBD-AST-08, 69 p., 1999.
- Lee, H-Y., et al., *The development of an accurate DEM extraction strategy for satellite image pairs using epipolarity of linear pushbroom sensors and intelligent interpolation scheme*, IAPRS, Vol. XXXIII, Part. B3: Amsterdam, 2000.
- Mikhail, E. M., et al., *Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sons, Inc.: New York, 2000.
- Papapanagiotu, E. G., Hatzopoulos, J., *Automatic extraction of 3D model coordinates using digital stereo images*, IAPRS, Vol. XXXIII, Part. B4: Amsterdam, 2000
- Sadeghian, S., et al., Precision rectification of high resolution satellite imagery without ephemeris data, *JAG*, 3,4,366-371, 2001.
- Schenk, T., *Fotogrametría digital. Geomática*, Marcombo: Barcelona, 2002.
- Shimoji, T., et al., Dem generation by satellite imagery and its accuracy, *GISdevelopment*, 1995, <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1995/ts3/ts3004pf.htm>
- Shin, D., et al., The Characterization of ground point distribution patterns for the performance assessment of camera models, *GISdevelopment*, 1999.
- Toutin, Th., Cheng, Ph, DEM generation with ASTER Stereo Data, *Earth Observation Magazine*, 10, 6, 10-13, 2001.
- Wang, Y., *Automated Triangulation of linear scanner imagery*, Proc. Joint ISPRS Workshop of Sensors and Mapping from Space, Vol. XXXII: Hannover, 1999.
- Yamaguchi, Y., et al., Aster early image evaluation, *Advances in Space Research*, 28,1,69-76, 2001.
- Yamaguchi, Y., et al., Aster instrument characterization and operation scenario, *Advances in Space Research*, 23,8,1415-1424, 1999.
- Zhu, G., Blumerg, D.G., Classification using ASTER data and SVM algorithms: The case study of Beer Sheva, Israel, *Remote Sensing of Environment*, 80, 233-240, 2002. ■

# 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.

# Posibilidades de uso de equipos GPS de bajo coste en aplicaciones geodésicas de precisión

Volker Schwieger y Andreas Gläser

INSTITUTO DE GEODESIA APLICADA A LA INGENIERÍA (UNIVERSIDAD DE STUTTGART)

## Resumen

*El GPS es empleado en la topografía y la geodesia con muchos fines, tales como los levantamientos topográficos, catastrales, de ingeniería o para enlazar sistemas de coordenadas intercontinentales. En general, en la mayoría de estas aplicaciones se emplean receptores geodésicos GPS de doble frecuencia. Pese a la reducción de los precios de estos receptores, siguen siendo demasiado caros para los topógrafos de los países en vías de desarrollo. En consecuencia, merece la pena investigar las posibilidades de emplear receptores GPS de bajo coste.*

*En este artículo se presenta un procedimiento para determinar coordenadas con exactitud empleando receptores comerciales GPS de bajo coste. Estos receptores, del tipo de los Garmin eTrex Vista, emplean para el posicionamiento un código de fase suavizada. Debido a la falta de memoria interna, en este tipo de receptores los datos de fase y de código se transfieren en tiempo real a un ordenador portátil. El archivo Rinex almacenado se procesa posteriormente empleando el programa Ski-Pro de Leica.*

*También se presenta en este artículo el post-proceso de líneas de base de 100 metros a 8 kilómetros. La desviación máxima tridimensional de las coordenadas estimadas con respecto a las coordenadas de referencia es de 8 centímetros, en un periodo de 30 minutos, si se evitan los efectos negativos de las trayectorias múltiples (multipath).*

## Abstract

*The Global Positioning System (GPS) is used for many purposes in surveying and geodesy like cadastral surveys, engineering surveys or intercontinental coordinate frames. In general geodetic two-frequency GPS receivers are used for most of these applications. Despite the reduction of expenses for these geodetic GPS receivers frequently the costs are too high for surveyors in developing countries. Consequently investigations regarding the possibilities of low cost GPS receivers are worthwhile.*

*The authors will present a procedure to determine precise coordinates by GPS using commercial low cost GPS receivers. These receivers like the Garmin eTrex Vista use phasesmoothed code for positioning. The phase and the code data of the receivers are transferred to a notebook in real-time due to the lack of memory within the used receivers. The stored RINEX file is post-processed using the SKI-Pro software of LEICA thereafter. Within the paper the post-processing of baselines from 100 m up to 8 km is presented. The maximum three-dimensional deviation of the estimated coordinates of the reference coordinates is 8 cm for 30 minutes observation period, if strong multipath is avoided.*

## I. TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTE PARA LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Debido a las restricciones económicas, la ejecución de los trabajos de levantamiento topográfico suele estar condicionada desde un punto de vista financiero. Estas restricciones son válidas tanto para los países en vías de desarrollo como para los desarrollados. Pero los razonamientos que emplean las compañías que efectúan los trabajos topográficos son diferentes en cada tipo de país. Las compañías de los países desarrollados agilizan sus procesos de construcción e intentan economizar en costes de mano de obra, debi-

do a lo elevado de los salarios. En algunos países desarrollados, como Japón, las empresas constructoras tienen menos personal del necesario, lo que también lleva a una agilización y automatización de los procesos de construcción. En contraposición, en la mayoría de los países en vías de desarrollo la mano de obra es barata y asequible. En consecuencia, las economías se efectúan en las inversiones, tales como la adquisición de instrumentos topográficos. La comisión V de la FIG aborda la "entrega a los países en vías de desarrollo de una tecnología y de unas técnicas topográficas económicas y eficaces" (FIG 2004) para ayudar a hacer una topografía más eficaz en cuanto a costes.

En este artículo se propone el uso de receptores GPS que pueden ser adquiridos por unos pocos cientos de euros. Estos receptores pueden utilizarse para la adquisición de geodatos y para lo que aun supone un mayor reto, aplicaciones geodésicas de precisión. Para los topógrafos de los países en vías de desarrollo el beneficio de esto será enorme, debido a que las inversiones en equipos GPS se verán reducidas en un factor de aproximadamente cien. A continuación se presentan también algunas investigaciones concernientes a la medición de líneas de base usando receptores Garmin eTrex Vista. A instancias de Schwiieger (2003) se emplearon dos equipos Garmin eTrex Vista para determinar líneas de base con muy bajo coste. Adicionalmente, la longitud de las líneas de base se extendió hasta los 8 kilómetros.

## 2. POTENCIAL DEL GPS DE BAJO COSTE

El Sistema de Posicionamiento Global GPS se emplea en aplicaciones muy distintas y que requieren muy diferentes niveles de precisión, así como diversos niveles de fiabilidad y disponibilidad. En lo que sigue, el artículo sólo tratará de los distintos niveles de precisión en el posicionamiento estático. La tabla 1 lista las clases de receptores, las aplicaciones típicas y los niveles de precisión. La distinción entre la adquisición de geodatos según los diversos receptores geodésicos, no queda clara en cualquier caso. A veces, para la adquisición de geodatos se emplean receptores geodésicos monofrecuencia.

Si comparamos esta precisión con las posibles técnicas de medición con GPS, es obvio que necesitamos realizar mediciones de fase para alcanzar la precisión requerida por las aplicaciones geodésicas. Además de la gran diferencia en el nivel de precisión, los costes de adquisición de los diferentes tipos de receptores muestran también grandes diferencias.

Para alcanzar una alta calidad en el post-proceso de las mediciones de fase se deben emplear receptores geodésicos, de doble frecuencia o monofrecuencia, caros y de gama alta. Una alternativa a esto es el uso de los denominados OEM-boards, que pueden ser integrados en una libreta u otro dispositivo electrónico. Algunas de estas tarjetas OEM-boards suministran datos de fase y, a veces, son idénticas a las incluidas en los receptores geodésicos, en cuyo caso los resultados son idénticos. Estas tarjetas son caras, lo que las excluye como alternativa a los recep-

tores de bajo precio. Otra pega es el hecho de que estas OEM son difíciles de manejar por los empleados de la empresa topográfica. Así que, como conclusión, hay que señalar que las tarjetas OEM no son una solución orientada hacia la tecnología rentable y de bajo coste.

El uso de los receptores que emplean un código de fase suavizado puede estar justificado en la adquisición de datos para las aplicaciones SIG. Su precisión es limitada, debido al uso del código como magnitud primaria de la medición. En consecuencia, no pueden emplearse sin modificaciones en las aplicaciones de precisión.

En conclusión, se necesitan las observaciones de fase para alcanzar unos niveles de precisión que alcancen el nivel decimétrico, o incluso el centimétrico. En Hill y alumnos (2001) y Schwiieger (2003) se informa de algunos experimentos realizados empleando receptores Garmin. Los resultados fueron alentadores. La precisión alcanzada estuvo por debajo del decímetro, aunque se presentan algunos puntos alejados incluso algunos decímetros. Este artículo tratará de ampliar el rango de las aplicaciones de los conocidos como receptores GPS de bajo coste, también llamados receptores GPS portátiles.

A continuación, se va a exponer cómo el uso de los receptores GPS de bajo coste reduce los costes de los trabajos topográficos en los países en vías de desarrollo e incluso en los desarrollados. Para la comparación que se va a efectuar a continuación se asume que el coste del salario en los países desarrollados (Alemania; Hoai 2002) es de 66 euros por hora y de 7 euros por hora en los países en vías de desarrollo (India; Wiegel 2004). Se supone que un receptor GPS de bajo coste cuesta alrededor de los 500 euros, en contraposición con los 25.000 que puede costar un receptor geodésico. Para las mediciones se necesitan dos receptores. En la variante de bajo coste se incluye adicionalmente el coste de dos libretas electrónicas de campo y del software necesario (aproximadamente unos 3.000 euros). En la técnica de bajo coste es esencial emplear un software de post-proceso de alrededor de unos 5.000 euros, así como con los equipos geodésicos de precisión. Asumimos que el tiempo de depreciación de la inversión es de 3 años, que en el año hay 200 días hábiles de trabajo y que el número de horas de trabajo al día es de 8. Como simplificación, sólo se emplea un ingeniero en los receptores. En la figura 1 se tienen en cuenta la inversión y los costes salariales en estas dos opciones.

**Tabla 1. Tipos de receptores, sus aplicaciones y los niveles de precisión en el posicionamiento estático**

<i>Tipo de receptor</i>	<i>Señal empleada</i>	<i>Aplicaciones</i>	<i>Precisión</i>	<i>Coste aproximado</i>
Bajo coste	Monofrecuencia con código o con código de fase suavizado	Navegación en coche, localización de servicios, navegación, mercados masivos	1 a 10 m	100 - 500 €
Adquisición de geodatos	Monofrecuencia con código de fase suavizado	Planificación de infraestructuras, arquitectura, aplicaciones SIG	0,5 a 3 m	5.000 - 10.000 €
Geodésico	En general con doble frecuencia con código y fase	Topografía y geodinámica	0,001 a 0,1 m	10.000 € - 30.000 €

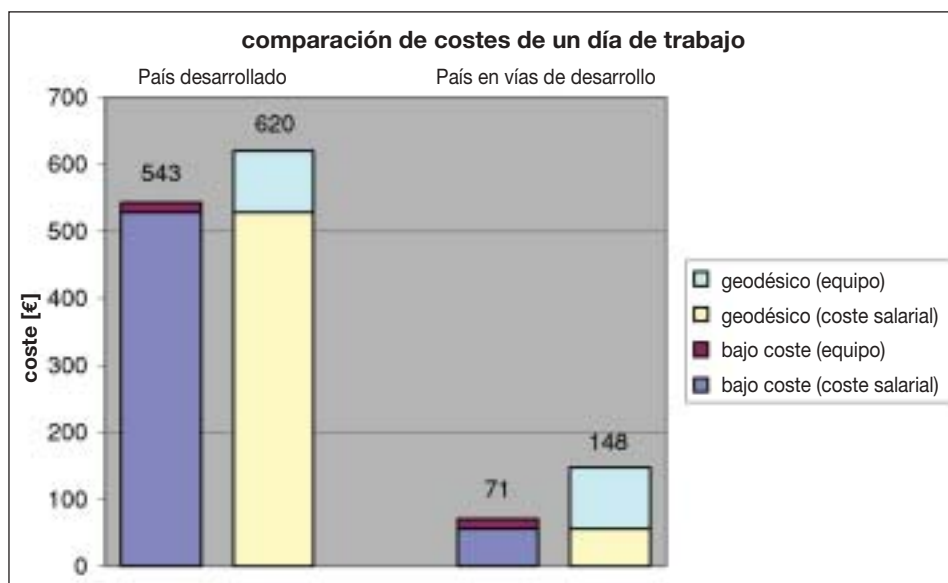


Figura 1. Comparación simplificada de costes con el uso de distintos receptores GPS

La figura 1 muestra la obvia y gran diferencia entre los costes en los países en vías de desarrollo y en los países desarrollados debido a los costes salariales. El porcentaje de beneficio empleando receptores GPS de bajo coste es mucho mayor en los países en vías de desarrollo. La reducción de costes supera el 50%. Esto hace patentes las tremendas posibilidades de reducción de costes para las compañías en los países en vías de desarrollo.

### 3. PROCEDIMIENTO DE PROCESO IMPLEMENTADO EN LAS OBSERVACIONES GPS DE BAJO COSTE

La hipótesis más básica, en el empleo de receptores GPS de bajo coste para aplicaciones geodésicas de precisión, es la posibilidad de emplear información de la fase de la portadora. Con el fin de suavizar las observaciones de código, algunos receptores de bajo coste, como por ejemplo los de la serie Garmin eTrex, emplean la fase de la portadora en LI. Debido a este hecho, estos receptores de bajo coste no han sido desarrollados para un posicionamiento de precisión en el post-proceso y no hay posibilidad de almacenar los datos en bruto. Pero el GDIS-Garmin Device Interface Specification (Garmin; 2004) incluye un protocolo interno con el fin de llegar a los datos en tiempo real, a través de una interfase en serie (RS232) del receptor, para hacer comprobaciones (Garmin; 2004). Este protocolo específico de Garmin no ha sido publicado y no hay garantía de soporte en ulteriores desarrollos del receptor. No obstante, un grupo de investigación del Instituto de Ingeniería Topográfica y Geodesia Espacial de la Universidad de Nottingham ha desarrollado una herramienta de software, denominada *Gringo*, para descodificar y almacenar los datos en bruto de Garmin. Este software funciona en un PC con Windows y coloca los datos en bruto de Garmin (de mediciones de fase y de código sobre LI) en un archivo Rinex de observaciones (para una información más detallada ver Schwieger, 2003). En nues-

tras investigaciones empleamos el programa *Gringo*. Además, existen otros programas que pueden también decodificar los datos de Garmin, como el *Async* (Galán, 2000).

#### 3.1. Equipos de medición para generar archivos de observaciones

El equipo de bajo coste del Instituto de Geodesia Aplicada a la Ingeniería de la Universidad de Stuttgart, se basa en dos receptores Garmin eTrex Vista versión 3.60. Debido al hecho de que las útiles características de estos receptores de gama alta de la serie eTrex, como el visualizador cartográfico, el barómetro y la brújula, no se

emplean en las aplicaciones de precisión del post-proceso, se pueden emplear otros receptores Garmin, como, por ejemplo, la totalidad de la serie eTrex, asegurando la misma calidad en el post-proceso.

Para las mediciones de líneas de base geodésicas es muy importante disponer de una definición exacta y reproducible de centro de fase de la antena de cada receptor. Por esta razón, el taller del Instituto de Geodesia Aplicada a la Ingeniería ha construido un adaptador para cada receptor (figura 2) que permite fijarlo en un trípode. En consecuencia, es posible la definición exacta del centro de fase de la antena con una reproducibilidad superior al milímetro (véase en el capítulo 4 la calibración del sistema receptor-adaptador). Más aun, el adaptador contiene una placa en tierra de protección contra los efectos del *multipath*.

Como ya se ha mencionado, se necesita un PC externo (en la práctica, un ordenador portátil) en combinación con el software *Gringo* para descodificar y almacenar los datos en bruto del Garmin eTrex Vista. Durante las actuales investigaciones se ha empleado la versión 2.0.0 de *Gringo*. *Gringo* funciona en todos los sistemas Pentium, o con procesadores semejantes. Fue desarrollado sobre Windows 95, pero fue probado con éxito sobre Windows 98 y Windows 2000 por el Instituto de Geodesia Aplicada a la Ingeniería. El ordenador portátil necesita de una interfase en serie (RS232) para conectarse a los receptores. Con el fin de que el equipo de mediciones de campo sea lo más resistente a los factores meteorológicos adversos, se usaron ordenadores robustos, como el Panasonic ToughBook CF28 (figura 2). Más aun, se emplea un grupo de baterías de respaldo para las sesiones superiores a las 2 horas, con el fin de suministrar potencia eléctrica a los receptores y al ordenador portátil. Se ha comprobado el sistema con la medición de líneas de base de larga duración, durante 24 horas. Uno de los receptores Garmin eTrex Vista funcionó muy bien, aunque el otro se apagó a las ocho horas sin motivo aparente. Los suministros de potencia eléctrica de ambos sis-



Figura 2. Garmin eTrex

temas de medición funcionaron correctamente. Ulteriores investigaciones tratarán de aclarar este problema.

### 3.2. Procedimiento de post-proceso empleando software comercial

Después de cada medición de líneas base, cada uno de los dos ordenadores portátiles alberga un fichero de observaciones, formateado en Rinex 2.1, generado por *Gringo*. Este formato de los datos es muy útil, debido a que todos los paquetes de programas comerciales y científicos para el post-proceso GPS tienen la posibilidad de importar y procesar archivos Rinex. En la Universidad de Stuttgart tenemos a nuestra disposición el programa de post-proceso *Ski-Pro*, versión 2.5, de la compañía Leica.

*Ski-Pro* y otros programas comerciales de GPS son capaces de detectar fallos de ciclos completos y solucionar las ambigüedades de los datos de fase. Pero en los datos de Garmin eTrex Vista se presentan fallos de medio ciclo. A causa de ello, *Ski-Pro* no es capaz de arreglar las ambigüedades, por lo que se estiman mediante una solución llamada "flotante". Este hecho ha de tenerse en cuenta en la asignación de los parámetros

de la evaluación y puede llevar a una disminución en la precisión de la determinación de las líneas base.

La totalidad del procedimiento de post-proceso empleando *Ski-Pro* puede dividirse en varios pasos (figura 3). Después de la importación de los dos archivos Rinex (de la estación de referencia y de la ambulante), es necesario suministrar a *Ski-Pro* las órbitas del satélite. Debido al hecho de que *Gringo* no almacena las órbitas transmitidas, hay que emplear datos de órbitas externos. Para nuestra investigación se emplearon órbitas rápidas del IGS (<http://igs.ifag.de/>). En el paso siguiente, cada una de las dos estaciones tiene que ligarse con su correspondiente antena. La antena definida en *Ski-Pro* incluye los *offset* de antena. En nuestro caso, la combinación adaptador-eTrex representa la antena (ver capítulo 4). Más aun, en cada estación debe introducirse la altura de la antena medida en campo. Después de definir las coordenadas de referencia de la estación, el siguiente paso incluye la introducción de los parámetros de evaluación. Nosotros empleamos los parámetros de evaluación estándar de *Ski-Pro*, con algunas modificaciones. Estos cambios incluían el uso de órbitas rápidas, la solución flotante y una máscara de elevaciones de 15 grados. Al comienzo del cálculo de las líneas base todos los satélites estaban activos. El subsiguiente análisis de los residuos de las dobles diferencias de fase y de código da una impresión de la calidad de los datos. Algunos datos de satélite no son utilizables, debido al *multipath* y a otras perturbaciones. En el siguiente cálculo no se emplea el satélite con los mayores residuos. Las desviaciones típicas de las componentes de las líneas base ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ) debe hacerse menor. El resultado óptimo se alcanza mediante la eliminación de satélites adicionales, teniendo en cuenta la ca-

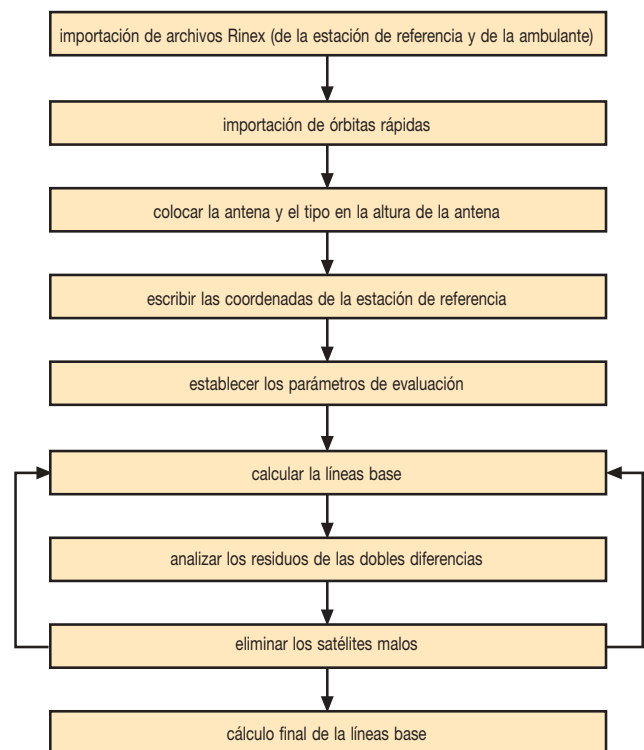


Figura 3. Pasos del procedimiento de post-proceso

lidad de los residuos y, por comparación, de la desviación típica de los componentes de las líneas base.

#### 4. CALIBRACIÓN DE LA ANTENA

Para poder posicionar con precisión el centro de fase de la antena electrónica con respecto al centro geométrico, es preciso conocer el denominado *offset* de la antena. En la mayoría de las aplicaciones sólo se necesita la diferencia del *offset* de la antena con respecto a una antena de referencia conocida. En el experimento efectuado en la Universidad de Stuttgart era conocido el *offset* de la antena AT502 de Leica y había que determinar los respectivos *offset* de las antenas de los dos receptores Garmin eTrex Vista. Para una determinación correcta del *offset* de la antena, los sistemas de adaptadores deben emplearse y orientarse correctamente (figuras 4 y 5). Hay que medir las alturas de las antenas con respecto a una superficie de referencia. En la figura 4 se muestra la definición geométrica exacta de esta superficie de referencia.

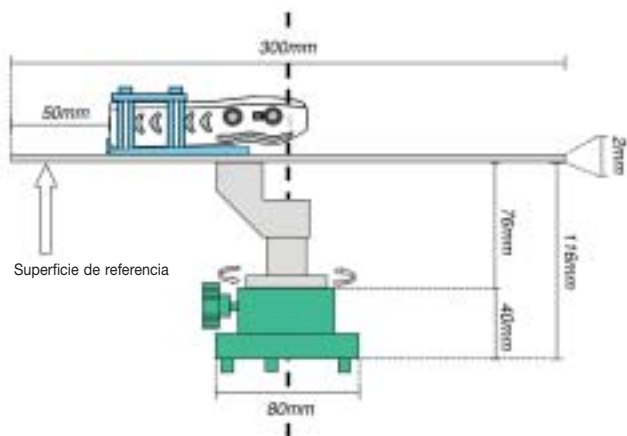


Figura 4. Adaptador para fijar un Garmin eTrex Vista sobre un trípode

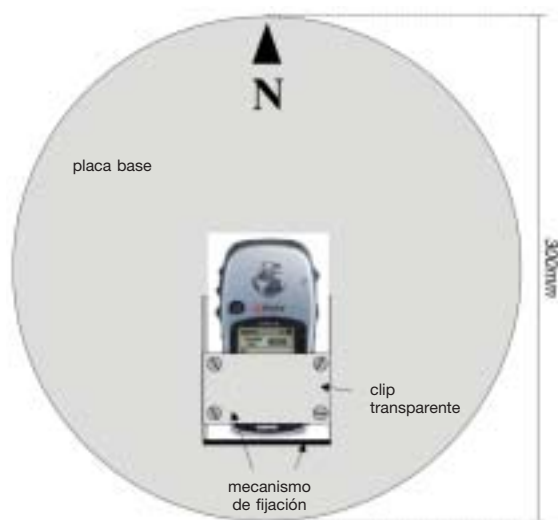


Figura 5. Vista desde arriba del adaptador con un mecanismo de fijación y una placa de base contra los efectos de *multipath*



Figura 6. Configuración de las mediciones para la calibración de las antenas

Para las mediciones de calibración se escogió un entorno con efectos bajos de *multipath*. Se instaló una antena AT502 de Leica y un receptor Garmin eTrex Vista sobre unos pilares de coordenadas conocidas (dentro del nivel milimétrico); son los puntos 3 y 4 del primer receptor Garmin eTrex Vista (eTrex1) y los puntos 5 y 6 del segundo receptor Garmin eTrex Vista (eTrex2) de la figura 6. En primer lugar, el eTrex1 fue montado sobre el punto 3 y el sistema de mediciones de referencia, el Leica SR530, sobre el punto 4. Ambas antenas se orientaron hacia el Norte y los receptores recogieron datos durante 2 horas aproximadamente. A continuación se intercambiaron las antenas, se orientaron de nuevo y los receptores midieron durante otras dos horas. Lo mismo se hizo con el eTrex2 en los puntos 5 y 6. Aunque la determinación de los *offset* podía efectuarse por el procedimiento de cambios de antena, la calibración se efectuó empleando las coordenadas conocidas con precisión de los puntos. Se promediaron los resultados de las dos determinaciones.

Los resultados de la determinación de los parámetros se dan en la figura 7. Obviamente, los resultados de los *offset* de las antenas de los dos Garmin eTrex Vista son semejantes, dentro de un entorno de 1,7 centímetros. A primera vista, parece que esta variación no es satisfactoria, pero comparándola con los resultados del capítulo 5 se logra el nivel de precisión alcanzable por el momento. Los *offset* de antena determinados se aplican en el post-proceso de las mediciones de las líneas base descrito en el capítulo 5.

Si los *offset* de las antenas se comparan con los determinados por Schwieger (2003), se presentan diferencias de más de 5 centímetros en

NUEVA VERSIÓN DE NUESTRA  
ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL  
**Digi3D**

CARGA GRANDES MODELOS SIN CONSUMIR  
MEMORIA. VISUALIZACIÓN MÁS NÍTIDA.  
SOPORTA A.DS40, IKONOS, 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](http://www.digi21.net)

902 21 51 21

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

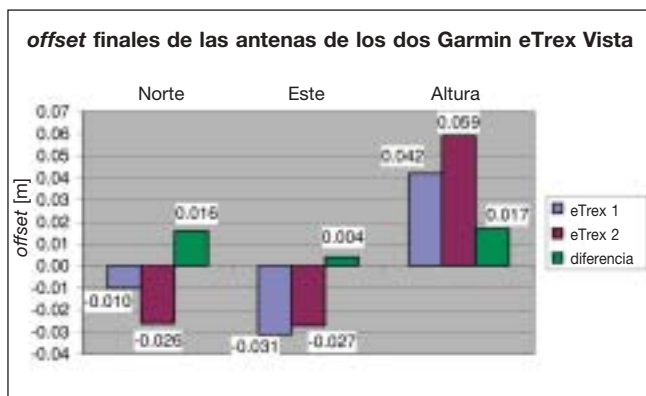


Figura 7. Resultados de la calibración de las antenas

las componentes Norte y Este. Esto es sorprendente, en especial en el eTrex1, dado que es el mismo que el receptor investigado por Schwiieger (2003). Estas grandes desviaciones pueden deberse a haber cambiado los escudos anti-multitrayectos. Esto demuestra que los *offset* de las antenas varían significativamente si varía el sistema de adaptación de la antena.

La sensibilidad del sistema de medición con respecto a la máscara de altitudes es pequeña (figura 9), pero la eliminación de satélites (figura 8) es esencial para determinados *offset*. Las grandes diferencias de *offset* si se elimina un satélite (PRN), se deben probablemente a los efectos del *multipath*.

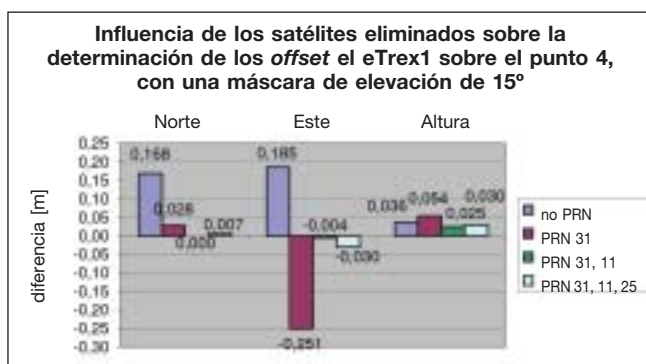


Figura 8. Variación de los *offset* debida a los satélites eliminados (ejemplo típico)

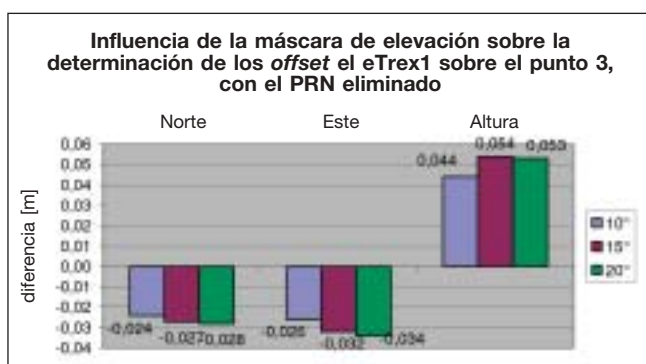


Figura 9. Variación de los *offset* debida a la máscara de elevación (ejemplo típico)

Lo esencial es emplear los *offset* en las mediciones de las líneas base y estudiar cuidadosamente los residuos de los satélites individuales, para encontrar puntos alejados ocasionados por fases erróneas de observación y, en consecuencia, eliminar satélites. En el capítulo 5 se amplía este tema.

## 5. MEDICIONES DE LÍNEAS BASE

La finalidad de la campaña de mediciones era establecer unos valores de precisión para los Garmin eTrex Vista, dependientes de la longitud de las líneas base. Según Schwiieger (2003), las líneas base inferiores al kilómetro fueron determinadas empleando un equipo Leica SR530 y un receptor Garmin eTrex Vista. En nuestro caso se extendió la longitud de las líneas base y se emplearon dos receptores Garmin eTrex Vista.

Para distancias de hasta 1 kilómetro, se emplearon los puntos (puntos 1, 4, 5, 6, 7 y 10) de la red de pilares descrita en el capítulo 4 y que se presenta en la figura 10. Las coordenadas de los mismos son bien conocidas dentro del nivel milimétrico. Las coordenadas de los puntos 11 y 101 (ver figura 10) se determinaron mediante mediciones de media hora de duración sobre una línea base, empleando receptores Leica SR530. En estos puntos se emplearon trípodes con centrado forzado. Se estima que la precisión de las coordenadas determinadas es de aproximadamente 1 centímetro.

Los dos equipos midieron aproximadamente durante media hora en cada línea base, a un ritmo de 1 dato cada segundo. Durante toda la campaña de mediciones, el eTrex1 permaneció estable en el punto 6. El eTrex2 se situó en las distintas sesiones sobre el resto de los puntos. En el post-proceso con Leica *Ski-Pro*, se empleó una máscara de elevación de 15°. Los puntos 1 y 10 se sitúan en la vecindad de árboles y edificios respectivamente. En estos puntos se esperan perturbaciones debidas a los efectos de la difracción y de *multipath*, según los resultados presen-



Figura 10. Configuración de la medición de líneas base en una zona de la ciudad de Stuttgart

**Tabla 2. Las líneas base medidas y sus características**

Punto	5	4	1	7	10	11	101
Longitud de la líneas base (kilómetros)	0,12	0,26	0,45	0,45	1,1	1,1	7,8
Observación			árboles		edificios		
Satélites eliminados	13 / 25	19	19 / 20	19	01 / 20	11	26
Número de satélites (después de la eliminación)	5	7	5	7	4	5	7

tados por Schwieger (2003). La tabla 2 resume las longitudes de las líneas base, observaciones con respecto a los *multipath* y los detalles del proceso en lo que respecta a la eliminación de satélites.

Como se indicó en los capítulos 3 y 4, el post-proceso para determinar unos resultados fiables y precisos fue bastante sofisticado. Para estimar las posiciones con precisión hay que eliminar satélites, como se indica en la tabla 2 y en la figura 8. Si no era obvio qué satélites se debía eliminar, se escogía el que tuviese la mejor desviación típica según el programa *Ski Pro*. Generalmente, esto conduce a la solución que se presenta a continuación. Sin embargo, debe mencionarse que estas desviaciones típicas son, con mucho, muy optimistas.

Las diferencias tridimensionales entre las líneas base de Garmin eTrex Vista y las coordenadas de referencia son presentadas en la figura 11, en orden ascendente con respecto a la longitud de la líneas base. La diferencia del punto 11 incluye únicamente las componentes horizontales, debido a que la medición de la altura de la antena era errónea.



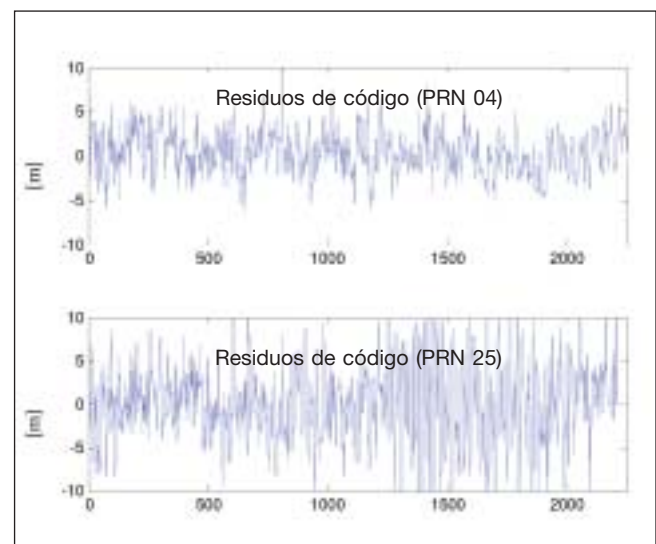
**Figura 11. Diferencias con respecto a las coordenadas de referencia en las mediciones de líneas base**

Obviamente, las magnitudes de las desviaciones son independientes de la longitud de las líneas base. El punto 10, que está cerca de un edificio, muestra una diferencia de altura con respecto a las coordenadas de referencia que puede haber sido ocasionada por los efectos de *multipath*. El seguir eliminando satélites para aumentar la precisión es imposible, ya que sólo han quedado cuatro satélites para la evaluación (comparar con la tabla 2). En contraste, en el punto 1 sólo se estimó una pequeña diferencia de 1,7 centímetros, aunque se encuentra en un entorno típico

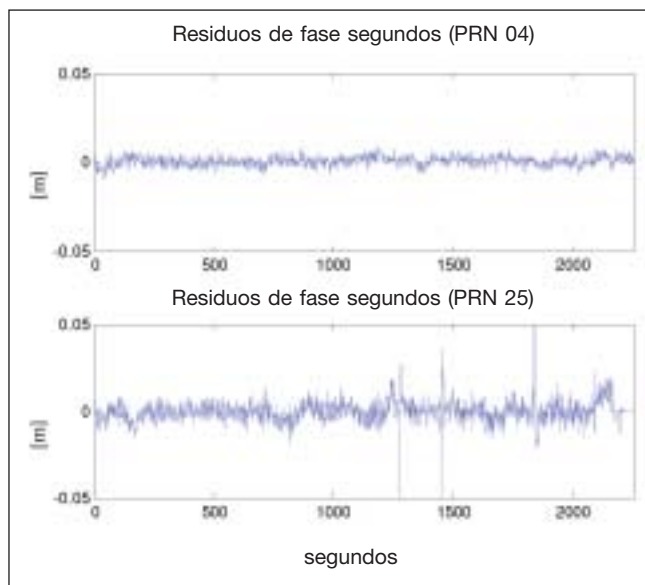
de difracción y *multipath*, debido a los árboles que lo rodean. Aquí, la decisión sobre qué satélites eliminar fue bastante difícil y, para ser sinceros, el conocimiento de las coordenadas de referencia ayuda a encontrar la solución. De no haber conocido estas coordenadas de referencia no se hubiese conseguido una solución fiable.

En general, un alto número de satélites da mayor posibilidad de eliminar satélites e incrementar la precisión y la fiabilidad de la estimación de las coordenadas, como sucede en las líneas base de los puntos 4 y 101 (tabla 2 y figura 11). Un escaso número de satélites lleva a una solución peor, como sucede en las líneas base de los puntos 5 y 10. Pero no todos los resultados se ajustan a este patrón; véase, por ejemplo, la línea base del punto 7, con 7 satélites, tras la eliminación de algunos, y que presenta una diferencia bastante mala con respecto a las coordenadas de referencia. En general, cuando son interferidas por los *multipath*, sólo es posible la eliminación de hasta un mínimo de cuatro señales de GPS, ya que en este caso el número de pseudorrangos disponibles no es suficiente para el posicionado.

La figura 12 presenta un patrón de residuos típico (líneas base 6-5) del procedimiento de post-proceso. El punto de referencia 25 muestra un patrón de residuos con muchos ruidos del tipo de *multipath*. Además,



**Figura 12. Residuos de código de los puntos de referencia 4 y 25 de la línea base 6-5**



**Figura 13. Residuos de fase de los puntos de referencia 4 y 25 de la línea base 6-5**

los residuos de fase muestran algunos puntos alejados muy visibles (figura 13). En contraposición, en el punto de referencia 4 el nivel de ruido es mucho menor para los datos de código y de fase (figura 12 y 13). El punto de referencia 25 fue eliminado, debido a este patrón de ruidos. Este fue el primer paso para conseguir un resultado correcto en esta línea base.

Las investigaciones revelan que, por el momento, los resultados del post-proceso sólo muestran pequeñas desviaciones en un entorno desprovisto de efectos de *multipath*. Con receptores de bajo coste, el software comercial *Ski-Pro* no puede resolver de forma eficaz este tipo de errores de medición. El problema se acentúa por la ocurrencia de saltos de medio ciclo en las mediciones de fase. Estos saltos de medio ciclo no pueden ser tampoco detectados por el software comercial.

## 6. RESUMEN Y PERSPECTIVAS

Los receptores GPS investigados constituyen una herramienta muy eficaz, en relación con sus costes, para la resolución de problemas tales como: replanteos de no mucha precisión en construcción, para conseguir una precisión baja o media en los levantamientos topográficos de ingeniería o para el control de redes. La precisión alcanzada es muy adecuada para las aplicaciones SIG.

Dentro de este artículo se ha mostrado que:

- Las líneas base de hasta aproximadamente 8 kilómetros pueden medirse con dos equipos Garmin eTrex Vista en una media hora y con desviaciones de hasta ocho centímetros, bajo unas condiciones de *multipath* bajas.
- La precisión en la determinación de las líneas base es independiente de la longitud de dichas líneas (hasta los 8 kilómetros).

- La difracción y los *multipath* disminuyen severamente la precisión, y especialmente la fiabilidad en la determinación de las líneas base.
- La medición no es muy cómoda debido al carácter “prototipo” del sistema de medición
- La manipulación de los datos tampoco es cómoda, debido a la presencia de señales GPS perturbadas y al software de post-proceso, que no está adaptado al Garmin eTrex Vista.

En consecuencia, estos resultados deben conducir a los siguientes desarrollos:

- Un software para resolver los saltos de medio ciclo
- Unos algoritmos para eliminar automáticamente las señales con perturbaciones
- Un procedimiento en tiempo real, o casi real, adaptado a las mediciones típicas de Garmin.

## AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias al estudiante Mr. Zhou, que efectuó las mediciones y la mayoría de los cálculos dentro de su tesis de estudios. Y a sus colegas Mr Laufer, Mr Wilhelm, Mr Doping, Mrs Farkas y a Mr Xue, que ayudaron en las mediciones y en los cálculos dentro de un proyecto de enseñanza de la Universidad de Stuttgart.

## REFERENCIAS

- FIG (2004): Working Group 5.4 - *Cost Effective Surveying Technology and Techniques for Developing Countries*. Specific projects of Working Group 5.4, FIG Commission 5. [http://www.fig.net/commission5/wgroups/wg5\\_4.htm](http://www.fig.net/commission5/wgroups/wg5_4.htm).
- GALÁN, A.T. (2000): *Preliminary results of Postprocessing G12 raw data*. <http://articulo.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/asyn/node4.html>.
- GARMIN (2004): *Garmin Device Interface Specification*, Garmin Corporation, Olathe, Kansas USA. <http://www.garmin.com/support/commProtocol.html>.
- HILL, C.J., MOORE, T., DUMVILLE, M. (2001): *Carrier Phase Surveying with Garmin Handheld GPS Receivers*. *Survey Review*, pp 135-141.
- HOAI (2002): *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure*, Vieweg Verlag.
- SCHWIEGER, V. (2003): *Using Handheld GPS Receivers for Precise Positioning*. 2<sup>nd</sup> FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, December 2-5.
- SEEBER, G. (2003): *Satellite Geodesy - Foundations, Methods and Applications*. de Gruyter, Berlin.
- WIEGEL, G. (2004): *Darum gehen wir ins Ausland*. In: *Blickpunkt Wirtschaft*, Ausgabe 5, <http://www.div-blickpunkt.de/sart0504.htm>. ■



**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](http://www.sokkiaditac.es)

**SOKKIA**

# Topografía Romana (II)

Isaac Moreno Gallo

INGENIERO TÉCNICO DE OBRAS PÚBLICAS

MINISTERIO DE FOMENTO

DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN ARAGÓN. ZARAGOZA

(Continuación) 

## INSTRUMENTOS

De antemano conviene resaltar que es muy poca la certeza que hoy existe sobre la forma exacta y la precisión de los instrumentos topográficos usados por los romanos. Consideremos que los principales de ellos han sido deducidos a partir de las descripciones de autores clásicos, descripciones que no siempre han sido bien traducidas o interpretadas. Más suerte han corrido los pocos que se conocen a partir de los vestigios arqueológicos encontrados.

No es frecuente encontrar autores que se hayan sumergido en la escásima documentación conservada sobre la instrumentación antigua y cuando esto ha ocurrido la subsiguiente interpretación del instrumento no ha contado con expertos en la práctica topográfica. Tal vez sea el momento de considerar el empleo de otros métodos de investigación complementarios, aquellos que desde el ámbito de la ingeniería, de la técnica y de la práctica topográfica, partiendo del análisis de las obras de ingeniería romana que han necesitado de una profunda intervención de la topografía, puedan desembocar en resultados satisfactorios sobre la metodología y el instrumental mínimo necesario.

La reconstrucción del replanteo necesario para la obra y la comprobación de la exactitud de los resultados conseguidos por los romanos, nos facilitarán la precisión de los instrumentos empleados y nos harán comprender la técnica necesaria para conseguir el éxito en la misión encomendada. De esta forma, la topografía experimental puede y debe llevarse a cabo por profesionales con los conocimientos adecuados y capacitación suficiente para reconstruir el proceso técnico-constructivo de la obra.

En este trabajo vamos a relacionar algunos de los instrumentos empleados en topografía romana de los que hemos tenido noticia, apuntaremos lo que hasta hoy se conoce de ellos y expondremos, en función de las nuevas experiencias que hemos realizado, la interpretación que consideramos más lógica para ellos.

## La Cuerda

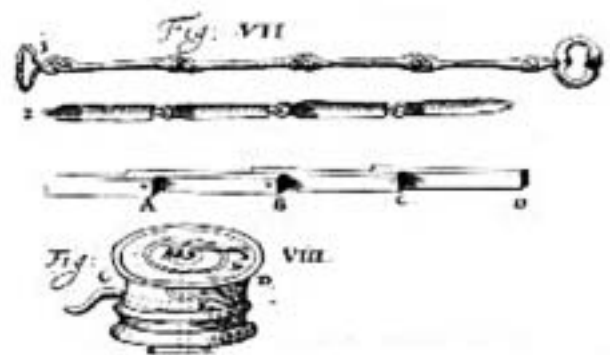
Es probablemente el instrumento más rudimentario, sencillo y antiguo de medición. Sin embargo, sabemos por noticias de Heron<sup>10</sup> que los topógrafos antiguos sometían a preparación este utensilio, a fin de que no sufriera deformaciones y su longitud permaneciera constante durante mucho tiempo, haciéndole así mucho más preciso de lo que se puede sospechar *a priori*.

Herón nos cuenta que se le aplicaba una mezcla de cera y resina y luego permanecía colgada con un peso determinado en su extremo inferior durante algún tiempo. El resultado era una cuerda apta para mediciones, con poco error y a prueba de variaciones de humedad y temperatura.

## La Cadena

No se conocen noticias del uso de la cadena de topógrafo en la antigüedad clásica, pero debemos reseñar que el instrumento es muy antiguo de cualquier forma y por tanto muy probable que fuera usado por los romanos.

<sup>10</sup> HERON. *Autómatas*.



**Cadena de topógrafo y otros instrumentos para medida de longitud, representados en el grabado del siglo XVII de la obra de SCHOTTO.**

Además de su escasa dificultad de construcción y su gran utilidad, por ser fácil de recoger, de transportar y de difícil deterioro, sabemos que ha sido usada en mediciones topográficas desde hace muchos siglos.

Se trata de una sucesión de eslabones metálicos de medida uniforme, ensamblados hasta formar una cadena de determinada longitud. Normalmente tenía unas asas en sus extremos para facilitar su uso.

Hemos visto representadas cadenas de topógrafo en los libros modernos de topografía del siglo XX, pero también existen dibujadas de idéntica forma en tratados del siglo XVII<sup>11</sup>, por lo que debemos sospechar que su uso nunca ha sido interrumpido en aquellas mediciones que se querían de cierta precisión.

### Decempeda o Pertica

Para las medidas de longitud de cierta exactitud se usó un instrumento llamado *decempeda* porque tenía diez pies de longitud, cerca de tres metros. Así, *decempedator* era nombre común para designar a los agrimensores. También se le conoció como *peritica* y en ambos casos parece que estaba constituido de madera. Hay que apuntar que determinadas maderas sometidas a tratamientos especiales adquieren una gran re-

sistencia y resistencia a la deformación y con seguridad los romanos conocían perfectamente estas técnicas. Hemos visto la explicación del manejo de este instrumento en el tratado del siglo XVI de Giovanni Pomodoro<sup>12</sup> y modernamente se han conocido estos instrumentos de metal ligero y poco propenso a las dilataciones (miras invar).

### El Odómetro

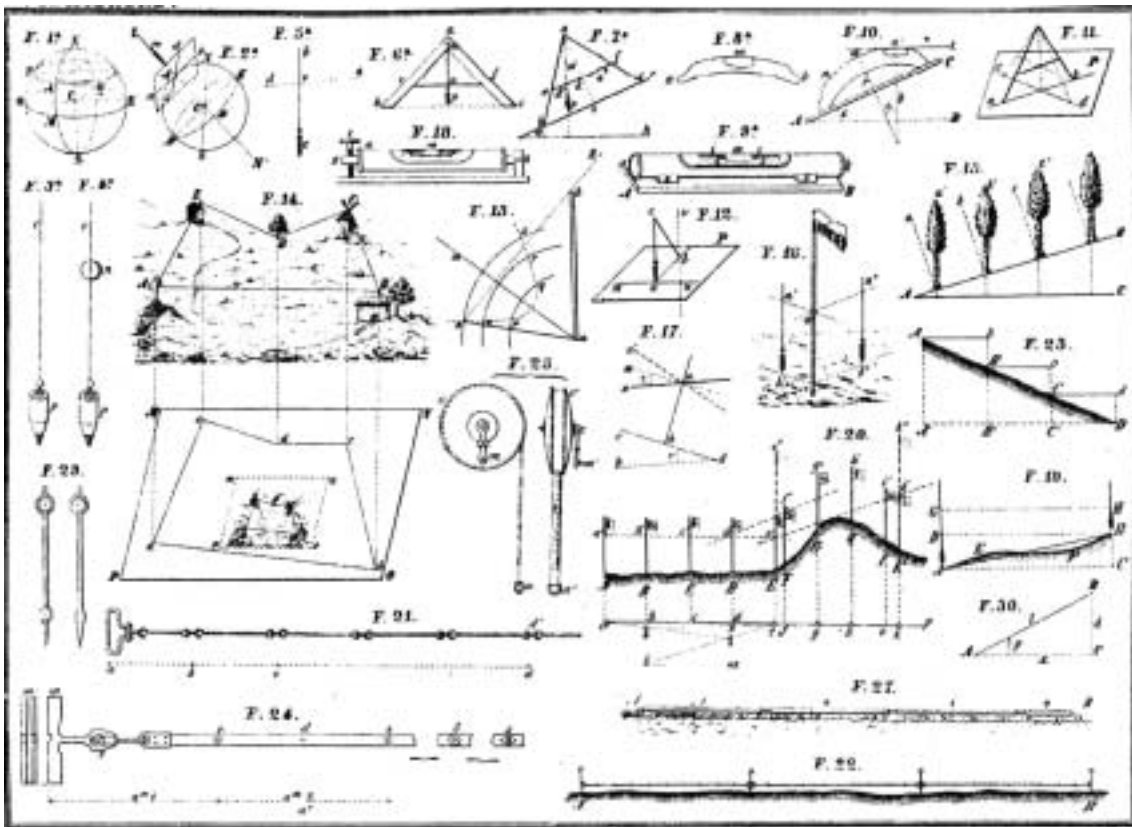
Sabemos que Herón construyó y describió un odómetro, pero debemos a Vitruvio<sup>13</sup> la más conocida descripción de este ingenioso instrumento que, con toda probabilidad, fue muy usado en la antigüedad para la medición de caminos y ciertas distancias que no requieran de precisión. Se trataba de un sistema de engranajes metidos en una caja que, conectados a otro situado en la rueda del carro, construida de un tamaño exacto, iban dejando caer una bolita por cada milla recorrida en un recipiente puesto al efecto.

Con pequeñas modificaciones y sustituyendo la rueda del carro por un molinete de aspas sujeto a un barco, podía medir las distancias de navegación marina, aunque, como es fácil de suponer, la precisión sería bastante menor.

<sup>11</sup> Basada en la obra de Athanasius Kircher, jesuita alemán, *Pantometrum Kircherianum* (1631), aparecen en 1690 los grabados del libro de SCHOTTO, Gaspare: *Pantometrum Kircherianum, hoc est instrumentum Geometricum novum a Celeberimo viro P. Athanasio Kirchero. Herbipoli, 1690.*

<sup>12</sup> POMODORO, G. *Geometria pratica. Geometria pratica dichiarata da Giovanni Scala sopra le taule dell'eccte mathematico Giovanni Pomodoro tratte d'Euclide et altri autori : opera per generali da guerra, capitani, architetti, bombardieri e ingegneri cosmografi, non che per ordinarii professori di misure.* - Nouamente ristampato. - In Roma : appresso Giovanni Martinelli, 1603

<sup>13</sup> VITRUVIO. *De Architectura. Lib X cap. IX.*



Representación de varios instrumentos topográficos sencillos en un tratado antiguo de esta ciencia.

## Los Jalones o Banderolas

Las alineaciones rectas se desarrollaban con ayuda de varas verticales que, en grupos de tres, servían para establecer la dirección a seguir por la alineación y arrastrarla a lo largo del terreno, llevando alternativamente la primera de las varas al final. Por sí mismos servían perfectamente para trazar buenas alineaciones, por ejemplo en las carreteras, pero estos elementos también se usaban como auxiliares de otros instrumentos de medición que veremos a continuación, como la groma, la escuadra de agrimensor o la dioptra. Con ellos se fijaba la alineación a partir del ángulo determinado por el instrumento principal:

*“Si hubiera un valle que propasase el ángulo de visión del mensor, tras haber colocado jalones junto a la groma, deberá descenderse a través de él...*

*A su vez, un valle más estrecho, está permitido atravesarlo para eludir la dificultad, prescribiendo en la parte ulterior no menos de tres jalones, a los que una vez vueltos a enfilar con la groma colocada al otro lado, conviene visarlos de nuevo con los primeros y prolongar con la alidada bien dirigida la alineación comenzada hasta donde la operación lo exija”<sup>14</sup>.*

## La Groma

Este instrumento es probablemente el más estudiado y conocido de los empleados en la antigüedad. Ha sido objeto de hipótesis variadas e incluso ensayos en arqueología experimental<sup>15</sup>, aunque no por ello la interpretación de su utilidad parece haber sido tratada con suficiente éxito.

Se trata de un instrumento muy rudimentario para trazar alineaciones perpendiculares entre sí, una escuadra de agrimensor tan primitiva como imprecisa. Para algunos autores este instrumento, ya conocido en Grecia, llega a Roma a través de la cultura Etrusca, como parece indicar la propia génesis de la palabra<sup>16</sup>.

Está constituido por un sencillo conjunto, formado por una cruz con los brazos en escuadra, de cuyos extremos penden plomadas, y un pie vertical que sujeta esta cruz en el plano horizontal.

De la groma se han encontrado representaciones gráficas en bajorrelieves<sup>17</sup>, e incluso se llegó a encontrar una de ellas casi completa en las excavaciones de Pompeya<sup>18</sup>. Además, se conocen descripciones de los clásicos bastante precisas, tanto de su forma como de su uso.



**Lápida sepulcral de Aebutius Faustus, mensor (¿agrimensor-sacerdote?) de Ivrea (Valle de Aosta-Italia). Museo Civico P.A. Garda e del Canavese. – Ivrea.**

<sup>14</sup> FRONTINO. *De limitibus*, 33 y 34.

<sup>15</sup> ADAM, J. P. 1989, pp. 9 y ss. 2ª ed. esp. 2002: *La Construcción romana. Materiales y técnicas*.

<sup>16</sup> RESINA SOLA, P. 1990. *Función y técnica de la agrimensura en Roma (II). Instrumental técnico y sistema de medidas agrarias*. Topografía y Cartografía. Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía.

<sup>17</sup> Tal es el caso de las lápidas sepulcrales de Aebutius Faustus, agrimensor de Ivrea (Valle de Aosta), y la del pompeyano Nicostratus.

<sup>18</sup> DELLA CORTE, M. 1922. *Groma*. Monumenti antichi della reale Accademia dei Lincei, 28.

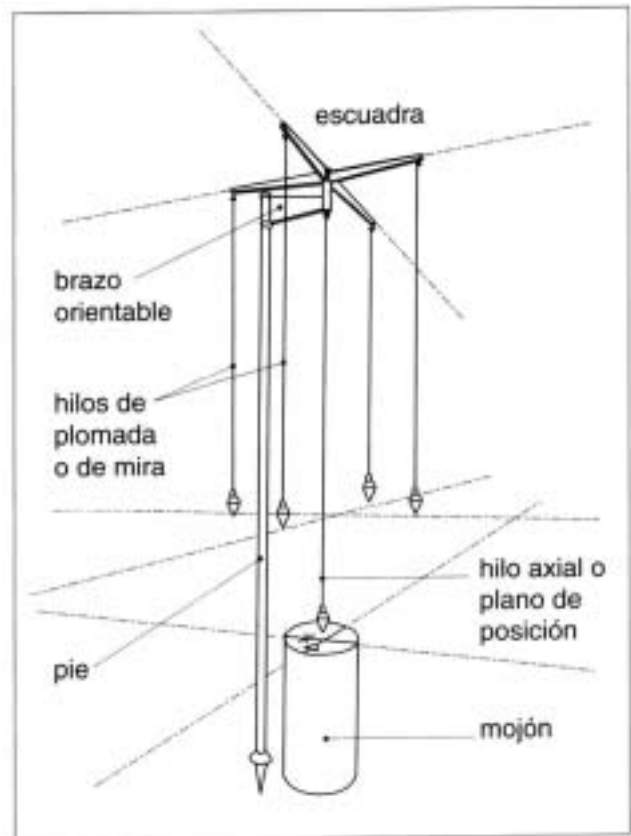
Frontino nos explica con suficiente detalle su empleo para el establecimiento de límites y para la medición y el reparto en la agrimensura<sup>19</sup>: “Cualquier parte de un campo por pequeña que sea debe estar bajo la potestad del mensor y teniendo en cuenta el procedimiento de los ángulos rectos sujetarse a sus postulados. Así pues, debemos prever sobremanera cómo hemos de franquear con la groma cualquier obstáculo que pudiera presentarse; además, poner diligencia en la medición, para que un movimiento realizado pueda alcanzar un resultado de la representación acometida lo más proporcional posible a la longitud de los lados; utilizar en primer lugar la groma y alinear todos los obstáculos con la alidada dirigida, cuyos hilos o cuerdas, tensadas con pesas y paralelas entre si, han de verse bien desde todas las esquinas hasta que se vea sólo la más próxima, perdida la visión de la otra; entonces prescribir jalones, y volver a visar estos mismos, habiendo trasladado entre tanto la groma al último jalón en la misma posición que se tenía y llevar la línea comenzada hasta el vértice o hasta la linde. La perpendicular trazada desde cualquier vértice del perímetro debe señalar el lugar de la groma.

Conviene ante todo recorrer el lugar cuya medición se va a llevar a cabo y poner en todos sus ángulos señales que se alineen perpendicularmente a partir de la línea de base; después, colocada y bien dirigida la groma, trazar una segunda línea al lado mayor y colocados jalones en correlación, llevar una línea al otro lado de modo que ésta, cuando haya llegado al extremo, salga paralela a la primera.”

De esta *limitatio* eran objeto tanto los campos, privados o públicos, como las ciudades, las colonias, los templos e igualmente los campamentos militares, en cuyo caso se denominaba *castramentatio*. Todas estas operaciones eran objeto de ritual y estaban impregnadas de una gran carga religiosa<sup>20</sup>.

Pero, como instrumento de precisión, la groma deja mucho que desear. Realmente es un instrumento sujeto a errores importantes por su propia constitución y por la inevitable intervención de agentes externos, como el viento, a pesar de algunas precauciones que se recomendaban para su correcto uso, como la que nos ha llegado en los escritos de Herón<sup>21</sup>: “Se introducen tubos de madera, para poner las plomadas al abrigo del viento. Pero cuando los planos rozan en las paredes de los tubos, los hilos no quedan exactamente perpendiculares al horizonte. Además, incluso cuando se ha llegado a poner los hilos en reposo y perpendiculares al horizonte, los planos dirigidos siguiendo estos hilos no son por ello perpendiculares entre sí.”

En efecto, la groma puede decirse que es un instrumento de baja calidad y de bastante imprecisión. Aunque está claro por las noticias de los clásicos que se usaba en agrimensura y en el trazado de la trama urbana de los campamentos militares y ciudades de nueva constitución, no



**Propuesta de reconstrucción de la groma en la obra de Adam. A la derecha, prototipo construido con finalidad divulgativa basado en el diseño de Adam.**

<sup>19</sup> FRONTINO. De *Limitibus* 32 y 33.

<sup>20</sup> RESINA SOLA, P. 1998, p. 380. *Algunas precisiones sobre los campamentos romanos*. Florentina Liberritana. Revista de estudios de Antigüedad Clásica.

<sup>21</sup> HERON. Sobre la *Dioptra*.

sirve para arrastrar grandes alineaciones ni para el trazado de la malla externa de las parcelaciones de tierras (*centuriato*). Del análisis de los trazados muy precisos de largas rectas en obras de carreteras y de la exactitud de la cuadrícula de tantas centuriaciones bien conocidas a partir de la fotografía aérea, es necesario concluir que la groma no fue el instrumento empleado.

Probablemente debamos circunscribir a la groma en un principio al uso ritual de carácter religioso de los augures y mensores que en los primeros siglos de Roma tuvieron tan importante papel. Entonces, todas estas delimitaciones y trazados de los nuevos establecimientos tenían un claro carácter de operación religiosa, esencialmente augural<sup>22</sup>.

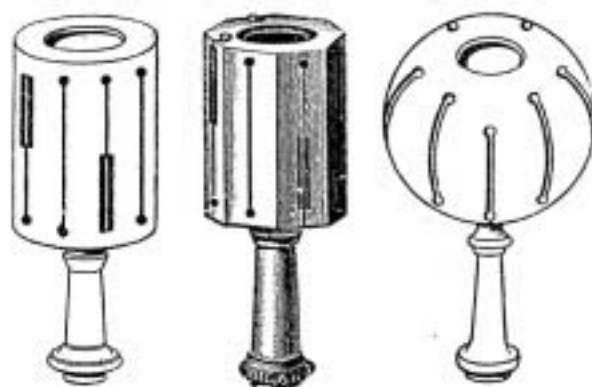
Los primeros geometras pertenecían a la clase sacerdotal, donde se guardaban los secretos de los números, de la geometría y de las ciencias augurales tomadas de la ciencia adivinatoria etrusca<sup>23</sup>. En palabras de Higinio Gromático: "De todos los ritos u operaciones de agrimensura quiere la tradición que sea el más eminente el del establecimiento de los límites... Este sistema de mediciones tiene su origen en la ciencia de los arúspices etruscos"<sup>24</sup>.

Los agrimensores perdieron su carácter sacerdotal a partir de la promulgación de la *Ley de las XII Tablas*, con motivo del proceso de secularización que experimentó el mundo romano<sup>25</sup>. Probablemente, a partir de ese momento la groma queda relegada a lo que podríamos llamar la medición no profesional, al reparto familiar de tierras y al replanteo de determinadas estancias o pequeñas superficies.

La groma nunca tuvo ningún papel en el replanteo de carreteras ni de obras hidráulicas, como tantas veces se ha pretendido en los textos modernos al uso, y ninguna noticia clásica nos apunta tal extremo. En nuestro análisis no se ha encontrado la utilidad de este instrumento para estos usos y, desde luego, existieron instrumentos mucho más sencillos, versátiles y eficaces para estas labores. Por motivos que luego exponremos, las grandes alineaciones, en las carreteras y también en las centuriaciones, debían apoyarse en importantes labores de triangulación previa, que forzosamente alcanzaban resultados muy precisos por lo que sabemos de los resultados y en estos casos en nada podía competir la groma.

## La Escuadra de Agrimensor

Realmente la groma es también una escuadra de agrimensor, pero en este apartado queremos tratar del instrumento que modernamente se ha conocido con este nombre. Se trata de un cilindro ranurado verti-

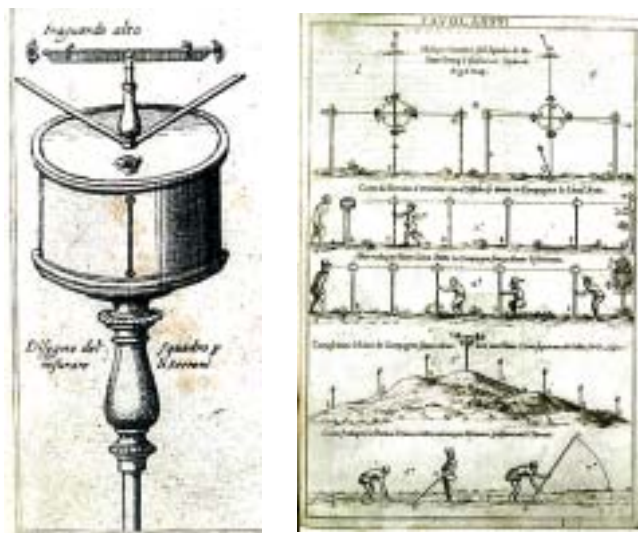


**Distintos modelos de escuadra de agrimensor de los conocidos modernamente.**

calmente de forma que las pínulas que forman las ranuras se sitúan de forma precisa en planos perpendiculares. Las alineaciones que a través de ellas se pueden establecer son normales entre sí o de 45 grados, según se dispongan.

El instrumento es conocido y usado en agrimensura en la edad moderna, al menos desde el siglo XVI. En esos momentos ya aparece dibujado en los tratados al uso y su funcionamiento y utilidad son ampliamente explicados<sup>26</sup>.

Sin embargo, en el museo de Coblenza (Alemania), existió antes de la II Guerra Mundial una pieza romana, hoy identificada con una escuadra de agrimensor, que posteriormente desapareció. Se trataba de una pieza octogonal con ventanas para pínulas en cada una de sus caras<sup>27</sup>.



**Escuadra de agrimensor del tratado de *Geometria practica* de Giovanni Pomodoro y la explicación de su manejo junto con la explicación del manejo de la *peritica*.**

<sup>22</sup> RESINA SOLA, P. 1998, p. 386. *Algunas precisiones sobre los campamentos romanos...* ob. cit. RESINA SOLA, P. 1990, p. 12. *Función y técnica de la agrimensura en Roma (II)*... ob. cit.

<sup>23</sup> RESINA SOLA, P. 2003, p. 306: *El Agrimensor en Roma*. En *Grecia y Roma: Sus gentes y sus cosas*. GARCÍA GONZÁLEZ, J.M., POCINA PÉREZ, A. Granada. 2003.

<sup>24</sup> HIGINIO GROMÁTICO. *De limitibus constituendi*. 166.

<sup>25</sup> RESINA SOLA, P. 2003, p. 306: *El Agrimensor en Roma*... ob. cit.

<sup>26</sup> POMODORO, G. 1603. *Geometria practica*... ob. cit.

<sup>27</sup> GREWE, K. 1985: *Planung und Trassierung Römischer Wasserleitungen dans Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft*. Supplémentband I. Wiesbaden.



**A.I.T.**  
**ORSEÑOR, S.L.**

*Nos introducimos en la  
RED IBEREF al instalar  
una antena GPS en  
Berzosa del Lozoya  
proporcionando una  
cobertura total en la  
Comunidad de Madrid.*

**ALQUILER DE GPS**

**DESDE 900 €/mes**

**ALQUILER DE:**

- *Estaciones totales*
- *Niveles ópticos*
- *Teodolitos*
- *GPS*
- *Niveles Electrónicos*
- *Niveles láser*

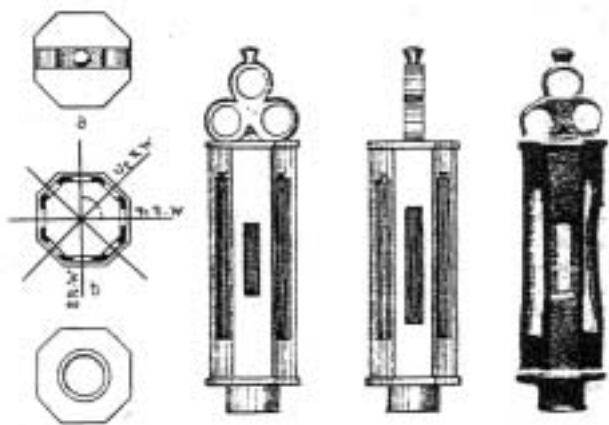


**ALQUILER INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS**

**ORSEÑOR, S.L.**

**C/Nieremberg 31 - 28002 Madrid Tlf: 902 10 48 42 / Fax: 91 415 63 04**

**www.ait-orsenor.com ait-orsenor@ait-orsenor.com**



**Escuadra romana de agrimensor del museo de Coblenza (desaparecida). GREWE, K. 1985.**

Este caso singular y aislado hasta entonces fue recordado por el hecho de que en 1997, durante el seguimiento arqueológico de los yacimientos afectados por la autopista A29 de Amiens a Saint-Quentin, apareció en una villa romana, en niveles estratigráficos de la segunda mitad del siglo III, una escuadra de agrimensor que por su aspecto, de no haber aparecido en esas circunstancias, bien podía haberse tomado por una escuadra del siglo pasado.

Esta escuadra aparecida en l'Orme-Ennemain (Somme) se encontraba muy bien conservada y con ella se realizó una interesante investigación, en la que se determinó, entre otras cosas, el grado de precisión de que aún disponía el instrumento<sup>28</sup>.

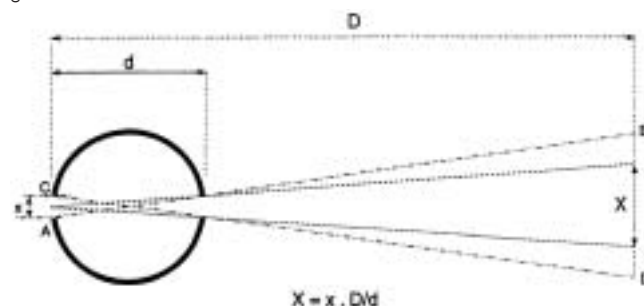
La altura total de esta escuadra de l'Orme es de 185 mm (10 dedos romanos) y 76,5 mm de diámetro. Dotada de 16 pínulas de ranura de 0,6 mm de grosor, podía medir ángulos de 22°30' y sus múltiplos (45°, 90° y 180°).

El error de apreciación de este tipo de escuadras siempre ha sido la principal preocupación de los agrimensores. La correcta construcción de la escuadra era modernamente lo primero que se comprobaba a la hora de adquirir una de ellas y para ello los topógrafos realizaban algunos ensayos de comprobación<sup>29</sup>. La precisión de la escuadra de agrimensor es fácil de comprobar alineando jalones firmemente clavados y aplomados y visualizando sobre ellos las alineaciones resultantes de los planos formados por las pínulas. Mediante los giros sucesivos de 90° sobre el eje de la escuadra se comprobará la sucesiva coincidencia, es decir, jalones puestos en perpendicular, con vértice en la escuadra, deben verse igual en las sucesivas visualizaciones a través de las pínulas.

<sup>28</sup> MARCHAND, G., PETITOT, H. Y VIDAL, L. 2000: *L'équerre d'arpenteur de l'Orme à Ennemain (Somme)*. Autor de la Dioptra d'Héron d'Alexandrie. Centre Jean-Paleme. Université de Saint-Étienne.

<sup>29</sup> DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F. 1958, p 68: *Topografía General y Agrícola*. Salvat Editores. Madrid.

El campo visual de la escuadra viene dado por el gráfico y la fórmula siguientes:



En la escuadra de l'Orme  $x = 0,60$  mm y  $d = 76,5$  mm, por lo que a 50 metros el campo de visión resulta de 39 cm.

En cuanto al error angular, en las pruebas realizadas se encontró alguna desviación de hasta 0,4 grados por defecto de construcción de las pínulas de ranura. Hay que preguntarse si este error podía ser menor en el tiempo en que esta escuadra estaba en uso, pues el grado de corrosión de las pínulas y la deformación del objeto debido al estado de enterramiento han debido de influir de alguna manera

Cabe apuntar aquí que el modelo desaparecido de Coblenza se prestaba en su momento a una vida más larga del aparato y tal vez una mayor precisión. Esta escuadra tenía en todas sus caras ventanas anchas para formar las pínulas. Sobre ellas irían colocadas finas cerdas de referencia y éstas, en función de su finura, proporcionaban una mayor precisión. Además, existía la posibilidad de calibrar la escuadra periódicamente mediante jalones de referencia colocados a suficiente distancia, en perpendicular y a 45°, siempre que existiera un mecanismo lo suficientemente versátil para la nueva fijación de las cerdas dentro de la ventana. Esto permitía una renovación y puesta al día del instrumento muy precisa, eficaz y rápida.

Vemos entonces que la escuadra de agrimensor es un instrumento mucho más perfeccionado que la groma y con el que se puede obtener una mayor precisión sin los inconvenientes añadidos por la omnipresente acción del viento durante su uso.

## El Gnomon

Otro concepto fundamental en topografía antigua es la determinación del norte para la orientación absoluta de los trabajos topográficos, geodésicos, de agrimensura, o de otra naturaleza. Hablamos de un momento en el que la brújula no existía y que probablemente, de haber existido, en este tipo de comprobaciones terrestres tampoco se hubiera empleado. Y es que, en efecto, la determinación del Norte verdadero<sup>30</sup> o astronómico estaba en manos de los técnicos de la antigüedad por métodos más sencillos de lo que cabría suponer:

<sup>30</sup> El Polo Norte y el Polo Sur verdaderos son referencias a los puntos donde el eje corta a la Tierra. Sin embargo, este eje de rotación no es fijo en la dirección. Sufre una precesión en un período de 25.800 años. El eje de rotación de la Tierra apunta hoy a *Polaris*, la estrella Polar. En el año 3.000 a.C., apuntó a Thuban, en el año 14.000, apuntará a Vega y en el año 22.800, apuntará de nuevo a Thuban.

A estos efectos cabe destacar las noticias que nos aporta Higinio Gromático<sup>31</sup>, cuando nos advierte de los errores que pueden producirse de no hacerlo correctamente:

*“Muchos por desconocer la cosmología, siguieron al Sol, esto es, el orto y el ocaso...”*

Y continúa describiéndonos la forma de establecer el Norte con precisión:

*“Primero hemos de trazar un círculo en un lugar plano, en la tierra, y en su centro colocamos un gnomon, cuya sombra (de la punta) entre también en algún momento en el círculo; es más seguro que tomar la línea de oriente a occidente. Observaremos cómo se acorta la sombra desde el amanecer. Después, cuando la sombra (de la punta) haya llegado a la línea del círculo, marcaremos ese lugar en la circunferencia. De igual manera observaremos la sombra al salir del círculo y marcaremos la circunferencia.*

*Una vez marcados estos dos puntos del círculo, en el lugar de entrada y salida de la sombra, se traza una línea recta a través de ellos cortando la circunferencia y señalamos su punto medio. Por este lugar deberá salir una línea perpendicular desde el centro del círculo.”*

Esta línea marca exactamente la dirección Norte-Sur.

El gnomon era utilizado en la antigüedad con profusión y se aprovechaban las propiedades del movimiento terrestre a través de la eclíptica para establecer con la ayuda del gnomon el mayor número de medidas posible. Recordemos cómo para el cálculo de las magnitudes de la Tierra, Eratóstenes se sirvió del scaphium o gnomon, según la noticia que nos aporta Cleomedes.

Vitruvio nos muestra otra interesante utilidad en su libro IX, capítulo VII, donde al describir los analemas nos dice<sup>32</sup>:

*“Mientras dura el equinoccio de primavera y de otoño, el Sol, situándose en Aries y en Libra, (21 de marzo y 21 de septiembre, respectivamente) a nueve partes de gnomon da ocho de sombra en la altura de polo (latitud) de Roma. En Atenas cuatro partes de gnomon dan tres de sombra. En Rodas siete partes dan cinco. En Taranto once dan nueve. En Alejandría cinco dan tres. Y en otros lugares distintos encontramos que las sombras equinociales son siempre diferentes, de acuerdo con la naturaleza. Y así siempre se deberá tomar la sombra equinoccial del lugar en que se hubieren de construir los relojes.”*

Las sombras equinociales de los gnomones verticales jugaban un papel fundamental en la construcción de los relojes o cuadrantes solares, pues a partir de su estudio y medida se podía calcular la latitud del lugar con la aproxima-

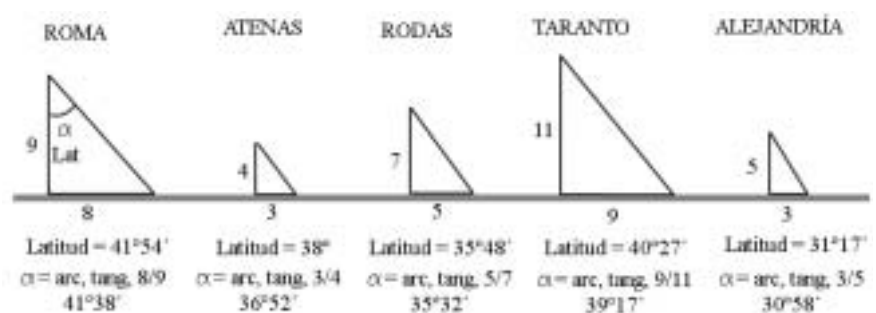


**Escuadra romana de agrimensor de l'Órme-Ennemain (Somme). Foto: Hervé Petitot.**

ción suficiente para llevar a buen término estos ingenios medidores de la hora.

En la figura se observa cómo con las proporciones establecidas por Vitruvio la exactitud es muy notable, considerando además que las latitudes geográficas actuales reseñadas en el gráfico responden al desarrollo cartográfico del elipsoide de referencia (Hayford) y no a la propia superficie de la Tierra, que era la que antiguamente se consideraba.

A partir del gnomon se construían con extraordinaria precisión relojes y calendarios en la antigüedad. El conocimiento del movimiento del Sol era completísimo y se tenían perfectamente estudiadas las gráficas que



<sup>31</sup> HIGINIO GROMATICO. De limitibus constituendis 188.

<sup>32</sup> VITRUVIO. De Architectura. Lib IX, cap VII.

forma la proyección de la sombra de un punto a la misma hora del día y en el discurrir de los días del año (analemas).

“Ciertamente es un fenómeno regulado por la mente divina, que proporciona una profunda admiración a quienes consideran por qué la sombra del gnomon, en el equinoccio, es de una determinada longitud en Atenas, de otra diferente en Alejandría y también distinta en Roma; en Placencia su longitud es diversa, como lo es en otras partes del mundo. Esta es la causa de que sean muy diferentes los trazos y las sombras que proyectan los relojes, cuando nos referimos a un lugar o a otro: la longitud de las sombras en el equinoccio determina de un modo concreto la disposición de los analemas”<sup>33</sup>.

Vitruvio describe de forma prolija el concepto de analema y su construcción y luego nos dice:

“Después de describir y explicar el analema hemos utilizado las líneas de invierno, de verano, o bien las de los equinoccios e incluso las de los meses, deberán trazarse las líneas que marquen las horas, en una base plana, de acuerdo con los cálculos del analema. A partir del analema se pueden deducir múltiples variantes y múltiples clases de relojes, simplemente con se-

guir unos cálculos técnicos. El resultado de estas figuras y diagramas es siempre el mismo: dividir en doce partes iguales el día equinoccial y el día de los solsticios de invierno y de verano”<sup>34</sup>.

### La Libra Aquaria

El nivel de agua o balanza de agua, de la que tenemos vagas referencias por parte de algunos autores clásicos<sup>35</sup>, ha sido interpretado y dibujado de muy diferentes formas.

Por la propia etimología de la palabra, nos inclinamos a pensar que se trata del clásico nivel de agua que utiliza el mecanismo de los vasos comunicantes para mantener el nivel constante en sus extremos, previo balanceo estabilizador o contrapesado del líquido.

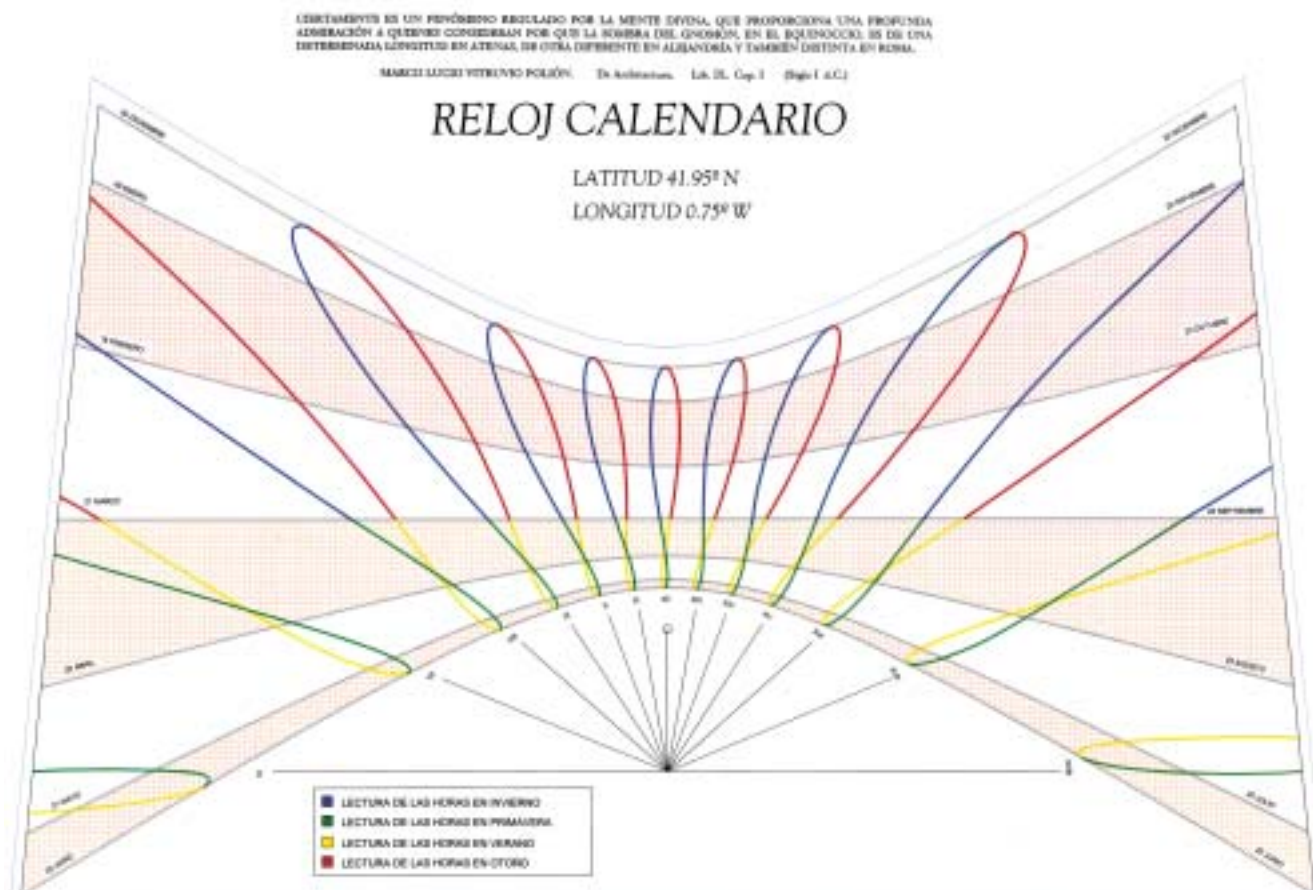
Cualquier conducto flexible, rematado por pequeños recipientes cilíndricos de vidrio transparente, se convierte en un excelente y versátil instrumento de nivelación que complementa, además, como veremos, a otros de mayor potencia, como el corobate.

Precisamente, el término griego para denominar a los conductos en U que canalizan las aguas, como los propios sifones invertidos de los grandes acueductos, es el de *koilia*, literalmente “intestino”.

<sup>33</sup> VITRUVIO, De Architectura. Lib. IX, Capit. I.

<sup>34</sup> VITRUVIO, Lib. IX, Capit. VII.

<sup>35</sup> Por ejemplo: VITRUVIO, De Architectura. Lib. VIII, 6-3.



**Ejemplo real de reloj-calendario de sol, construido con dimensiones monumentales (60 x 20 m.) cerca de Zuera (Zaragoza). Tiene los analemas dibujados en cuatro colores, uno por cada estación del año, y fue calculado por el ingeniero de Caminos Antonio Ramírez.**

Este instrumento, sencillo y muy eficaz, es el que consideramos como la referida *Libra Aquaria*.

### El Corobate

La existencia de un instrumento de nivelación preciso, potente y eficaz, en época romana, es perfectamente deducible del análisis de las grandes obras de canalización de las aguas que nos ha dejado esa civilización. Pero es a partir de las noticias que de él nos da Vitruvio como podemos deducir el aspecto que tenía.

A lo largo de la Historia, las interpretaciones sobre la forma y funcionamiento de este instrumento, realizadas a partir de la descripción de Vitruvio, ya que los gráficos originales de la obra de Vitruvio se perdieron, han sido de lo más variopintas y hasta contrapuestas entre si. Es de suponer, por tanto, que una parte importante de ellas debe estar equivocada radicalmente.

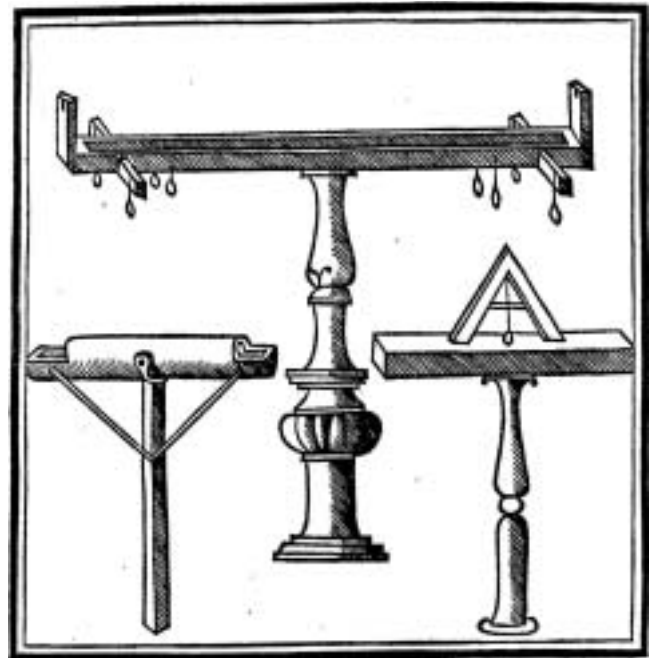
Un breve repaso histórico de estas interpretaciones nos lleva, en primer término, a una de las representaciones más antiguas que se conocen: la primera edición de los *Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio*, íntegramente en francés, de 1547<sup>36</sup>.

Algo posterior es la primera edición impresa en castellano, realizada por Miguel de Urrea en 1582<sup>37</sup>. Del mismo siglo y de sorprendente parecido en el diseño del corobate, son los *Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas llamados de Juanelo Turriano pero atribuidos a Juan de Lastanosa*<sup>38</sup>.

En todas estas primeras obras aparecen representaciones del corobate muy semejantes, en esencia consistentes en una regla sobre un pie derecho.

Con posterioridad, en 1673, el francés Claude Perrault traduce a Vitruvio<sup>39</sup> y hace una interpretación radicalmente diferente, convirtiendo el largo listón rematado de ménsulas y sujeto sobre un pie vertical, de las más antiguas ediciones, en una especie de mesa que se sustenta sobre cuatro patas.

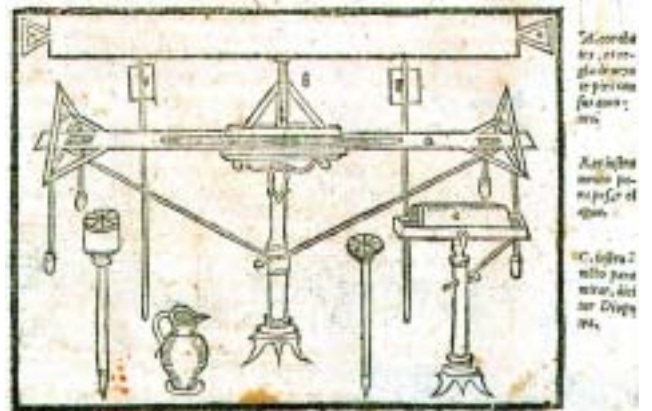
Obras posteriores editadas en España<sup>40</sup> adoptan ya el diseño de Perrault sin más explicaciones y posteriores autores más modernos, que hoy son



**Corobate y otros instrumentos en la edición francesa de Vitruvio de 1547, de MARTIN y GOUJON.**

la referencia arqueológica en esta ciencia, acogen este diseño con entusiasmo<sup>41</sup>.

Finalmente, Adam populariza en su obra<sup>42</sup> el corobate-mesita reduciendo la medida a metro y medio para hacerlo más manejable<sup>43</sup> y con uno construido así realiza una serie de prácticas en las ruinas de Pompeya.



**Reproducción del corobate y otros instrumentos en la edición de Vitruvio de Miguel de Urrea, impresa en Alcalá de Henares en 1582.**

<sup>36</sup> MARTIN, Jean [Traducteur] et GOUJON, Jean [Dessinateur]. 1547: *Architecture ou Art de bien bastir, de Marc Vitruve Pollion auteur romain antique, mis de latin en Francoys, par Ian Martin Secrétaire de Monseigneur le Cardinal de Lenoncourt*. Création / Publication Paris : pour la veuve et les héritiers de Jean Barbé et pour Jacques Gazeau.

<sup>37</sup> URREA, Miguel de (traductor). 1582: *Marco Vitruvio Polión, De Architectura*. Alcalá de Henares: Juan Gracián, 1582.

<sup>38</sup> GARCÍA TAPIA, N. 1997: *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*. Gobierno de Aragón, Zaragoza.

<sup>39</sup> PERRAULT, Claude (traducteur) 1675: *VITRUVÉ. Les dix livres de l'architecture*. Diverses rééditions, par exemple Les Libraires Associés, Paris 1965.

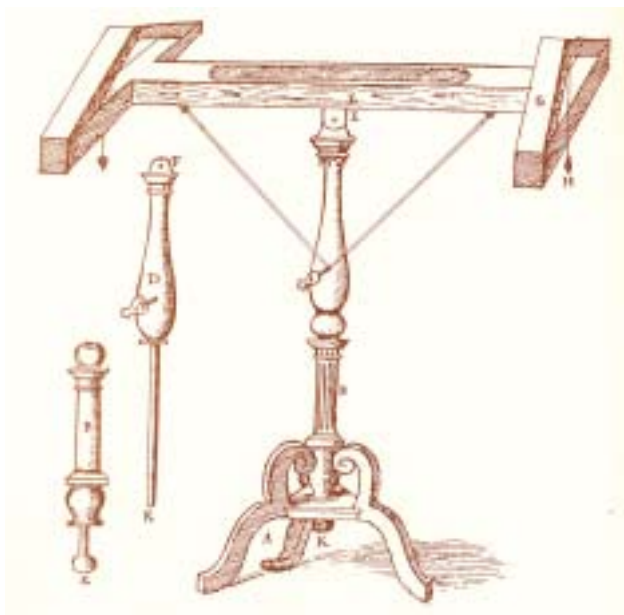
<sup>40</sup> VITRUVIO POLIÓN, Marco. *Los diez libros de Architectura*. En Madrid: En la Imprenta Real, 1787.

<sup>41</sup> COZZO, G. 1928: *Ingegneria Romana*, Mantegazza di Paolo Cremonese, Rome  
CHOISY, A. 1899: *Histoire de l'architecture*. Diverses rééditions, par exemple Vincent Fréal et Cie 1964.

KRETZSCHMER, F. 1966: *La technique romaine*. Documents graphiques réunis et commentés, Bruxelles.

<sup>42</sup> ADAM, J. P. 1989, pp. 9 y ss. 2ª ed. esp. 2002: *La Construcción romana. Materiales y técnicas...* ob. cit.

<sup>43</sup> A la vez que altamente impreciso, ya que el error transmitido es directamente proporcional al cuadrado de la distancia y cualquier error de partida en la nivelación de un corobate de metro y medio de longitud es dieciséis veces superior al de uno de seis metros de longitud.



**Corobate dibujado en los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas**

Del análisis detallado de estas reproducciones y reconstrucciones aparecidas a lo largo de la Historia, cualquier experimentado topógrafo puede concluir lo siguiente:

El modelo sobre un pie vertical, dotado en sus extremos de ménsulas, con o sin refuerzo en triángulo, como el de la edición de Martin y Goujon, Urrea y el de los *Veintiún Libros*, sirve, con ciertas limitaciones, para nivelar. Una importante limitación que se presenta en este modelo es que la visual no puede ser lanzada de forma limpia, como consecuencia de la disposición de las ménsulas o de los triángulos de madera que se han dibujado coronando las ménsulas.

Otros problemas serios no resueltos en este modelo son:

- No existe un dispositivo para el giro sobre el eje longitudinal (horizontal) del corobate y poder así posicionar el aparato correctamente

- en el plano horizontal, a pesar de que el dibujado en los *Veintiún Libros* presenta las plomadas en la posición más favorable para este fin.
- El giro sobre el eje vertical en el apoyo, para transportar el nivel escogido a diversos puntos dentro de un determinado radio de acción. Este giro es muy importante y si se realiza sobre un eje por debajo del punto de nivelación, es decir no vertical, como ocurre claramente en el modelo de los *Veintiún Libros* y se supone que en los otros, donde no se especifica, la nivelación se perderá con el giro.

El modelo en forma de mesa, es hoy el aceptado de forma universal por la arqueología y por la investigación de la ingeniería romana en general, sin embargo, presenta excesivos impedimentos para la nivelación eficaz y precisa:

- Su estacionamiento es muy difícil, ya que exige un pesado y complicado recalce de tres de las cuatro patas para conseguir el nivel.
- No admite giros de ningún tipo.
- Una vez estacionado no ofrece una visual limpia de las líneas horizontales que forman el plano a trasladar.
- Cualquier deformación de la madera en su compleja estructura, cosa segura con el tiempo y las variaciones de humedad, lo inutiliza en mayor medida que cualquier otro modelo.

No es arriesgado de esta forma concluir que, sencillamente, no sirve para nivelar.

Por este motivo, nosotros hemos querido volver a los orígenes del problema, esto es, a una correcta traducción del texto de Vitruvio, ya que consideramos que es el motivo del mayúsculo error en el que se encuentra el estado de la cuestión.

A partir de aquí, hemos reconstruido el instrumento con la mayor precisión posible, ajustándonos fielmente a la descripción de Vitruvio y, sobre todo, creando una máquina de nivelación eficaz y potente que sirviera para lo que Vitruvio apunta.

Hemos recurrido a nuestra experiencia topográfica con instrumentación rudimentaria, hoy ya en desuso, pero tan habitual y eficaz cuando, antaño, disponer de un nivel óptico no era fácil.



**A la izquierda, corobate construido por Adam y ensayado en Pompeya. A la derecha uno de los muchos corobates tipo mesa de metro y medio de longitud, tipo Adam, que hoy pueden verse reconstruidos con fines divulgativos. Éste, en el museo-exposición del Pont de Gard (Nimes-Francia).**



**al-top**  
TOPOGRAFIA

BARCELONA MADRID GALICIA PAIS VASCO-NAVARRA LEVANTE BALEARES

**al-top**  
TOPOGRAFIA  
[www.al-top.com](http://www.al-top.com)

*De Architectura libri decem, liber VIII, cap. V, 1-3<sup>44</sup>.*

1. Nunc de perductionibus ad habitationes moeniaque ut fieri oporteat explicabo. Cuius ratio est prima perlibratio. Libratur autem dioptris aut libris aquariis aut chorobate, sed diligentius efficitur per chorobatem, quod dioptrae libraeque fallunt. Chorobates autem est regula longa circiter pedum viginti. Ea habet ancones in capitibus extremis aequali modo perfectos inque regulae capitibus ad normam coagmentatos, et inter regulam et ancones a cardinibus compacta transversaria, quae habent lineas ad perpendicularum recte descriptas pendentiaque ex regula perpendiculara in singulis partibus singula, quae, cum regula est conlocata eaque tangent aequae ac pariter lineas descriptionis, indicant libratam conlocationem.
  2. Sin autem ventus interpellavit et motionibus lineae non potuerint certam significationem facere, tunc habeat in superiore parte canalem longum pedes V latum digitum altum sesquidigitum eoque aqua infundatur, et si aequaliter aqua canalís summa labra tanget, scietur esse libratum. Item eo chorobate cum perlibratum ita fuerit, scietur quantum habuerit fastigii.
  3. Fortasse qui Archimedis libros legit dicet non posse fieri veram ex aqua librationem, quod ei placet aquam non esse libratam sed sphaeroides habere schema et ibi habere centrum quo loci habet orbis terrarum. Hoc autem, sive plana est aqua seu sphaeroides, necesse est, ad extrema capita dextra ac sinistra cum librata regula erit pariter sustinere regulam aquam, sin autem proclinata erit ex una parte, qua erit altior non habere regulae canalem in summis labris aquam. Necesse est enim quacumque aqua sit infusa in medio inflationem curvaturamque habere, sed capita dextra ac sinistra inter se librata esse. Exemplar autem chorobatae erit in extremo volumine descriptum. Et si erit fastigium magnum, facilius erit decursus aquae. Sin autem intervalla erunt lacunosa, substructionibus erit succurrendum.
1. Trataré ahora de los métodos de conducir el agua a las viviendas y a las ciudadelas. En primer lugar se ha de hacer el nivelado. Se puede nivelar con dioptras, con niveles de agua o con un corobate, pero se hace con mayor precisión por medio del corobate, porque las dioptras y los niveles fallan. El corobate es una regla recta de aproximadamente veinte pies de largo (unos 5,92 m). En los extremos posee unos brazos transversales [ménsulas<sup>45</sup>] que se corresponden con exactitud, poseen la misma medida y están fijados en los extremos de la regla, formando un ángulo recto; entre la regla y estos brazos van unos travesaños sujetos por medio de espigas que tienen unas líneas trazadas en vertical, con toda exactitud; además lleva unos hilos de plomo suspendidos en cada uno de los extremos de la regla; cuando la regla está en su correcta posición, si los hilos de plomo rozan de manera idéntica a las líneas trazadas, es señal de que el corobate está perfectamente nivelado.
  2. Pero si molestara el viento, y con los vaivenes las líneas no pudieran dar una indicación exacta, haya entonces un canal en la parte superior del corobate, de 5 pies de largo, un dedo de ancho y dedo y medio de profundidad (1,48 x 0,0185 x 0,0278 m), y rellénes de agua. Si el agua toca por igual los extremos superiores del canal, se sabrá que está nivelado. Y con la ayuda del corobate correctamente nivelado, se podrá conocer el grado de inclinación.
  3. Quizá algún lector de las obras de Arquímedes dirá que no se puede hacer una nivelación fiable por medio del agua, porque Arquímedes sostiene que el agua no tiene una superficie horizontal, sino que es de forma esférica y tiene su centro en el centro de la tierra<sup>46</sup>. Sin embargo, sea el agua plana o esférica, necesariamente cuando una regla recta está nivelada soporta el agua uniformemente en sus extremos a derecha e izquierda, pero si se inclina el extremo más alto, no alcanzará un borde del canalito de la regla recta, y por el otro se derramará. Pues aunque el agua, siempre que se vierta, debe tener una superficie curva en el centro, sin embargo, las extremidades a uno y otro lado deben estar niveladas una con otra. Al final del libro incluiré un dibujo del corobate. Si se espera que haya considerable descenso, la conducción del agua será relativamente fácil. Pero si el curso que se ha de seguir se interrumpe por depresiones, será necesario recurrir a subestructuras (para soportar la conducción).

Cuando examinamos el funcionamiento de las niveletas<sup>47</sup> y los sabios consejos que los técnicos de principios del siglo XX daban para su correcto uso, descubrimos que este instrumento es algo así como un corobate desmantelado, pero no menos eficaz, manejable y versátil, aunque diferente en la forma de poner en estación. A pesar de su sencillez, su precisión puede llegar a ser muy semejante a la de los instrumentos modernos, dependiendo sobre todo de la vista y la pericia del topógrafo.

Las niveletas han sido usadas en la construcción de canales, ferrocarriles, carreteras y un largo etcétera de obras de ingeniería a lo largo de la His-

toria, desde tiempo inmemorial, y modernamente hemos sido testigos de su uso y de su grado de competencia frente al nivel óptico actual.

A partir de estos conocimientos y siguiendo las instrucciones de Vitruvio, hemos colocado un listón de 5,92 m (20 pies) de longitud sobre trípode robusto, mediando entre ambos una sencilla base nivelante giratoria de fabricación artesanal. El listón se remata con unas ménsulas transversales, unidas a él mediante gruesas espigas a las que quedan sujetas las ménsulas.

La forma y el encaje de todos estos elementos permiten la puesta en estación precisa y rápida, ayudándose por hilos aplomados, como indica Vitruvio. El corobate puede ser estacionado y las ménsulas colocadas en un plano horizontal, eficazmente, en pocos segundos.

El calibrado del corobate es igualmente rápido. Con ayuda del nivel de agua (*libra aquaria*) se coloca en el plano horizontal rápidamente y sólo quedará marcar la posición de los hilos aplomados para que siga funcionando sin problemas. Esta operación puede repetirse cuantas veces se estime conveniente si se sospecha que la madera se ha deformado o cualquier ajuste ha sufrido una modificación por alguna circunstancia.

<sup>44</sup> Traducción de C. Andreu en la edición *M. L. Vitruvius De Architectura* (prólogo de Eugenio Montes), Madrid, 1973, pp. 177-178, revisada por Alicia Canto, de la Universidad Autónoma de Madrid.

<sup>45</sup> Ancones puede traducirse como extremidades, brazos, o ménsulas, pero difícilmente como patas, como lo hicieron los traductores que originaron el despropósito.

<sup>46</sup> Obsérvese el perfecto conocimiento de la forma de la tierra y del funcionamiento del agua que se poseía en la antigüedad.

<sup>47</sup> Instrumento en forma de cruz truncada usado en grupos de tres, auxiliado con el nivel de agua para poner en el plano horizontal las dos primeras. Muy eficaz en nivelaciones de acequias y canales y, por tanto, perfectas para pendientes de ferrocarriles y carreteras.



**Caso real de empleo de las niveletas en la construcción del ferrocarril del siglo XIX.**

El resultado del primer corobate que fabricamos en Zaragoza en mayo de 2004 fue sorprendente desde el primer momento. Consiguió competir en precisión con el nivel óptico moderno en distancias relativamente largas, de más de cincuenta metros, y suficientes para el fin buscado. Tras ir puliendo algunos detalles sucesivamente, hemos llegado al modelo final, que proporciona una exactitud en las nivelaciones muy semejante a la del nivel óptico en distancias superiores a 70 metros, siempre que el topógrafo tenga buena vista. Es decir, una exactitud excelente, toda vez que visuales más largas son siempre inadmisibles en nivelaciones de los itinerarios, debido al grado de error que a partir de esa distancia ocasiona la esfericidad de la tierra.

Todo el sistema es susceptible de perfeccionamiento con pequeñas modificaciones y sencillos dispositivos que permiten aumentar la eficacia, siempre que su construcción sea correcta. De esta forma, es posible incluir una alidada de pínulas horizontales, que permite observaciones muy precisas sobre la referencia de la mira que es portada por el operario a lo largo del terreno y que sirve para fijar el nivel trasladado.

Esta alidada permite igualmente la observación a muy largas distancias, cuando es necesario el empleo de esta técnica, en las que no pocas veces hay que auxiliarse de elementos de visualización especiales, como los luminosos, de los que siempre se han empleado en operaciones topográficas a larga distancia y de los que luego hablaremos.

### La Dioptra

Este instrumento consistía fundamentalmente en una alidada de pínulas que podía desplazarse sobre un limbo graduado. Pero existieron algunas variantes a lo largo del tiempo.

De las noticias que tenemos de Hiparco sabemos que la dioptra que este autor usaba tenía una pínula fija y otra deslizante sobre una barra graduada de cuatro codos de longitud (1,78 m). Probablemente este mecanismo le permitía el empleo de la técnica estadimétrica, consiguiendo así calcular distancias

por métodos indirectos. La estadía basada en este sistema ha sido empleada con éxito en la topografía moderna, pero podemos decir que Hiparco fue el inventor del método, dado que es la primera referencia que tenemos de un uso semejante de las pínulas.

Herón de Alejandría escribió sobre el uso de la dioptra. Este autor dotó al instrumento de un limbo horizontal y otro vertical, con lo que consiguió un verdadero taquímetro, cuya versatilidad permitía realizar casi todas las operaciones que hemos visto realizar modernamente por estos instrumentos. En palabras del propio Herón<sup>48</sup>,

<sup>48</sup> HERON. *Sobre la Dioptra*.



**Arriba, primeras pruebas de calibrado, estacionamiento y precisión de nuestro corobate, en mayo de 2004. Abajo, compitiendo con el nivel óptico moderno, en septiembre de 2004.**



**Detalle de la plomada que marca la horizontalidad del aparato y del aparato en estación.**

sirve para el levantamiento de planos, nivelaciones, mediciones de campos sin necesidad de entrar en ellos, medir ángulos, hallar el área de un triángulo, atravesar una montaña siguiendo la línea recta, medir distancias y alturas de lugares inaccesibles, etc.

Instrumentos del máximo interés, basados en la mecánica de la dioptra, se desarrollaron en al Europa del siglo XVI. En los *Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas llamados de Juanelo Turriano pero atribuidos a Juan de Lastanosa*<sup>49</sup>, se recogen algunos de estos instrumentos, destacando el ingenioso Cuadrante Geométrico, que no era otra cosa que una dioptra instalada en un limbo cuadrado y que permitía la resolución de operaciones simples mediante la técnica de la semejanza de triángulos.

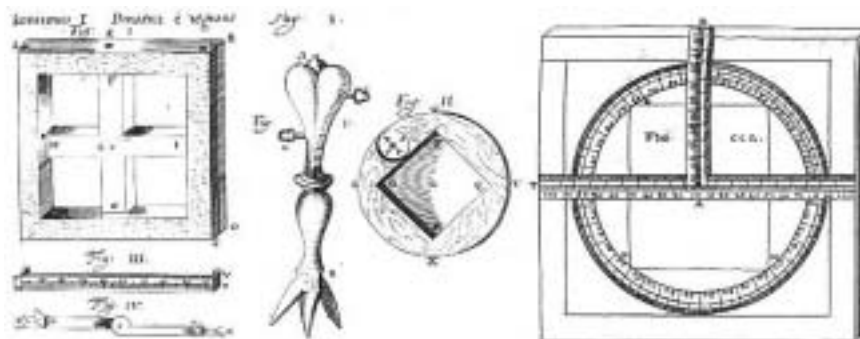
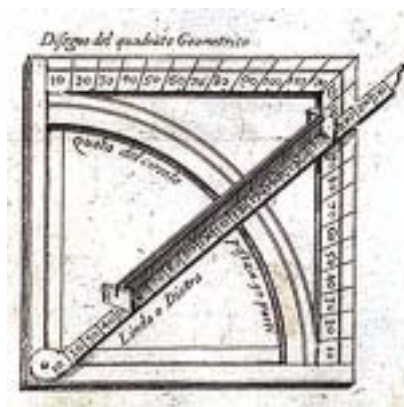
Giovanni Pomodoro<sup>50</sup>, en 1603, dibuja también en su obra el que llama *Quadrato Geometrico*.

Athanasius Kircher<sup>51</sup>, en 1631, demostró cómo el uso de un instrumento desarrollado por él, el Pantómetro, podía resolver las principales operaciones topográficas que en su época venían a necesitarse. Este instrumento, ciertamente complicado, a medio camino entre la dioptra y el cuadrante geométrico, alcanza sin embargo mayor complejidad de construcción y uso.

Sebastián Fernández<sup>52</sup>, en 1700, dibuja con buena precisión una alidada de pínulas sobre un limbo circular, al que añade otras pínulas con visual en escuadra, respondiendo a una de las evoluciones modernas de la dioptra heroniana.

Respecto a la precisión inherente a estos instrumentos, podemos apuntar que, para la apreciación de las fracciones de ángulo, en el limbo de Sebastián Fernández se empleaban divisiones alternas, en blanco y negro, que permitían apreciar bien el medio grado, teniendo que recurrir a la aproximación para fracciones menores.

Fue Pedro Núñez, (Nonius 1502-1578), cosmógrafo real para el que se creó expresamente una cátedra de Matemáticas en Coimbra, quien inventó el nonio para suplir este tipo de carencias. El nonio es un mecanismo que permite medir con precisión ángulos pequeños, pero dada su difícil construcción tardó mucho en ser aplicado con regularidad en los limbos y reglas graduadas.



**Arriba, a la izquierda, limbo con pínulas y pie articulado para labores topográficas, dibujado en 1700 la obra de Sebastián Fernández. A la derecha el cuadrante geométrico de Pomodoro, dibujado en la edición de 1603. Abajo, despiece del pantómetro en la obra de Gaspare Schotto.**

No consta que en Roma se empleasen este tipo de artificios para la medición precisa de los ángulos, pero hay que apuntar que un calibrador de bronce descubierto en China, hecho en el año 9 d.C., es el más antiguo calibre de nonio que se conoce. A juzgar por su principio, sus características y sus usos, tiene gran similitud con los calibres de nonio modernos. Este calibrador, de 14,22 centímetros de largo, está compuesto por dos reglas, una fija y la otra móvil. En medio de la regla fija hay una ranura, en tanto que en la regla móvil hay un pasador, de modo que la regla movediza puede correr por la ranura hacia la izquierda o hacia la derecha. La cara de la regla fija está graduada en cun y fen y en el reverso está inscrita la fecha en que fue hecho el calibre de nonio. El descubrimiento de este instrumento chino adelantó la fecha de su invención en 1500 años.

Volviendo a la dioptra que nos ocupa, hemos visto diversas reconstrucciones de ella en los textos modernos especializados. Vincent<sup>53</sup> y Schone<sup>54</sup> propusieron modelos que se han popularizado luego entre otros autores que sucesivamente se han ocupado de ella.

Adam<sup>55</sup> propuso también otro modelo, con el que no consta que experimentase personalmente.

<sup>49</sup> GARCÍA TAPIA, N. 1997: *Los veintiún libros...* ob. cit.

<sup>50</sup> POMODORO, G. 1603: *Geometria prattica...* ob. cit.

<sup>51</sup> SCHOTTO, Gaspere. 1690: *Pantometrum Kircherianum...* ob. cit.

<sup>52</sup> FERNÁNDEZ DE MEDRANO, S. 1700: *El architecto perfecto en el arte militar*. Bruselas.

<sup>53</sup> VINCENT, M. 1858 : *Geodesic of Heron of Byzance*. Notices et extraits des manuscrits de la Bibliotheque Imperiale, XIX 2. Paris.

<sup>54</sup> SCHÖNE, H. 1903: *Hérons von Alexandria Vermessungslehre und Dioptra*. Leipzig.

<sup>55</sup> ADAM, J. P. 1989, pp. 9 y ss. 2ª ed. esp. 2002: *La Construcción romana. Materiales y técnicas...* ob. cit.

Del análisis de los modelos propuestos modernamente, puede observarse que su puesta en estación es altamente complicada, dependen enormemente de la exactitud de su construcción para el correcto funcionamiento y la precisión en general no puede ser importante, por tratarse de diseños poco aptos para mantener el ajuste tras la realización de los movimientos de giro horizontal y vertical, este último cuando lo tiene.

Nosotros, de nuevo partiendo de cero y en base a las escasas notas descriptivas que del instrumento poseemos, hemos buscado el aparato que nos permita obtener un rendimiento aceptable dentro de la máxima precisión.

Sabemos que determinadas labores topográficas, como las labores de triangulación en grandes superficies, el trazado de largas alineaciones, el dibujo de mapas de precisión, etc., exigen labores de medición del terreno que requieren una precisión muy grande. Los levantamientos taquimétricos de grandes superficies requieren de aparatos eficaces y de gran rendimiento para llevarse a cabo con éxito y estamos convencidos de que los técnicos romanos estaban capacitados para realizarlas y las hacían.

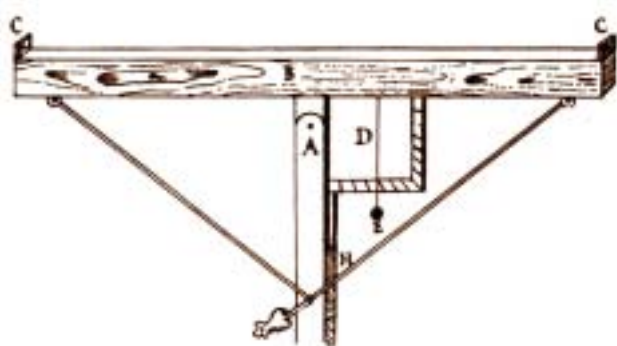
Construido el prototipo adecuado tras largas sesiones de dibujo y diseño, los primeros resultados obtenidos con el aparato que ahora manejamos son satisfactorios y creemos que el nivel de competencia con el taquímetro moderno será elevado.

No obstante, dejaremos para otra ocasión la presentación pública del aparato en cuestión, entre tanto seguimos realizando las pruebas pertinentes, anticipando únicamente que su aspecto difiere radicalmente con los de los aparatos propuestos hasta hoy.

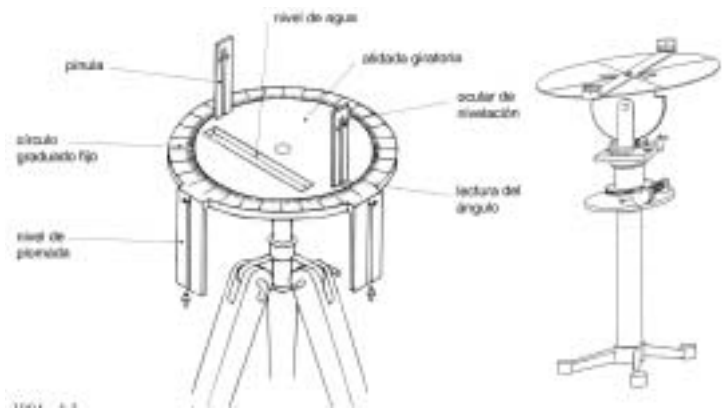
### La Lámpara

Llamada en la antigüedad *Lychnia*, fue un instrumento sencillo pero potente, consistente en un pie vertical bien aplomado y un brazo horizontal graduado que puede girar y posicionarse sobre el vertical.

Los triángulos formados entre ambos permiten el cálculo de las distancias a los puntos que se observan, aplicando el principio de semejanza de triángulos.



**Dioptra con limbo cuadrado vertical para mediciones topográficas representada en los Veintiún Libros de los Ingenios y la Máquinas.**

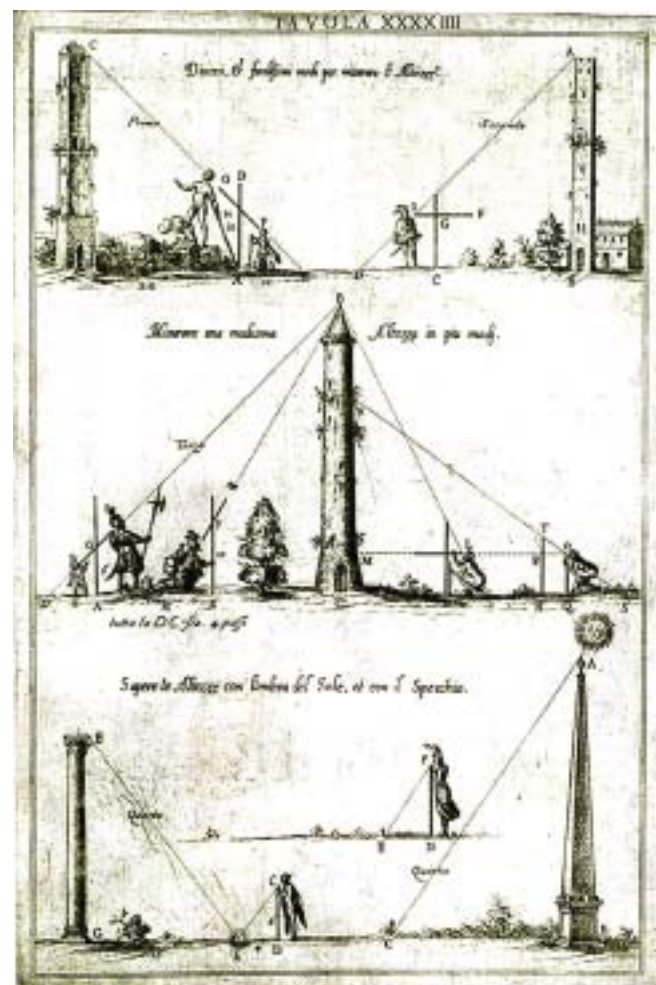


**A la izquierda, propuesta de Adam para la reconstrucción de la dioptra. A la derecha la de Schöene.**

Hemos visto en los gráficos de Pomodoro cómo a finales del siglo XVI se conocía y utilizaba un sencillo instrumento que responde a las mismas funciones que la lámpara tenía en la antigüedad.

La potencia y versatilidad de la lámpara podía aumentarse notablemente colocando pínulas en el brazo horizontal, aportando así capacidades de medición estadimétrica.

(Continuará)



**Ejemplo de uso de instrumental de medición, basado en la Lychnia clásica, representado en la obra de Pomodoro**

# Elaboración del Mapa Turístico y Excursionista de Jalance (Valencia) a escala 1:25.000

Óscar García Costa

Tutor: Jesús Irigoyen Gaztelumendi

E.T.S. DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA (UPV)

## V Premio San Isidoro 2005 3<sup>er</sup> Premio

### I. INTRODUCCIÓN

#### I.1. Objetivos del proyecto

Este proyecto ha consistido en la elaboración de un mapa turístico del término municipal de Jalance (Valencia). Lo que se pretendía era realizar un mapa donde tuviera cabida toda la información oportuna y con una alta calidad topográfica. También se quiso que el mapa ofreciera una estética agradable, donde toda la información estuviese actualizada

En cuanto a la información turística y excursionista propiamente dicha, se ha pretendido mostrar todos los elementos de interés para este ámbito. Se quiso dotar de suficientes atractivos al mapa para que sea del interés del mayor número posible de usuarios.

### 2. CONSIDERACIONES PREVIAS

#### 2.1. Base cartográfica

Para elaborar el mapa se tomó como base la cartografía de la serie CV10, en dos dimensiones, a escala 1:10.000, del Instituto Cartográfico Valenciano, para ello se disponía de los ficheros en formato DGN de MicroStation. A su vez, también se disponía de la misma información en formato SHP de ArcMap, que se ha utilizado para la elaboración del sombreado del fondo.

Las hojas necesarias para cubrir el total del nuevo mapa son 14, de las cuales el término municipal está distribuido en 8 de ellas, abarcando un total de 4 hojas de la serie 1/50.000. Para trabajar más cómodamente

desde MicroStation, lo primero que se hizo fue fusionar todas estas hojas para tener un único fichero.

#### 2.2. Escala de representación y formato del papel

Las dimensiones reales del término son 18.880 m en la coordenada **X** y 9.300 m en la **Y**, una extensión considerable teniendo en cuenta que es recomendable que los mapas excursionistas se realicen a escalas relativamente grandes, por lo que el tamaño de la hoja puede ser excesivo.

En un primer momento se hizo una comparación entre los diferentes tamaños ocupados por el término en papel al dibujarlo a diferentes escalas, escogidas *a priori* como apropiadas en cuanto al nivel de detalle aportado.

Estas escalas son 1:15.000, 1:20.000, 1:25.000 y 1:40.000, pues todas ellas son muy utilizadas en este tipo de mapas, ya que el nivel de detalle que se puede representar es grande.

De estas escalas se descartó la 1/15.000 y la 1/20.000 por el tamaño final de la hoja, pues era demasiado grande, ya que se quería que fuera manejable en campo. Si se representaba el mapa a escala 1/40.000, el tamaño final era bueno, o incluso demasiado pequeño, pero a esta escala el nivel de detalle que se podía representar era menor de lo deseado y como lo que se quería era poder mostrar claramente todas las vías de comunicación (incluso el mayor número de sendas posibles), elementos puntuales, simbología específica, etc., se decidió descartarla también. Finalmente, se decidió que la escala del mapa sería 1/25.000, dejando para más adelante la elección del tamaño exacto de la hoja.

### 2.3. Información contenida

Se pretendía que el mapa fuera del interés del mayor número posible de usuarios, para ello se decidió cartografiar todos aquellos elementos interesantes desde el punto de vista turístico, natural, deportivo y cultural, sin olvidar tampoco los referidos a logística, que siempre es conveniente conocer su existencia.

## 3. GENERALIZACIÓN

La generalización es una forma de obtener cartografía derivada a partir de otros mapas básicos, por lo que hay que proceder a una reducción de detalles del mapa original y obtener así una imagen más simplificada de éste. Para lograr este cometido se han de aplicar procesos de selección de los elementos, eliminando los menos importantes, agrupación de los elementos con características similares, simplificación de la forma y simbolización adecuada a la nueva escala.

### 3.1. Vías de comunicación

Al dejar de visualizarse correctamente a la nueva escala, hay que aumentar el ancho de las vías, pero el problema residió en que en los archivos originales todas las carreteras y caminos estaban dibujados como forma poligonal compleja a la que se le había aplicado un relleno, por lo que no es tarea inmediata ampliar el ancho de estas vías. La forma de pasarlos a línea se realizó vectorizando los polígonos, que se debían pasar previamente a formato ráster, mediante el programa ArcMap.

Una vez se tenían las vías de comunicación como una línea, se representaron correctamente mediante el uso de caja y fondo, pues es la forma que permitía asignar el grosor deseado automáticamente y la correcta representación de los cruces.

### 3.2. Cascos urbanos y edificios aislados

El trato a aplicar variaba según se trataba de edificios agrupados en las zonas urbanas o de edificios aislados. Comenzaremos explicando las correcciones efectuadas sobre los edificios aislados.

Para evitar que las casas aisladas aparecieran como manchas ininteligibles, se hizo uso de una macro en MicroStation para sustituir las edificaciones de un área menor de 144 m<sup>2</sup> y clasificadas como edificación aislada, por una célula con la simbolización adecuada, además de asignarles la orientación deseada. Al haber cambiado los polígonos existentes por una célula más grande, se producían conflictos entre casas contiguas, de modo que edificios que antes estaban correctamente situados ahora se solapaban. Dependiendo de si las casas eran grandes o no, se decidió eliminar una de las células o separarlas ligeramente para poder visualizarlas correctamente. También se producía un solape de aquellas situadas a orillas de las vías de comunicación con éstas, por lo que se desplazaron unos 5 m, de forma que ya no se producía este solape.

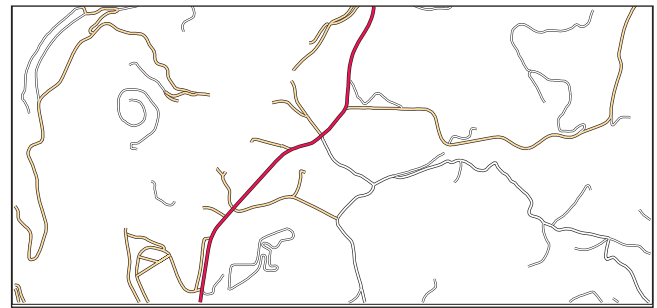
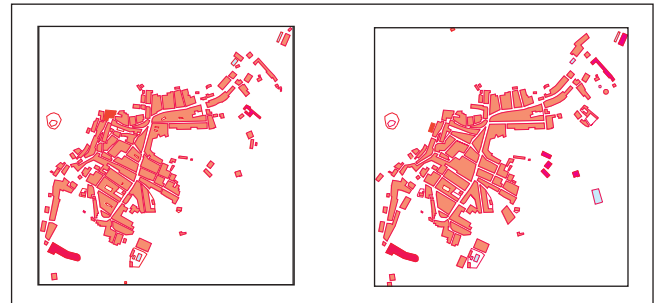


Figura 1. Vías de comunicación representadas con caja y fondo; escala 1:25.000



Figuras 2a y 2b. Casco urbano de Jalance original y generalizado; escala 1:25.000

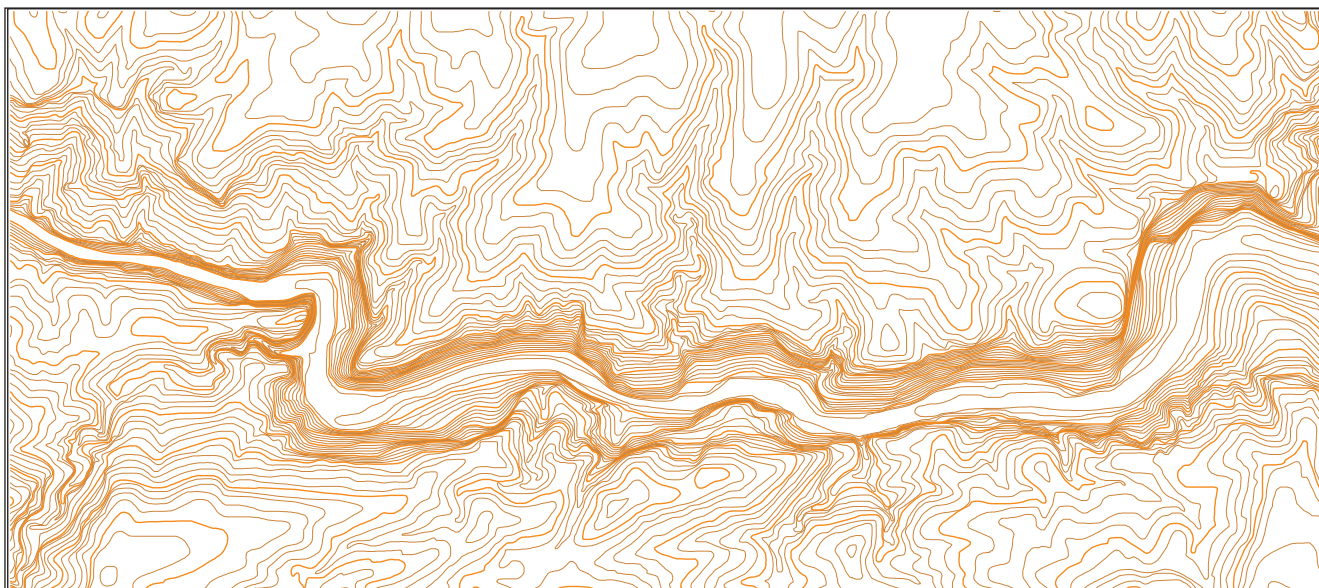
Todas estas actuaciones se han realizado también para los edificios en ruinas, pero cambiando la simbolización de la célula.

En el caso de cascos urbanos, las calles desaparecían en su mayoría, pues éstas eran tan estrechas que las manzanas se juntaban. Para solucionar este problema se amplió el ancho de las calles aplicando una homotecia a las manzanas de edificios. También se suprimieron algunas calles menos importantes, juntando varias manzanas en una sola, a la vez que algunos pequeños salientes se eliminaron para mejorar la claridad. Los patios interiores fueron otro de los elementos que se suprimieron prácticamente en su totalidad, pues suelen ser pequeños patios sin importancia, dejando sólo aquellos que eran lo suficientemente grandes como para representarlos a escala 1:25.000 sin problemas.

### 3.3. Curvas de nivel

El número de vértices de estas curvas no resultaba excesivo, por lo que no se redujo, pero lo que sí suponía un problema es que en toda la extensión del mapa existen numerosas zonas muy abruptas en las que las curvas de nivel formaban un amalgamamiento poco estético que dificultaba la legibilidad en esas zonas y que además impedía la interpretación del relieve. Esto sucedía especialmente en el cañón del río Júcar en su primer tramo dentro del término de Jalance.

Para aclarar las zonas conflictivas se optó por la supresión de las curvas de nivel normales, dejando únicamente las curvas maestras. Como se puede observar en las imágenes siguientes, la zona se muestra más cla-



**Figura 3. Zona de curvas de nivel sin generalizar; escala 1:25.000**

ra cuando se han suprimido las curvas, lo que a primera vista puede parecer un problema, pues el usuario suele asociar una zona con curvas de nivel más juntas a un terreno más montañoso, pero como se va a añadir un sombreado a la zona de interés del mapa, éste oscurecerá esta zona, ahora clara, devolviéndole así la sensación de terreno abrupto.

A continuación se muestra una zona del cañón del río antes y después de aplicar la generalización de las curvas.

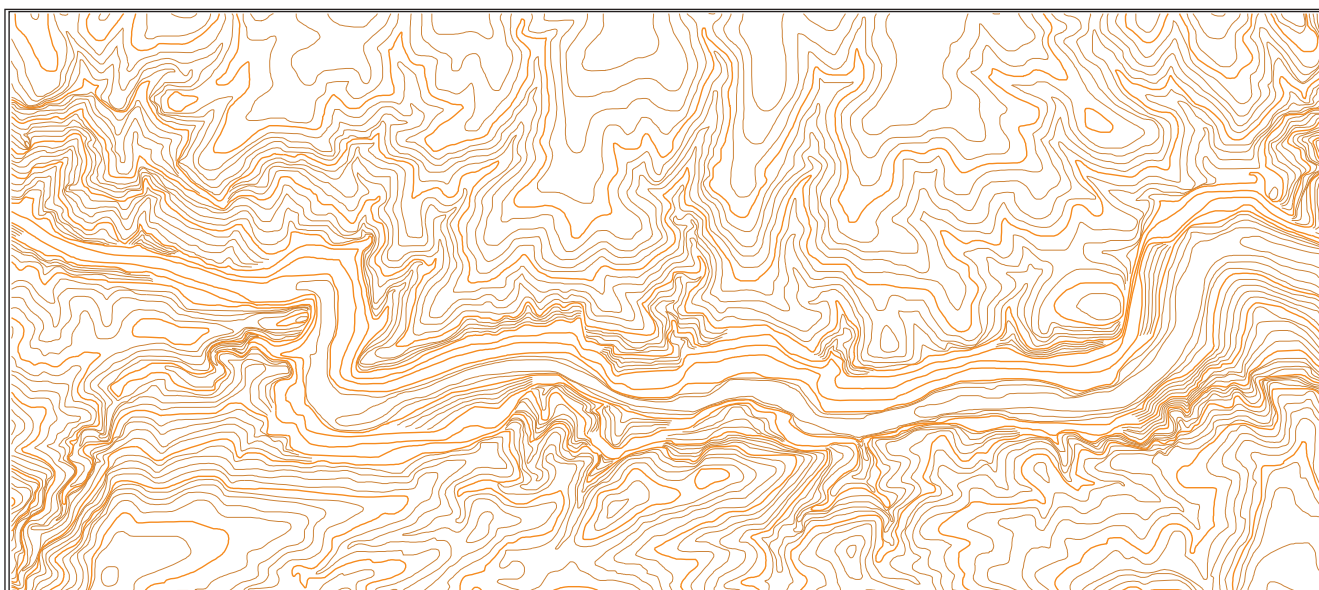
### 3.4. Puntos de cota

Lo primero que se hizo fue disminuir la precisión de la cota, ya que estaba en decímetros (una precisión excesiva para este caso), por lo que se dejaron con una precisión de metro. Seguidamente se redujo el número

de puntos de cota, pues en los mapas originales había un gran número de ellos que resultaba excesivo para la nueva escala. A la hora de eliminarlos se dejaron aquellos más importantes.

Como uno de los usos que se pretendía para este mapa es que sirviera como referencia a las personas que desean andar los senderos marcados, se procuró mantener los puntos de cota, si es que existían, de aquellos lugares que fueran inicio de rutas, cruces entre éstas y puntos singulares. Lo que realmente ocurría es que los únicos cruces de caminos en los que existía la cota era en aquellos que estaban en los collados. Algunas de las cotas importantes que faltaban se obtuvieron de los ficheros SHP, ya que allí sí que existían.

También se aumentó el diámetro del punto para que fuera visible a escala 1:25.000. Al final del proceso se había eliminado el 52 % de los puntos.



**Figura 4. Zona de curvas de nivel generalizadas; escala 1:25.000**



# 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

 **S&C**  
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.santiagoocintra.es](http://www.santiagoocintra.es)

### 3.5. Hidrología

Al igual que ocurría con las curvas de nivel, los barrancos y demás elementos hidrográficos no tuvieron una generalización en el número de vértices de estas líneas, sufriendo sólo una simplificación cualitativa.

Se suprimieron los barrancos menos importantes, aquellos que una vez representados en la nueva escala no aportaban nada al resultado final excepto recargarlo, pero teniendo siempre en cuenta que los cursos que se mostraran en el mapa lo tenían que hacer desde su cabecera, es decir, no se tenía que suprimir el curso principal y dejar otros secundarios. Otra de las razones por la que conviene reducir el número de barrancos es que, aunque estos se representen como cursos no permanentes, pueden dar lugar a confusión, pues se puede interpretar la zona como más húmeda y lluviosa de lo que en verdad es; resumiendo, hay que evitar darle más importancia a los cursos de agua de la que en verdad tienen.

### 3.6. Simbología

Los símbolos originales de los mapas base son de tamaños y formas distintos, por lo que algunos fueron escalados para resaltarlos más (como los hitos kilométricos y los puentes), otros, por el contrario, se eliminaron porque no aportaban información relevante para este mapa ni en esta escala (badenes y acequias), mientras que los restantes se dejaron en sus dimensiones originales.

## 4. PRODUCCIÓN

### 4.1. Recogida de elementos. Actualización

La actualización del mapa se llevó a cabo fundamentalmente en el término municipal de Jalance, pues éste es el centro de atención del mapa, pero también se modificaron aquellos elementos que estaban próximos al término, incluso las pistas y caminos más importantes de toda la hoja se reclasificaron y los que no estaban se digitalizaron. Esto se hizo para evitar realizar un mapa en el que la simbología de la zona de interés fuera diferente a la del resto y para que la información, aún no siendo del área principal, no estuviese anticuada.

#### 4.1.1. Trabajo de campo

En estas salidas lo que se hizo fue anotar el estado de las edificaciones aisladas (en ruinas o no), verificación del estado de las fuentes (esporádicas o no), corroboración de la localización de elementos no visibles en las fotos, como merenderos, abrigos, pinturas rupestres, etc., localización de los puntos de vista panorámicos y comprobación de la existencia de los caminos y su estado.

Para proceder a la comprobación y corrección de la toponimia se contactó con personas conocedoras del terreno, para que corroboraran el verdadero nombre y localización de los topónimos.

### 4.1.2. Digitalización

La digitalización se realizó desde el mismo programa de MicroStation, es decir, realmente fue una vectorización sobre una imagen. Para llevar a cabo este cometido se disponía de la ortoimagen del Valle de Ayora, de resolución 0,5 m. Los elementos digitalizados fueron: la mayoría de las sendas, los caminos que no existían, las nuevas variaciones de las carreteras, edificios que no existían y cambios en el río Júcar (pues el ancho era excesivo en algunos tramos). Finalmente, un túnel muy importante, usado para el transporte de agua, tuvo que ser digitalizado desde los mapas 1:150,000 del ejército, ya que no se encontraba en ningún otro mapa de escala mayor.

### 4.1.3. GPS

Debido a que la gran mayoría de las sendas y todos los demás caminos se vectorizaron desde la ortofoto, las sendas que se tomaron con GPS fueron pocas, simplemente aquellas que era imposible ver en las fotografías, así que el total de kilómetros de sendas tomados con GPS fueron solamente 6,04 km.

Se disponía de un navegador GPS *Garmin Etrex Venture*. Se hicieron una serie de mediciones en un vértice geodésico de la zona y en épocas diferentes, obteniendo unos errores medios de 6,1 m y máximo de 7,5 m. Siendo muy rigurosos, no sería adecuada su utilización, ya que el error es ligeramente superior a 5 m, pero se decidió que sí era oportuno hacer uso de él, pues los elementos a medir eran únicamente sendas. Los puntos que se midieron se introdujeron en Microstation y se simbolizaron correctamente.

### 4.2. Reclasificación de las vías de comunicación

La clasificación de las vías de comunicación de los archivos originales comprende las siguientes clases:

- Autopista
- Autovía
- RIGE
- Red Básica
- Red de la COPUT
- Red de la Diputación
- Pistas y carreteras privadas
- Caminos
- Sendas
- Cañada

Para mejorar la clasificación de estas vías de comunicación se procedió a representar los caminos y pistas según la transitabilidad de los mismos, de forma que las clases que quedaron fueron:

- Carretera Nacional
- Carretera Autonómica
- Pista asfaltada
- Caminos Principal

- Camino Secundario
- Camino Carretero
- Senda
- Vereda

Las nuevas clases se obtuvieron reclasificando las vías existentes y representando correctamente las nuevas vías digitalizadas.

La situación de las veredas se obtuvo a partir de la información existente en los mapas del Plan General del Municipio de Jalance, en el que aparecían representados todos los terrenos protegidos por discurrir sobre ellos las veredas.

### 4.3. Simbología lineal

Para representar los estilos de línea personalizados, como son los límites administrativos, alambradas, etc., se tomaron como modelo los estilos de línea del MTN25. Con ayuda de un cuentahilos se midieron los distintos elementos de cada estilo, para después dibujarlos en MicroStation y así asignárselos a los diferentes elementos.

#### 4.3.1. Grosos de línea

Los grosos empleados son los que siguen (de 0 a 6), las medidas están puestas en milímetros del mapa impreso: 0,085; 0,150; 0,200; 0,300; 0,400; 0,500; 0,600. La mayoría de los elementos lineales tienen asignado el grosor 0 y cuando algún elemento es importante se le asigna grosor 1 (como en el caso de las curvas de nivel maestras), el resto de valores (del 2 al 6 ambos inclusive) sólo se emplean en la simbolización de carreteras.

#### 4.3.2. Estilos de línea

En MicroStation hay que diferenciar entre dos tipos de estilos de línea diferentes; por un lado están los estilos de línea lógicos y por otro los estilos de línea personalizados.

- *Estilos de línea lógicos:* Éstos son los estilos de línea simples, se forman con trazos horizontales y separaciones de distinto tamaño y se defi-

nen en el controlador de impresión. Los elementos que se simbolizaron con los distintos estilos de línea lógicos fueron sendas, ruinas, veredas, línea eléctrica de baja tensión, curvas de nivel de depresión, barrancos y tubería subterránea.

- *Estilos de línea personalizados:* Estos estilos son de forma más compleja e incorporan trazos verticales, figuras, etc. Se diseñan en MicroStation, dibujando el componente de trazo (que son los trazos y separaciones horizontales) y el componente de punto (que son los trazos verticales y demás elementos irregulares) para después unirlos en un único estilo. Los elementos representados de esta forma fueron alambradas, líneas eléctricas de alta tensión, límites administrativos, etc.

### 4.4. Toponimia y rotulación

#### 4.4.1. Estilos de texto

La clasificación de los diversos estilos se mantuvo prácticamente en su totalidad según está en los mapas CV10, aunque se realizaron algunos cambios, como reagrupación de algunas clases, cambios de algunos topónimos de una clase a otra, a fin de mejorar la jerarquía y conseguir también que los topónimos incluidos en cada una de estas clases se refirieran más fielmente a la misma.

Para elegir la representación de cada uno de los estilos se tuvo en cuenta la legibilidad de los tipos, tamaño, grosor, color, etc. Las distintas clases se agruparon en 8 principales, a las que se les asignó el mismo tipo y color. Para diferenciar dentro de estas clases se hizo uso del tamaño y de la negrita.

#### 4.4.2. Colocación y corrección de la toponimia

Esta tarea fue una de las más laboriosas en la producción del mapa, pues hubo que corregir uno a uno cada topónimo para situarlo en su sitio exacto y corregir los posibles errores ortográficos existentes, lo cual no se puede hacer de manera conjunta para todos los textos, excepto asignarles el nuevo estilo.

En la corrección de la toponimia se diferenció dos zonas dentro del mapa; una fue el término municipal de Jalance y otra el resto. Es dentro

<p>Carreteras A - N 330</p> <p>Carreteras B - CV 439</p> <p>Caminos y sendas - Camino de los Usuarios</p> <p>Hitos - Voltaje - K.130 400 Kv</p> <p>Cota vértices - 872</p> <p>Cota puntos - 452</p> <p>Cota agua - 325</p> <p>Cotas en - 530</p> <p>Coordenadas geográficas - 46°30'10"</p> <p>Coordenadas UTM - 663500</p>	<p><b>Provincia - Albacete</b></p> <p><b>Población - Jalance</b></p> <p><b>Población B - Cofrentes</b></p> <p>Agrupaciones - Los Hervideros</p> <p>Edificios allados - Casa de los Parientes</p> <p>Edificios importantes - Central Nuclear de Cofrentes</p> <p>Embalse - Embalse de Embarcaderos</p> <p>Vértice Geodésico - Villar Agudo</p>	<p><b>Sierras - Sierra del Boquerón</b></p> <p><b>Montañas - Pico del Águila</b></p> <p>Collados - Collado de la Jabonera</p> <p>Parajes - Albolota</p> <p>Topónimos puntuales - Cueva de Don Juan</p> <p><b>Río A - Río Júcar</b></p> <p><b>Río B - Río Cautabán</b></p> <p><b>Barrancos - Barranco de los Robles</b></p> <p><b>Fuentes - Fuente de la Solana</b></p>
---	---	--

Figura 5. Ejemplos de los estilos de texto empleados

de la zona de interés donde se procedió a una corrección (tanto de posición como de escritura), aumento y actualización de la toponimia. Por el contrario, fuera del término de Jalance, al no ser la zona de atracción, no se corrigió la toponimia (excepto los casos más evidentes) y se realizó una eliminación de topónimos para simplificar el aspecto. Dentro de la zona de interés también se tuvo que eliminar algunos topónimos, ya que era lo más oportuno en esos casos.

#### 4.4.3. Cota de las curvas de nivel

La colocación de cota en las curvas de nivel se hizo en las maestras, que tienen una equidistancia de 50 m. La orientación de los textos se hizo siguiendo la orientación de la hoja (para no colocar vértices invertidos), además, se empleó una distribución en hilera. La distribución se realizó de forma homogénea por toda la hoja para evitar dejar zonas con calvas o excesivamente saturadas.

### 4.5. Fondo del mapa

La aplicación de un sombreado simulando el relieve es la técnica que aporta un mejor resultado estético a la vez que facilita la visualización del relieve. A este sombreado se le añadió la información correspondiente a los cultivos. Con el fin de resaltar más la zona de interés, este sombreado sólo se aplicó al término de Jalance, aunque los cultivos se pusieron en la totalidad de la hoja.

#### 4.5.1. Creación del MDE y del sombreado

Para elaborar el MDE se disponía de los ficheros SHP con las curvas de nivel, aunque en 2D (la cota era un campo de la tabla de atributos). Como se decidió obtener el modelo en formato ráster, ya que el resultado era más correcto que en vectorial, se necesitaba disponer de una nube de puntos en lugar de líneas, por lo que estas líneas se descompusieron en sus vértices y, a partir de éstos y de los puntos de cota, se obtuvo el modelo con el método de Inverse Distance Weighted. El mejor resultado se obtuvo con los parámetros: peso 0,2, radio variable y 75 puntos. Antes de obtener los vértices de la línea se eliminaron un gran número de éstos mediante el algoritmo de Douglas-Peucker, con una tolerancia de 0,5 m, pues de otra forma el número de puntos de éstas era excesivo.

Finalmente, se realizó el sombreado con el azimut del punto de luz 315° y la elevación 55°, el tamaño del píxel fue de 5 m.

#### 4.5.2. Usos del suelo

Se disponía también de los usos del suelo en formato DGN, con un total de 9 clases distintas, pero como para este mapa no era necesario

tanto número de clases, se hizo una reagrupación para dejar únicamente 5.

Bosque	→	Bosque	
Monte bajo	→	Monte bajo	
Cortafuegos	→	Cortafuegos	
Cultivos de regadío (herbáceas)	}	Cultivos de regadío	
Cultivos de regadío (frutales)			
Cultivos de secano (cereales y erial)	}	Cultivos de secano	
Cultivos de secano (frutales)			
Cultivos de secano (viñedos)			

En estas clases no se indicó la especie vegetal, pues no se consideró oportuno. La simbolización se realizó mediante un color sólido, sin tramado, ya que eran pocas las clases a diferenciar y así se dotaba de mayor claridad al mapa. También se realizó una actualización de las zonas donde se habían producido cambios y en las que no correspondían con la realidad. Los valores HSV de los colores empleados fueron los mismos para la zona de interés como para el resto del mapa, excepto la luminosidad, que en esta última se aumentó el valor.

#### 4.5.3. Combinación del sombreado y los cultivos

Para llevar el sombreado y los cultivos a MicroStation se puede realizar de varias formas, pero sea cual sea tiene que ser un único elemento y sin transparencias, pues no es posible representarlas con este programa.

Para conseguir este propósito, primero se transformó el *Grid* del sombreado a formato TIFF mediante ArcToolbox. Por otro lado, el fichero vectorial de cultivos se pasó primero a formato ráster con un tamaño de celda de 5 m y posteriormente se cambió también a formato TIFF. Estas dos imágenes se importaron en Corel Photo-Paint en dos capas distintas; a la capa del sombreado se le aplicó un filtro de desenfoque gaussiano con una ventana de 3 píxeles para suavizar el sombreado creado en ArcMap. En la capa de cultivos se pusieron los colores adecuados y se le aplicó una transparencia, dejándola con una opacidad del 50 %. Finalmente, estas dos capas se fusionaron en un solo archivo de imagen en formato JPG, que posteriormente se vinculó en el archivo de MicroStation y se ajustó en su posición exacta mediante una transformación afín, tomando como puntos conocidos las cuatro esquinas de la imagen, cuyas coordenadas son conocidas de ArcMap. Después, se pusieron los cultivos de fuera del término municipal de Jalance como polígonos vectoriales, tapando los bordes exteriores de éste.

### 4.6. Prioridades de impresión

Las prioridades de impresión se establecieron en la tabla de plumas en MicroStation. A grandes rasgos, el orden de impresión atendió al siguiente: usos del suelo, hidrografía, relieve, construcciones, edificaciones, comunicaciones, conducciones, elementos puntuales, límites administrati-

vos, toponimia, símbolos turísticos, cuadrícula, maquetación y el resto de elementos de los bordes del mapa.

### 5. SIMBOLOGÍA TURÍSTICA

En los mapas turísticos éstos son unos elementos de tremenda importancia, pues son lo que primeramente llamará la atención cuando el usuario vea el mapa, que por otra parte es lo que se pretende. También son los símbolos con los que queremos resaltar aquellos elementos de más interés.

#### 5.1. Consideraciones iniciales

Los mapas turísticos, y en menor medida los excursionistas, suelen ser utilizados por gente que no está habituada a la lectura de mapas, por lo que hay que procurar que la simbología específica evoque lo más claramente posible el elemento al que hacen referencia, a fin de facilitar la comprensión a estos usuarios y llamar su atención sobre los elementos más interesantes. También es importante que el número de usuarios al que va dirigido sea muy amplio, cosa complicada, ya que cada persona, dependiendo de su cultura, procedencia, educación, etc., puede interpretar cosas iguales de distinta manera. Por tal razón, es preferible usar símbolos existentes en otros mapas, en caso de que los hubiera, pues de esta forma éstos serán conocidos mayoritariamente.

A la hora de diseñar la simbología, se empleó simbología pictórica y geométrica, haciendo uso en ocasiones también de la simbología literal. Especialmente se utilizó la simbología pictórica, ya que permitía identificar muy claramente los elementos que se querían resaltar. Además, se diseñó la simbología correspondiente de las rutas balizadas y propuestas.

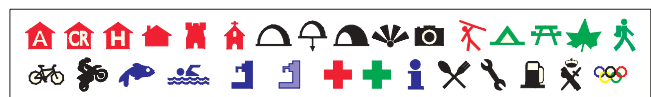
#### 5.2. Realización de la simbología

La simbología se realizó sin enmarcado, para que ocuparan menos los símbolos, y con colores únicos para cada símbolo pero diferenciando entre clases. El rojo se utilizó en las edificaciones y en aquellos elementos que comúnmente se asocian con el color rojo, como son las pinturas rupestres y el centro médico. Se pintó de verde los fenómenos relacionados con la naturaleza y la farmacia, por igual razón que el centro médico. En azul se representó los elementos relacionados con el agua, además del de información turística, ya que este color es muy empleado en las oficinas de turismo valencianas. Finalmente, el resto de elementos variados se representaron en color negro.

Albergue		Inicio de Rura de Senderismo	
Hotel		Inicio de Rura de Bicicleta	
Casa Rural		Motocross	
Refugio		Zona de Pesca	
Castillo		Zona de Baño	
Edificio Religioso		Fuente Permanente	
Abrigo		Fuente Esporádica	
Sima		Centro de Salud 24 h	
Cueva		Farmacia	
Vista Panorámica		Información Turística	
Lugar de Interés		Bar - Restaurante	
Pinturas Rupestres		Taller Mecánico	
Zona de Acampada		Gasolinera	
Merendero		Guardia Civil	
Microrreserva de Flora		Zona Deportiva	

Fihura 6. Símbolos diseñados a escala 1:10.000

En la imagen siguiente se muestra toda la simbología turística anterior, pero ahora representada a escala 1:25000, la del mapa impreso.



#### 5.3. Simbolización de las rutas

En la representación de las rutas se pusieron una serie de objetivos iniciales: que la forma de simbolización permitiera un seguimiento inequívoco del lugar por donde discurre la ruta, que se vea el elemento sustentante de las rutas en todo momento, que se oculte la menor cantidad de información contigua a las rutas, que se solventen correctamente los conflictos en caso de superposición de rutas y que el resultado sea estéticamente agradable y no quede demasiado abigarrado. Al haber sólo dos senderos balizados, tampoco se quería dotar de excesivo protagonismo a las rutas propuestas, pues éstas son invenciones del autor y no están balizadas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones y las limitaciones que ofrecía el software empleado, se optó por una simbolización puntual sobre las vías de comunicación. Esta forma de simbolización consiste en la colocación de etiquetas cada cierta distancia a lo largo de todo el recorrido, cumpliendo las premisas iniciales.

En la simbolización se diferenciaron entre las rutas que están balizadas y las propuestas. La simbolización de las dos rutas balizadas se realizó de igual manera que están marcadas en el terreno, mientras que para las rutas propuestas se emplearon flechas de distintos colores para cada una de ellas. Las marcas se colocaron cada 500-1000 m, dependiendo de la posible confusión en cada caso, aumentando la densidad de señales en aquellos lugares donde hay cruces, en los cuales es más fácil la equivocación.



Figura 7: Simbología de las rutas; escala 1:10.000

## 6. MAQUETACIÓN FINAL

### 6.1. Tamaño final de la hoja

La premisa inicial para la determinación del tamaño del mapa es que éste sea fácilmente transportable en el campo, pues los mapas de un gran tamaño tienen un uso bastante incómodo cuando no se está sobre una mesa, razón por la cual el tamaño ha de ajustarse lo máximo al mínimo, aunque sin que el resultado sea muy abigarrado. Para que el mapa final tenga un formato que resulte estético hay que tener en cuenta una serie de proporciones que se consideran más estéticas que el resto, como la Áurea y el formato normalizado DIN.

Después de probar la ubicación del mapa en una hoja DIN A1 y ver que la anchura de la hoja era algo pequeña, se decidió ubicarlo en una hoja que tuviera un tamaño de 96 x 59,4 cm, cuya relación de lados es 1,616, muy próxima a la proporción Áurea. Con este formato, además de resultar estético, se podía ubicar toda la información marginal del mapa sin complicación.

### 6.2. Forma de plegado

Aunque *a priori* pueda parecer ésta una cuestión baladí, tiene su importancia, pues no es lo mismo poder visualizar las distintas zonas del mapa desplegando sólo una pequeña parte del mismo que obligarnos a desdoblado por completo cada vez que queramos echarle una ojeada, más

aún cuando esta acción tengamos que realizarla en medio de un sendero, sin sitio donde apoyarnos y con condiciones de viento poco favorables.

Para definir la forma de plegado se tuvo en cuenta el tamaño final del mapa una vez plegado, que el número de pliegues no fuera excesivo, ya que se facilita la rotura del mapa y no se visualiza adecuadamente

Finalmente, se optó por realizar 8 pliegues en sentido vertical y 2 en horizontal. El tamaño final del mapa una vez plegado es de 10,7 x 19,8 cm. En la figura 8 se muestra la forma de plegar este mapa. Con esta forma de plegado es posible ver cualquier parte del mapa desplegando tan sólo un 15 % de éste.

### 6.3. Disposición de elementos

La disposición de los elementos es un proceso en el que hay que prestar especial atención, pues hay que procurar que la información sea fácilmente accesible, que esté dispuesta en sentido de lectura, que el resultado final tenga un orden y que exista "aire" entre los elementos. Al realizar dos pliegues verticales, se aprovecharon dos partes para la portada y la contraportada y en la tercera se situó una ampliación del casco urbano de Jalance para su mejor visualización. En la parte baja del mapa se dejó el hueco correspondiente a la leyenda y también para añadir la información técnica.

#### 6.3.1. Marco y cuadrícula

La extensión dedicada para la representación de la cartografía es de 79,8 x 48,0 cm, de esta forma, la zona de interés está situada en el centro, quedando hueco suficiente entre sus límites y el borde para que no se produzca una opresión importante, a la vez de que se muestra suficiente información de las áreas colindantes.

El marco límite de la cartografía se dibujó en coordenadas geográficas, de manera que así el mapa quedó orientado hacia el norte geográfico, de forma que la cuadrícula UTM se giró tanto como el valor de la convergencia en el punto central de la hoja, siendo el valor de la misma  $\omega = 1,2098^\circ = 1^\circ 12' 35",3$ . La cuadrícula UTM está dibujada cada kilómetro, distancia adecuada para la escala de representación, y para que la lectura de estas coordenadas se hiciera de una forma rápida se situaron en los extremos de la cuadrícula los valores de las mismas, así como los de las coordenadas geográficas. Las coordenadas UTM se refieren al European Datum 1950 Huso 30.

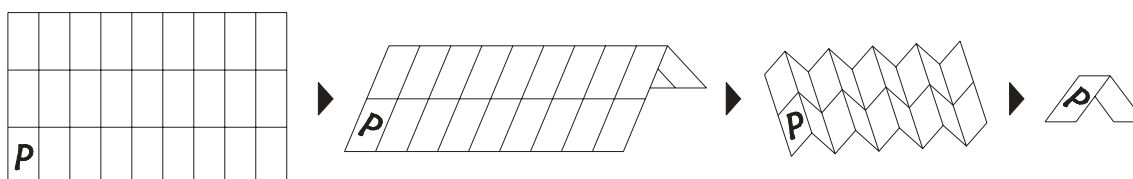


Figura 8: Forma de plegado del mapa

# Geo center

## VENTA

ESTACIONES - NIVELES OPTICOS  
NIVELES LASER - ACCESORIOS

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



## SERVICIO TECNICO

### NUEVOS SERVICIOS

Calibraciones 24 horas  
Calibración cita previa  
Contratos de mantenimiento a medida

## ALQUILER

GPS - ESTACIONES - NIVELES OPTICOS  
NIVELES LASER

**¡¡LLAMENOS!!**

siempre tenemos  
estaciones disponibles



### 6.3.2. Leyenda

Lo primero que se tiene que procurar cuando se elige la disposición de la leyenda en el mapa es que ésta se sitúe en la dirección de lectura, para que de esta forma no haya que girar el mapa para consultarla, haciendo así más cómodo el manejo del mapa en el campo. En este caso, al tener el término una forma alargada, el sitio más sensato para situar la leyenda es en la parte de abajo.

Otra consideración a la hora de confeccionar la leyenda es que ésta sea dinámica, es decir, que en ella aparezcan única y exclusivamente los elementos que están en el mapa, pues de esta forma no damos a entender que existen ciertos servicios o elementos que en verdad no se hallan. En este caso se colocó sólo la información de la cartografía base que existía en este mapa, perteneciera o no a la zona de interés del mismo. También se situaron los símbolos en la leyenda con el mismo tamaño con el que tenían en el mapa, evitando así confusiones en la identificación.

La leyenda de todo mapa turístico tiene dos partes bien diferenciadas. Por un lado está la información correspondiente a la cartografía base y por otro la simbología especial de este tipo de mapas. En la primera se agruparon los elementos según: vías de comunicación, límites administrativos, orografía, hidrografía, energía, resto de elementos lineales, edificaciones, resto de elementos puntuales. En la simbología específica la agrupación fue: logística de los núcleos urbanos, elementos culturales, elementos naturales, elementos acuáticos y rutas. Finalmente se situaron recortes del mapa con los distintos usos del suelo.

### 6.3.3. Información técnica y marginal

Siempre es importante conocer datos técnicos del mapa, como pueden ser proyección, sistema de referencia, fecha de realización, escalas gráficas, etc., por lo que se situó a la derecha de la leyenda toda la información de este tipo; se puso la procedencia de la cartografía base, la fecha de actualización, la proyección cartográfica, el sistema geodésico de referencia, la equidistancia de las curvas de nivel, una escala gráfica y otra numérica, la convergencia de la cuadrícula y la declinación magnética

para el 1 de septiembre de 2005, ésta calculada a partir de la declinación de la hoja 745-III del MTN25 a escala 1:25.000 del año 2003 y la variación anual, ya que ambos centros coincidían prácticamente.

También se colocó como información marginal la dirección de las carreteras y el pueblo más cercano, así como algunos servicios importantes que no existían en Jalance. También se hizo uso de un marco de limpieza para eliminar las posibles imperfecciones en el borde.

### 6.3.4. Portada y contraportada

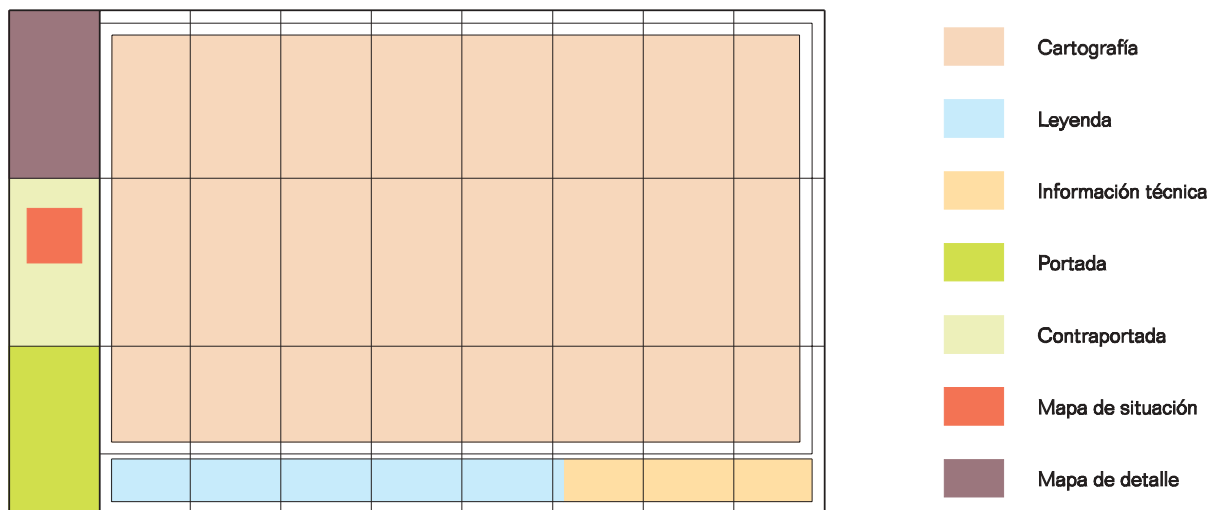
La portada principal se situó de tal forma que el doble de la hoja ha quedado en la parte superior; pues ésta es la forma más común de comenzar a desplegar el mapa. En la contraportada se aprovechó para colocar un mapa de situación de la localidad de Jalance, para hacer más fácil la localización del municipio en la provincia de Valencia y facilitar a los posibles visitantes el desplazamiento hasta el pueblo.

Aprovechando que aún estaba la tercera parte del pliegue vertical sin utilizar, se situó allí una ampliación a escala 1:10.000 del casco urbano de Jalance, de esta forma se solucionan varios problemas que había. El primer beneficio es que representamos el municipio a una escala en la que se pueden dibujar fielmente todas las calles. Otra ventaja es que se pueden poner en su localización exacta todos los símbolos de logística que hay dentro del pueblo (que son la mayoría), esto a su vez repercute en que se libera de espacio las inmediaciones del casco urbano en el mapa principal, ya que no hay que situar los símbolos debajo del nombre para indicar que el municipio dispone de esos servicios.

En la siguiente imagen se muestra un dibujo con la hoja final del mapa y la distribución en ella de toda la información.

## 7. GUÍA DE LAS RUTAS

Para que un mapa turístico y excursionista sea más completo es conveniente aportar información complementaria sobre las rutas que se han propuesto, a fin de que los usuarios del mapa puedan planificarse la ruta



y conocerla previamente mediante un vistazo rápido. Lo mejor es realizar una pequeña guía, aparte del mapa, para colocar esta información de las rutas, aunque esto incrementa el precio final del producto. El tamaño de esta guía es el mismo que el del mapa una vez plegado.

El fin de la guía es el de ayudar a las personas que vayan a recorrer las rutas propuestas en el mapa principal, pues es muy fácil el transporte y aquí se pueden ver con mayor claridad las zonas conflictivas. También sirve para conocer mejor los atractivos de la naturaleza en aquellos lugares por donde discurre la ruta.

### 7.1. Información contenida

Se quiso que en un primer vistazo el usuario tuviera una idea de las características de la ruta en cuanto a la dureza de ella se refiere, por ello se colocaron una serie de valores que sirven para dar una idea de ello, como son la distancia en kilómetros de la ruta, la cota máxima y mínima de ésta y una clasificación subjetiva, graduada en 3 niveles, baja, media y alta. También se indicó si la ruta estaba pensada para realizarla en bicicleta o andando.

Debajo de estos valores se introdujo un perfil topográfico de la misma, pues éste es un elemento que da rápidamente una idea de los desniveles que hay que afrontar. El perfil se obtuvo con ArcMap; lo primero que se hizo fue importar el archivo DGN donde se habían dibujado los recorridos de las rutas, después se obtuvo el modelo digital de elevaciones, pero en este caso en formato vectorial, y seguidamente se crearon las líneas de los recorridos de las rutas en 3D y finalmente se obtuvo el perfil de éstas (estos pasos desde la barra de 3DAnalyst), importándolo como formato WMF.

Finalmente, se introdujeron unos pequeños fragmentos del mapa original de las zonas más conflictivas o de interés. A la derecha de estos fragmentos se colocó, primeramente el kilómetro en el que se encontraba el elemento a resaltar, seguido de una breve explicación de éste y, en algunos casos, una explicación del recorrido en ese tramo si es más confuso de la cuenta. También se introdujo comentarios destacables sobre algunos parajes o elementos puntuales.

## 8. CONCLUSIONES

Después de haber realizado este trabajo, la sensación final es la de haber hecho las cosas bien, ya que todos los objetivos planteados al principio se han cumplido satisfactoriamente. En un primer vistazo podemos comprobar que la estética del mapa se ha mejorado sustancialmente, principalmente por el empleo del sombreado combinado con los cultivos para la representación del fondo. La generalización, al estar aplicada correctamente, permite que la visualización sea clara y limpia sin perder cantidad de información por ello. El formato y tamaño final también son los adecuados para su utilización en campo

También se ha introducido mucha información nueva que viene a complementar a la ya existente en los mapas originales: topónimos, transitabilidad de las rutas, gran cantidad de nuevas vías de comunicación, multitud de simbología específica, rutas, etc.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Libros y publicaciones consultadas:

- Mora Navarro, J.G. (2003): *Diseño asistido por ordenador. Referencia rápida de MicroStation v.8 y prácticas*. Universidad Politécnica de Valencia.
- García Morant, T. (1994): *La práctica de la generalización cartográfica en planos y mapas topográficos*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Coll Aliaga, E.; Palomar Vázquez, J.; Irigoyen Gaztelumendi, J. (1998): *Bases conceptuales para la elaboración del MTN25*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez LLario, J.C.; Coll Aliaga, E.; Irigoyen Gaztelumendi, J. (2003): *Prácticas de producción cartográfica*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Consejo Superior Geográfico (1996): *Formación y edición automatizada del MTN25*. Instituto Geográfico Nacional.
- Palomar Vázquez, J. (2003): *Desarrollo de estrategias métodos y herramientas para la automatización y mejora de los procesos de producción cartográfica. Aplicación a la generalización de mapas excursionistas*.
- Bentley. (2000): *MicroStation v8.1. Manual del usuario*. Bentley Systems
- Hermosilla Pla, J. (1999): *Los paisajes del agua en el Valle de Ayora*. Mancomunidad Comarcal del Valle de Ayora-Cofrentes.
- Poveda Mora, J.V.; Piera Alberola, S. (1997): *A tranchas marranchas. El habla tradicional de Jalance*. Ayuntamiento de Jalance.
- Cuellar Pardo, E. (2002): *Senderos de Gran Recorrido GR 7, E-4. Comunidad Valenciana: Fredes-El Pinoso, El Pinoso-Fredes*. Iniciativas rurales Valencianas.
- Poveda Mora, J.V. (1995): *Historia de Jalance*. Ayuntamiento de Jalance.
- García Piera, F. (1984): *Jalance y su historia*.

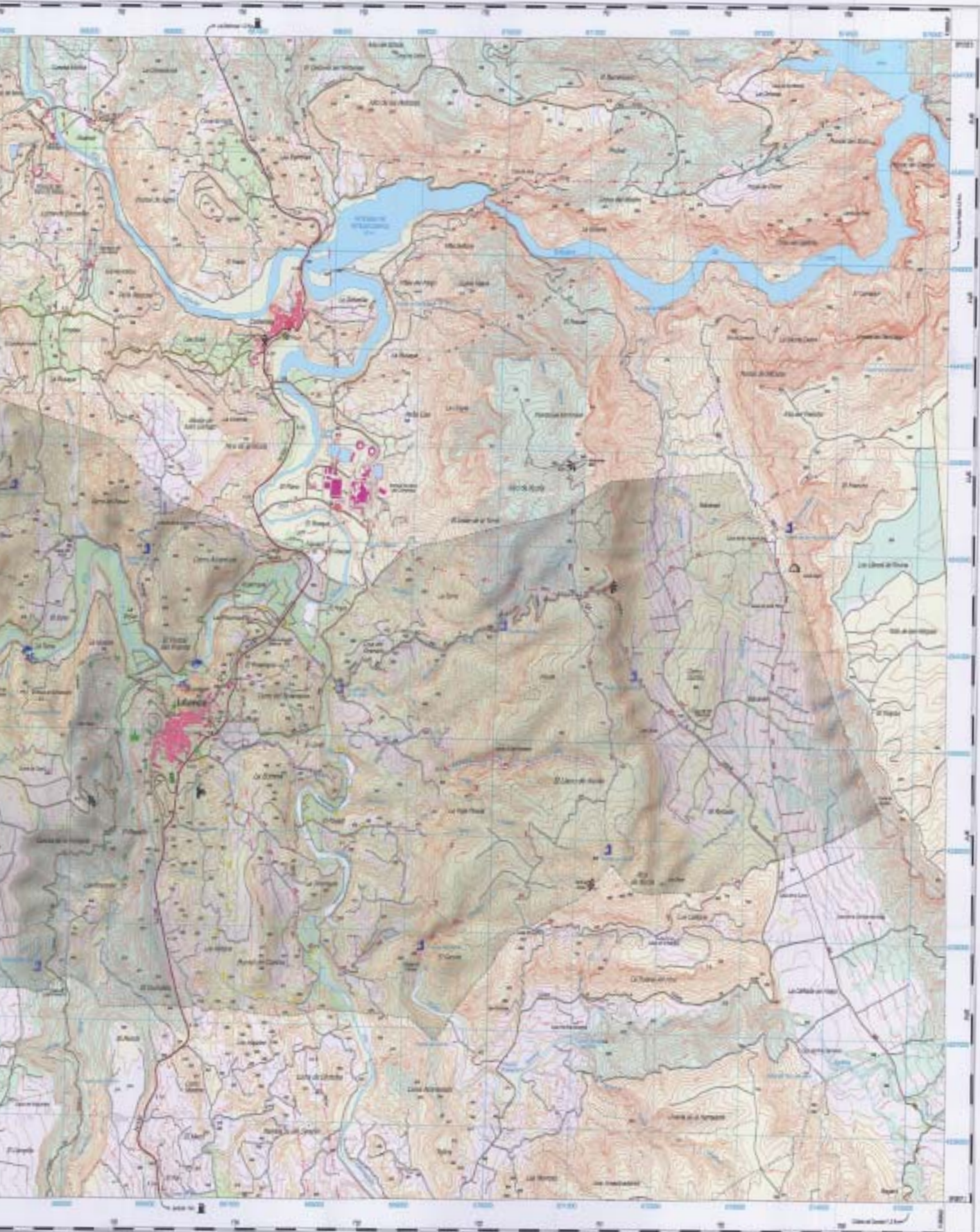
Cartografía consultada:

- IGN. (2003) *Hoja 745-III Jalance*; escala 1:25000.
- IGN. (1996) *Hoja 745-III Jalance*; escala 1:25000.
- IGN. (1996) *Hoja 768-I Jarafuel*; escala 1:25000.
- IGN. (1996) *Hoja 745-IV Cortes de Pallás*; escala 1:25000.
- IGN. (1999) *Hoja 744-IV Villa de Ves*; escala 1:25000.
- SGE. (1948) *Hoja 745-III Jalance*; escala 1:25000.
- SGE. (1948) *Hoja 745-IV Cortes de Pallás*; escala 1:25000.
- SGE. (1949) *Hoja 745 Jalance*; escala 1:50000.
- SGE. (1996) *Hoja 27-29 (745) Jalance*; escala 1:50000.
- SGE. (1996) *Hoja 26-29 (744) Casas Ibáñez*; escala 1:50000.
- *Plan General de Jalance*; escala 1:10000.

Páginas Web consultadas:

- <http://orto.cth.gva.es/website/microrreservas>
- <http://arcscripts.esri.com>
- <http://www.garmin.com/products> ■





- |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

1:25,000



# Infraestructuras en desarrollo: Crecimiento y Evolución de los Portales Espaciales

Jeanne Foust, Winnie Tang y Jan Selwood

## Resumen

*El término “portal espacial” surgió entre mediados y fines de los años noventa para describir una interfase con grandes almacenes de bancos de datos y con proyectos de infraestructuras de datos. Desde entonces, los portales se han desarrollado de forma dramática y en la actualidad desempeñan un papel central en la forma en que descubrimos y consumimos los recursos espaciales. Este papel se verá incrementado al tiempo que los desarrollos de las tecnologías, diseños y políticas consoliden las Infraestructuras de Datos Espaciales y nos ofrezcan unas nuevas y excitantes oportunidades de informática distribuida. En este artículo se expone la evolución de los portales espaciales, ilustrando las diferentes metodologías mediante estudios prácticos obtenidos en todo el mundo; se plantea además el futuro de los mismos y los temas que deben ser resueltos si se quiere que alcancen todo su potencial.*

*Los aspectos a considerar incluyen la construcción y el mantenimiento de los catálogos de recursos, las estrategias de recogida de datos, el control de la calidad y la validación de los datos. El rango, profundidad y consistencia de los metadatos adquiere una importancia clave, sobre todo en las iniciativas de los portales espaciales internacionales. Además, la atención se está volcando en la catalogación de los metadatos de documentos de texto sin estructurar, estadísticas e imágenes, que quedan a menudo excluidos de las tradicionales Infraestructuras de Datos Espaciales. Basándose en las experiencias obtenidas en las diversas iniciativas de portales espaciales, se exponen ideas acerca de cómo conseguir un balance eficaz en las políticas de metadatos.*

*Al tiempo que los portales espaciales evolucionan hasta más allá de ser unas simples máquinas de búsqueda, la visualización se hace cada vez más importante. El artículo continúa considerando las diversas técnicas de visualización, incluyendo las actuales posibilidades y limitaciones cartográficas de la Red, así como las oportunidades de visualizar los resultados de las búsquedas en el propio portal, empleando las tradicionales aplicaciones de la informática de sobremesa y las tendencias hacia las Arquitecturas Orientadas a los Servicios.*

*Finalmente, el artículo repasa la forma como los portales espaciales construyen relaciones y refuerzan las comunidades dentro de las iniciativas de Infraestructuras de Datos Espaciales. Repasa las técnicas de gestión y los diseños de interfase de portal que se han desarrollado para poder lograr esto.*

## Abstract

*The term Spatial Portal appeared in the mid to late 1990s to describe the interface to spatial clearinghouses and data infrastructure projects. Since then portals have developed dramatically and now play a central role in the way we discover and consume spatial resources. Their role will increase as developments in technology, design and policy consolidate SDIs and offer new and exciting opportunities for distributed computing. This paper reviews the evolution of spatial portals illustrating different approaches with case studies drawn from around the world, and considers the future and issues that must be overcome if they are to realize their full potential.*

*Issues considered include the construction and maintenance of resource catalogs, harvesting strategies, quality control and data validation. Of key importance, particularly in international portal initiatives, are the range, depth and consistency of metadata. Attention is also turning to cataloguing metadata of unstructured text, statistical or image documents so often excluded from traditional SDI. Drawing on experience of a number of portal initiatives, thoughts on achieving an effective balance in metadata policy are outlined.*

*As portals evolve beyond simple search engines, visualization becomes increasingly important. The paper goes on to consider techniques for visualization including current Web mapping capabilities and limitations, and the opportunities to visualize portal search results with traditional desktop applications and the move towards Service Oriented Architectures.*

*Finally the paper looks how spatial portals build relationships and strengthening communities within SDI initiatives. It considers management techniques and portal interface designs that have been developed to achieve this.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han trabajado, desde su introducción a finales de los años sesenta, con el fin de mejorar el acceso a la información geoespacial y a su análisis. Relacionan los mapas gráficos con los atributos de texto, superando los problemas que habían afectado a las representaciones geoespaciales desde que el hombre comenzó a dibujar mapas y a compilar nomencladores. Ofrecieron una nueva forma de encapsular los conocimientos y los conceptos geográficos, de manera que pudieran ser eficazmente almacenados, tratados y analizados; un nuevo lenguaje para describir y estudiar al mundo (Dangermon, 2004). Simplificaban la integración y la superposición de datos geográficos procedentes de distintas fuentes, y en proyecciones cartográficas distintas, y mejorando esta interoperabilidad se permitía un intercambio de los servicios de información en múltiples formatos. Liberaban al mapa de las restricciones físicas de la hoja impresa y permitían que múltiples usuarios accedieran simultáneamente a los mismos conjuntos continuos de datos. Sacaron los mapas y a los datos geográficos de las estanterías y gabinetes de las cartotecas y permitieron que los usuarios trabajaran con información geoespacial desde sus propios ordenadores de sobremesa y la compartieran y accedieran a ella desde redes, tanto locales como de amplio trazado.

Los portales espaciales son umbrales a través de los cuales los usuarios pueden diseminar, descubrir y acceder a la información geoespacial (Tang y Selwood, 2005). Puede considerarse que su evolución es un avanzado e importante paso hacia las metas a las que aspiraron los primeros diseñadores de los Sistemas de Información Geográfica en los años sesenta y que han guiado, desde entonces, el desarrollo de los SIG. Su papel se verá incrementado al tiempo que los desarrollos de las tecnologías, diseños y políticas consolidan las Infraestructuras de Datos Espaciales y nos ofrezcan las nuevas y excitantes oportunidades de la informática distribuida. En este artículo se expone la evolución de los portales espaciales, ilustrando las diferentes metodologías mediante estudios prácticos obtenidos en todo el mundo; considera el futuro de los mismos y los temas que deben ser resueltos si se quiere que alcancen todo su potencial.

## 2. LA EVOLUCIÓN DE LOS PORTALES

La industria de la informática adoptó la palabra "portal", a mediados de los años noventa, para describir aquellos lugares de la red que, o bien reúnen muchos recursos y enlaces *on-line* en una única posición para obtener productos de fácil empleo (por ejemplo, AmericaOnline o Compuserve), o bien ofrecen herramientas de búsqueda que ayudan a los usuarios a encontrar información en la Red (por ejemplo, Yahoo! y Google). Estos lugares pretenden ser un punto de entrada primario de los usuarios a la Red. Resultaron ser extremadamente populares. Con el crecimiento exponencial del número de usuarios y del contenido de la Red a lo largo de los años noventa, los portales ofrecieron una forma

conveniente para que el usuario navegara en lo que de otra manera se estaba convirtiendo en una impenetrable masa de información. Conectando al usuario de la Red con el suministrador del contenido de la misma, los portales desempeñaron un papel primordial en su desarrollo y popularidad.

### 2.1. Los portales y la industria de la Información Geográfica

Los portales se introdujeron en la industria de la información geográfica a finales de los años noventa como el umbral a las iniciativas relacionadas con las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Los estudios realizados a finales de los años ochenta y comienzos de los noventa por organizaciones y gobiernos de todo el mundo, revelaron que, pese a los considerables progresos alcanzados en la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica y en la captura de la información geográfica digital, aun persistían unas importantes barreras que impedían su eficaz distribución y uso. La atención de la industria de la información geográfica se trasladó desde la captura y creación de los datos hacia la búsqueda de unas formas más eficaces de compartirlos, distribuirlos y utilizarlos. Las IDE fueron ampliamente apreciadas como estrategia clave para lograr dicho objetivo y han sido establecidas por múltiples organizaciones a nivel local, regional, nacional y mundial. Los portales espaciales ofrecían un lugar único para que los usuarios pudiesen explorar los recursos disponibles a través de las IDE.

#### 2.1.1. Portales Catálogo

Los portales espaciales asociados con las IDE son generalmente lo que se conoce comúnmente como "portales catálogo". En ellos se crean y mantienen unos índices o catálogos de metadatos, que describen la naturaleza y localización de los recursos en la IDE. Los propietarios de los recursos (también conocidos como proveedores de servicios) registran sus servicios en el portal y ofrecen las descripciones de los metadatos. El portal ordena los registros de metadatos de los proveedores de servicios bajo la forma de un catálogo de búsqueda consistente y hace que éste sea asequible a los usuarios. Los usuarios pueden emplear el catálogo para buscar los servicios provenientes de cualquiera de los proveedores de servicios registrados. En la mayoría de los casos el proveedor de servicios continúa albergando aquellos servicios señalados en los metadatos y el portal simplemente conecta al usuario con los servicios en que esté interesado. Actúan como intermediario entre los usuarios y los proveedores de servicios. Los usuarios disponen de un único lugar a través del cual pueden acceder a una información actualizada y autorizada y los proveedores de servicios disponen de un único lugar a través del cual pueden llegar a un gran número de usuarios.

#### 2.1.2. Portales de Aplicaciones

Aunque los portales catálogo y los tempranos desarrollos de los portales espaciales se asociaron con las IDE, han surgido unos nuevos tipos



**Figura 1.** La red *Geography* fue uno de los primeros portales espaciales catálogo que incluían una búsqueda espacial basada en gráficos y una funcionalidad de visualización

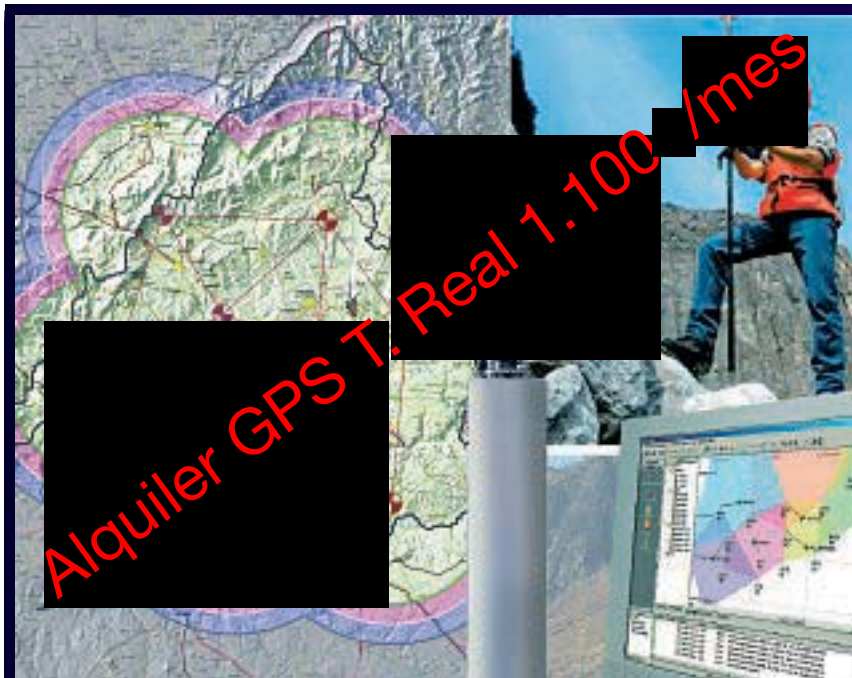
de portales. El surgimiento de nuevas tecnologías al servicio de la Red, un robusto vehículo para combinar y servir datos geoespaciales con funcionalidad en toda la Red, ha permitido que las organizaciones establezcan paquetes de programas cartográficos dedicados, basados en la Red, que aborden determinadas tareas y aplicaciones. Estos portales de aplicaciones aglomeran un amplio rango de servicios que cumplen las expectativas y los requisitos de los usuarios y de sus clientes específicos. Además de las herramientas de búsqueda genéricas de los portales catálogo, ofrecen unas interfaces de usuario estructuradas, que guían a los usuarios hacia los servicios requeridos. Como los requisitos de los usuarios son bien conocidos, los portales de aplicaciones pueden diseñarse para responder a necesidades específicas y se puede diseñar su interfase de modo que permita un acceso eficaz a los datos y a los servicios funcionales necesarios. A menudo los portales de aplicaciones almacenan algunos, si no todos, los datos y los servicios funcionales dentro del portal. Los portales de aplicaciones suministran herramientas cartográficas en Red que permiten a los usuarios visualizar y trabajar con los datos que encuentren (por ejemplo, herramientas de geoprocso, tales como: encontrar rutas, geocodificación, etc.). La distinción entre los portales de aplicaciones y los portales catálogo no es muy clara, ya que cada vez con mayor frecuencia los portales catálogo incorporan herramientas de visualización y de análisis.

### 2.1.3. Portales Empresariales

Está empezando a surgir un nuevo tipo de portal: el portal espacial empresarial, que integra datos espaciales y funcionalidad con soluciones em-

presariales. Las soluciones empresariales aparecieron a finales de los años noventa para ayudar a las grandes organizaciones a gestionar sus recursos de información distribuida.

Este tipo de sistemas se centró en la automatización de la oficina, en la planificación de los recursos de la empresa, en el manejo de la documentación y en la, hasta recientemente ignorada, información espacial. Esto está cambiando, ya que muchos están ahora integrando funcionalidad y datos de Sistemas de Información Geográfica en el entorno del portal. Esto permite a los usuarios pasar fácilmente de los datos en documentos u hojas de cálculo a visualizar los datos relacionados sobre un mapa, sin tener que abandonar el portal corporativo. Existe la tendencia no sólo de traer los recursos espaciales al portal, sino también de especializar al portal. Un portal de este tipo adopta la localización como medio espacial primario para ordenar y recuperar la información de la empresa. Se reconoce así que muchos de los datos espaciales se almacenan bajo el formato de texto libre (documentos de contratos, cartas, informes, correos electrónicos, hojas de cálculo, imágenes, páginas Web y demás). En la actualidad, se están desarrollando herramientas para buscar e indexar la información espacial contenida dentro de estos documentos no estructurados. Las rutinas de búsqueda espacial trabajan con los sistemas de gestión de los documentos electrónicos, con el fin de indexar las referencias a las posiciones que podamos encontrar en ellos. La confección de dichos índices permite a los usuarios el buscar todos los documentos que mencionan una posición en particular, sea cual fuere su formato o tipo.



## 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

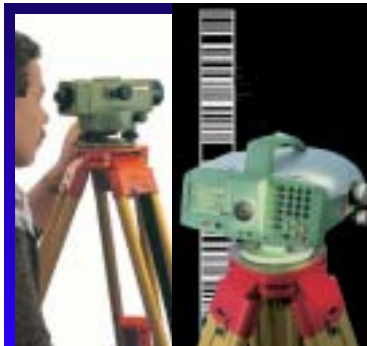


## ESTACION TOTAL

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](mailto:informacion@acre-sl.com)  
[www.acre-sl.com](http://www.acre-sl.com)  
[www.laserescaner.com](http://www.laserescaner.com)

# Alquiler y Venta

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

### 3. LA EVOLUCIÓN DE LOS METADATOS

El desarrollo de los metadatos espaciales ha supuesto un factor crítico en el crecimiento de los portales espaciales (Maguire y Lonley, 2005). Los metadatos, documentación estructurada de los servicios de información, son un prerequisite esencial para construir los catálogos en los portales catálogo. En tanto que los portales de aplicaciones y los portales empresariales no dependen necesariamente de los archivos de metadatos, los incluyen a menudo, de modo que los usuarios conozcan la procedencia de los servicios que encuentran. Las iniciativas de las IDE, que comenzaron en los noventa, despertaron el interés de la industria sobre la importancia de los metadatos e impulsaron un importante número de normativas para los mismos, así como la creación de grandes cantidades de ellos.

El proceso de compilar los metadatos en catálogos y el incremento de los accesos a los catálogos que ofrecían los portales espaciales, hizo destacar un número de temas importantes.

En primer lugar, al cargar en los catálogos del portal los registros de metadatos producidos por diferentes organizaciones, se hicieron aparentes las diferencias en la interpretación y uso de las normas de los metadatos. La compilación de los catálogos y los intentos de crear herramientas de búsqueda que produjesen resultados coherentes, destacaron la diversidad de las formas con que las organizaciones individuales (y a menudo partes de una misma organización) interpretaban y aplicaban una misma norma. Esta experiencia ha llevado a que las organizaciones de normalización y los grupos empresariales afinen sus especificaciones y definan mejores directrices acerca de cómo determinados campos deben interpretarse y rellenarse. Tanto los grupos industriales como las grandes organizaciones usan con mayor frecuencia los nomencladores, los diccionarios de palabras clave y los tesauros para ayudar a la normalización de las entradas en los campos clave.

En segundo lugar, los portales destacaron una diferencia distintiva en la forma en la que los usuarios interactúan con los metadatos. Los responsables de los portales descubrieron que las búsquedas efectuadas por la mayoría de los usuarios se centraban en un relativamente pequeño número de parámetros clave. Los registros de metadatos muy extensos siguen teniendo importancia, con el fin de asegurar que los servicios están documentados a fondo, aunque, sin embargo, sólo una fracción de estos campos se utiliza de forma activa para las búsquedas. Esto es importante, ya que ayuda a refinar las directrices para el *input* de los metadatos. La atención se debe centrar en hacer entrar en vigor la normalización de aquellos parámetros más empleados en las búsquedas, y para los que la estandarización es esencial, mientras que se puede permitir una mayor flexibilidad en aquellos otros parámetros que son usados menos frecuentemente en las búsquedas en los catálogos.

Está aumentando el interés en normas reducidas de metadatos, del tipo del Dublín Core (que sólo tiene 15 elementos básicos, en comparación con los 134 del Federal Geographic Data Comité-FGDC) y que pueden

emplearse específicamente a efectos de búsqueda y recuperación de información. Estos refinamientos ayudan a asegurar que la creación, mantenimiento y uso de metadatos es más eficaz.

Los desarrollos en los portales y en las IDE están expandiendo el rango de servicios que los metadatos deben describir. Además de los servicios de datos, los portales también catalogan en la actualidad: los modelos espaciales, las aplicaciones, las herramientas de componentes, las metodologías, los informes y demás. Ofrecen nuevos tipos de servicios de datos, incluyendo las grandes bibliotecas de imágenes continuas y el suministro de datos electrónicos en tiempo real. Las actuales normas de metadatos no fueron diseñadas para documentar tan amplio espectro de servicios espaciales. Por tanto, se requiere trabajar en este campo, como de hecho se está haciendo (FGDC, 2002), con el fin de refinar los formatos de los metadatos, de manera que se atiendan mejor los tipos de servicios que se registran ahora en los portales espaciales. Además, se precisa más trabajo en la indexación y el suministro de metadatos para los registros no estructurados de datos espaciales.

### 4. LA EVOLUCIÓN DE LOS CATÁLOGOS

Una consideración clave en el diseño de los portales espaciales es cómo se construyen y diseñan los catálogos. Los portales generalmente ofrecen a los proveedores de servicios unas herramientas para crear, mantener y cargar metadatos bajo unos formatos acordados que describan los servicios que ofrecen. Este procedimiento manual puede ser bastante ineficaz para los proveedores de servicios, ya que deben recordar el actualizar el portal siempre que se modifiquen o creen nuevos registros de metadatos. Esto puede ser algo que lleve mucho tiempo a los grandes proveedores de servicios, que registran sus servicios en muchos portales espaciales. En consecuencia, los portales han desarrollado unas rutinas automáticas que pueden acceder a bases de datos remotas por toda la Red. Los proveedores de servicios pueden mantener sus propias bases de datos de metadatos y los portales centralizados pueden tener acceso a las mismas y extraer automáticamente la nueva información ya actualizada.

Las técnicas de recogida también han evolucionado a lo largo del tiempo. Inicialmente, y en particular en las IDE iniciales, se adoptó un modo distribuido. En él, los metadatos se mantenían en los lugares de la Red de los proveedores de servicios y a los que el portal interrogaba únicamente cuando recibía una petición del usuario. Aun tratándose de una metodología elegante, ya que reducía la duplicación (y el resultante potencial de inconsistencias), resultaba difícil de implementar, ya que la fiabilidad y la velocidad de búsqueda dependían completamente de la fortaleza de la Red y de las bases de datos de metadatos individuales. Si fallaba una base de datos o una conexión, los resultados de la búsqueda no eran completos. Además, es difícil asegurar la consistencia a lo largo de toda la recogida de metadatos, ya que las organizaciones individuales son las responsables de mantener sus propios archivos de metadatos, con una menor coordinación centralizada.

Este tipo de problemas propició el desarrollo de una metodología más centralizada. De este modo, el portal recoge de forma rutinaria los metadatos desde sus fuentes remotas y los consolida en catálogos almacenados dentro de la infraestructura de las bases de datos del portal. La creación de bases de datos de metadatos centrales que consoliden los metadatos de todos los proveedores de servicios registrados, ayuda a asegurar la uniformidad de escalas y la fiabilidad de los procedimientos de búsqueda. Además, los responsables de los portales pueden comprobar y controlar más fácilmente la calidad y completitud de los registros de metadatos. En la actualidad, la mayoría de los portales adoptan una combinación de recogida automática y puesta al día manual para mantener sus catálogos. Cada vez se adoptan más las técnicas de recogida automática de las librerías de programas y de archivos de la industria (por ejemplo, las basadas en los protocolos Z39.50 y *Open Archive Initiative-OAI*).

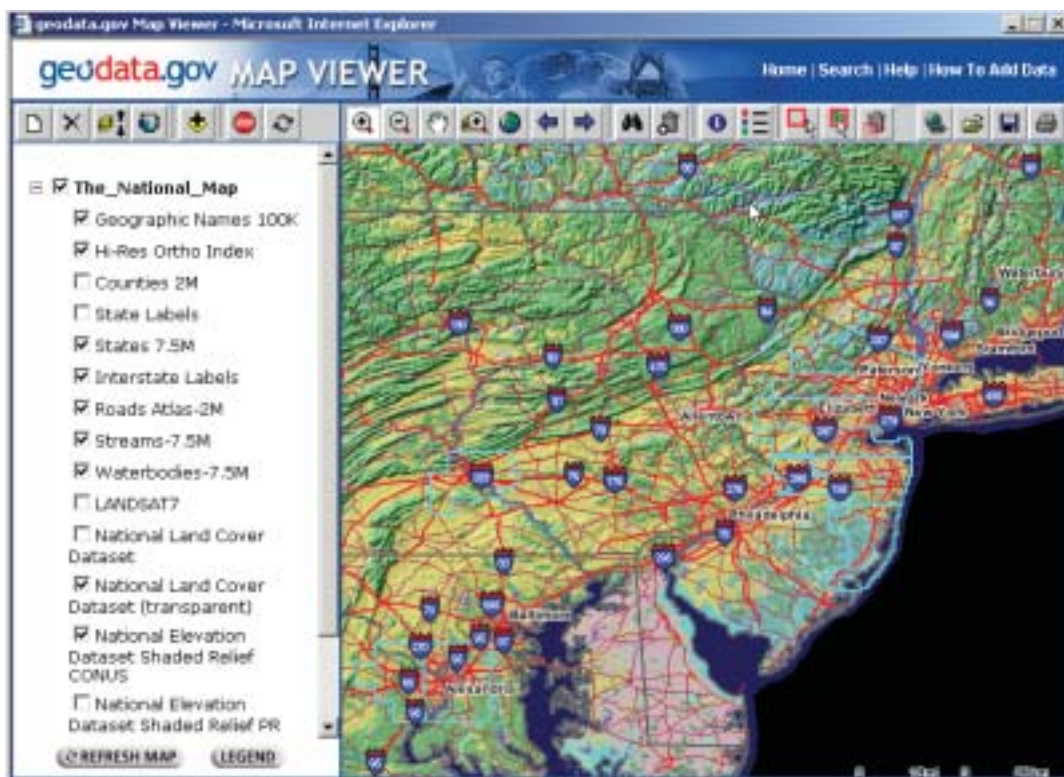
## 5. EVOLUCIÓN DE LAS APLICACIONES

Los portales han aprovechado los desarrollos generales de la industria de la Tecnología de la Información para expandir el rango y la complejidad de las aplicaciones que ofrecen. Concebidos inicialmente para permitir una funcionalidad básica de interrogaciones basadas en textos de los catálogos de metadatos, los portales espaciales ofrecen en la actualidad unas sofisticadas herramientas no sólo para descubrir y explorar los datos, sino también para combinar, analizar y emplear los servicios encontrados. Tait (2005) señala la importancia de los servicios de la Red y de las arquitecturas orientadas a los servicios (AOS) que han permitido

aprovechar esta funcionalidad. Las normativas de la industria, tales como el *eXtensible Markup Language (XML)* el *Simple Object Access Protocol (SOAP)* o el *Web Services Description Language (WSDL)*, refuerzan la interoperabilidad que precisan los portales como umbrales centrales de diversos servicios y permiten que dichos servicios se combinen, se integren y se compartan no sólo entre diferentes tecnologías geoespaciales, sino con otras tecnologías de la información.

Son muchos los portales que en la actualidad ofrecen herramientas de visualización cartográfica que permiten la integración de servicios cartográficos en vivo desde múltiples proveedores de servicios remotos. Los usuarios pueden acceder a los servicios que encuentran en los portales bien a través de aplicaciones de cartografía ligeras y basadas en la Red, suministradas por el portal, o directamente (lo que cada vez es más frecuente) desde sus propias aplicaciones informáticas. Estas herramientas permiten a los usuarios el combinar, ver y trabajar con múltiples servicios remotos de toda la Red. Los distintos servicios pueden haber sido desarrolladas en conformidad con un formato de normalización único (tales como los formatos WMS o WFS del Open Geospatial Consortium) o, como cada vez es más frecuente, usan aplicaciones de traducción automática suministradas por compañías, tales como el programa SAFE, que permite una traducción bajo demanda entre los numerosos formatos diferentes.

Dependiendo del tipo de portal, los clientes cartográficos se sitúan en un rango que va desde los que ofrecen sencillas posibilidades de "pan" (moverse por una zona), "zoom" (ampliar detalles) e identificación, hasta las interfases cartográficas altamente especializadas, que permiten una



**Figura 2.** El visor cartográfico de *Geospatial Onestop*, que permite a los usuarios añadir, ver y trabajar con datos procedentes de diversos servicios remotos, dentro de un entorno de trabajo "amigable"

petición específica y un análisis de la información. Si los proveedores de servicios cobran por los servicios de información que ofrecen, los portales espaciales disponen también de funciones de e-comercio y contabilidad, que permiten a los usuarios pagar por los servicios obtenidos.

Las aplicaciones disponibles en los portales empresariales están siendo cada vez más sofisticadas, según van apareciendo nuevas tecnologías de Información Geoespacial, y ofreciendo una funcionalidad de Información Geoespacial que puede integrarse dentro de los sistemas de información de la empresa.

## 6. LA EVOLUCIÓN DE LAS COMUNIDADES

Una de las principales metas de muchas de las iniciativas de las IDE es la expansión y el desarrollo de las comunidades de usuarios. Esto puede incluir: promocionar la presencia y uso de los recursos geoespaciales, definir y apoyar una normativa común a toda la industria y mejorar la coordinación y la colaboración con la industria geoespacial. Las IDE ofrecen un foro para el intercambio de información, aumentan la conciencia acerca de la importancia de los metadatos y la disponibilidad de los recursos. Los portales espaciales también han contribuido en esta dirección. Simplifican notablemente y hacen muy agradable el entorno de trabajo de las actividades de búsqueda y acceso. La combinación de funciones de búsqueda espacial y de textos y la habilidad de poder ver y trabajar con los recursos encontrados, hacen a la información encontrada a través del portal más asequible, de forma inmediata, a una mayor audiencia. Las técnicas que guían a los usuarios hacia la información más relevante, como, por ejemplo, sucede en el diseño de los portales de aplicaciones dirigidos a audiencias particulares, o a la introducción de canales dedicados que recogen enlaces e información sobre una temática particular, ayudan a hacer más eficaz el proceso de búsqueda. Maguire y Lonley (2005) señalan que el acceso directo a servicios *on-line* (además de a los metadatos) y el acceso a los mismos a través de aplicaciones cartográficas en Internet, o aplicaciones estándar para ordenadores de sobremesa, tienen una significativa importancia.

Los enlaces dentro de la comunidad geoespacial pueden reforzarse mediante trabajos de colaboración en el diseño y desarrollo del portal. Esto puede adoptar la forma de una administración distribuida de las partes, o de la totalidad, del portal. Así, por ejemplo, los distintos segmentos de la industria pueden organizar grupos de expertos para mantener los canales dedicados en sus campos de actividad; este proceso puede incluir el diseño del aspecto y funcionamiento del canal, la búsqueda y el estudio a fondo de los contenidos del mismo, efectuar puestas al día de forma regular y realizar operaciones de limpieza en el canal. Los canales (y los portales en general) ofrecen un foro para el intercambio de la información y para la discusión, que no queda restringido por la distancia.

## 7. DIRECCIONES A SEGUIR EN EL FUTURO

Las IDE y los portales espaciales han supuesto un paso adelante en el

trayecto que los Sistemas de Información Geográfica vienen recorriendo desde los años sesenta para mejorar el acceso y el uso y análisis de la información geoespacial. Expanden la comunidad de usuarios, mejoran la comunicación dentro de las comunidades y facilitan encontrar, evaluar y usar los recursos geoespaciales. Sin embargo, queda aun mucho trabajo por hacer. Esto incluye alentar una mayor participación y compromiso. Es necesario trabajar para efectuar el desarrollo y la consolidación de los metadatos y para desarrollar pasarelas y traducciones entre las normas empleadas entre las distintas industrias o regiones. Los portales espaciales que permiten la búsqueda y el registro de servicios son muy raros y precisan de mayor atención. La creciente facilidad con que se puede acceder a los datos o integrarse, destaca la urgente necesidad de normalizar la forma en la que los datos o aplicaciones se conceptualizan y modelan. Las IDE, los portales espaciales y los progresos en la normalización de los formatos de los datos, así como el poder compartir los conjuntos de datos en diferentes formatos, han derribado muchas de las barreras que obstaculizaban el intercambio de información. Las diferencias semánticas (diferencias de cómo se define una cobertura del terreno o una clase de tipo de suelos, o la forma con que un algoritmo modela un proceso en particular) presentan en la actualidad unas barreras a la interoperabilidad mucho mayores que el acceso físico a los datos o al formato de los mismos. También es importante reconocer que el marco de trabajo sobre el que las IDE y los portales espaciales se han construido, asume que existe un acceso fiable y constante a Internet, con un ancho de banda razonablemente alto. En muchas partes del mundo no existe aun este entorno de trabajo y se precisan urgentemente formas de apadrinarlo e introducirlo. Todo ello precisa de atención. Sin embargo, y aun quedando en pie estos retos, los portales espaciales y las IDE ofrecen una cada vez más robusta y completa infraestructura, a través de la cual el conjunto de la comunidad de la información geoespacial, trabajando de forma coordinada, pueda en el futuro resolverlos.

## REFERENCIAS

- Dangermond J, 2004. "GIS and Geography: A new language for society", Schermerhorn Lecture presented at Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- European Committee for Standardisation, 2003. "Mapping Between Dublin Core and ISO19115, Geographic Information Metadata", CEN, Brussels.
- Federal Geographic Data Committee, 2002. "Content Standard for Geospatial Metadata: Extension for Remote Sensing Metadata", FGDC, Virginia.
- Maguire DJ and Longley PA, 2005. "The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures", Computers Environment and Urban Systems, Vol. 29:1, 3-14.
- Tait MG, 2005. "Implementing geoportals: application of distributed GIS", Computers Environment and Urban Systems, Vol. 29:1, 33-47.
- Tang W and Selwood JR, 2005. "Spatial portals: gateways to geospatial information services", ESRI Press, Redlands CA. ■

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  
2007  
LIÉBANA TIERRA DE JÚBILO

“**MM MUTUAMADRILEÑA**”  
902 130 555 [www.grupomutua.es](http://www.grupomutua.es)

# Primer Programa de Ingeniería Geomática en Colombia

Gonzalo Jiménez Cleves, José Joaquín Vila Ortega y Julián Garzón Barrero

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, FACULTAD DE INGENIERÍA

GRUPO QUIMBAYA DE INVESTIGACIÓN, ARMENIA (QUINDÍO) COLOMBIA

## Resumen

*Los avances tecnológicos del nuevo siglo, especialmente en los campos de la electrónica y la informática, implican nuevos desafíos no sólo en la captura de datos, sino en su transformación, para que se pueda representar de manera simplificada una realidad, que permita tener acceso a sus características para tomar decisiones que beneficien a una comunidad a partir del análisis de sus variables cualitativas y cuantitativas apoyados en la topografía, fotogrametría y cartografía con bases físico-matemáticas sólidas.*

*A nivel nacional se ofrecen postgrados en el área de Geomática para profesionales de otras áreas del conocimiento, sin tener en cuenta a aquellos que se encuentran dedicados a producir y administrar información territorial aplicada a distintos fines. El programa de Tecnología en Topografía es hoy el punto de partida del primer programa académico de Ingeniería Geomática en Colombia, como producto de un extenso estudio del estado del arte de la topografía, modelos curriculares en ingeniería y las tendencias mundiales de la formación en Geomática.*

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería sobre la que versa este estudio tiene sus raíces en remotas épocas históricas. La figura del planeta que habitamos, la determinación de sus dimensiones, la orientación astronómica con fines de desplazamiento, tanto marítimos como terrestres, la representación gráfica de las ciudades, vías de comunicación, regiones y países, unidas a su aplicación con fines militares y catastro rural y urbano, han sido objeto de especial atención desde el devenir de las primeras civilizaciones.

La introducción de la medida electrónica de distancias, el posicionamiento a partir de los satélites, junto a la rápida utilización de las técnicas informáticas para el procesamiento de los datos con ellas obtenidas y su uso en las técnicas topográficas, geodésicas, fotogramétricas, cartográficas y geofísicas, son hoy, con sólidos cimientos físico-matemáticos, las herramientas de trabajo en las que ésta ingeniería, a la vez tan vieja y tan nueva, tiene entidad científico-técnica por sí misma y junto con otras ingenierías constituyen el reto tecnológico del siglo XXI.

Estos interesantes tópicos fueron enriquecedores para el proyecto de Ingeniería Geomática, al igual que el estudio exhaustivo que sobre la con-

ceptualización de ciencia, ingeniería y tecnología permitió establecer con claridad el objeto de estudio y transformación como punto de partida del diseño curricular. Además de topografía fundamental y conocimiento en tenencia de las tierras, en la Ingeniería Geomática se estudian: Sistemas de Información Geográfica (GIS), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), programación, hidrografía, teledetección, fotogrametría, posicionamiento geodésico, modelación de superficies, campo gravitatorio, gerencia de proyectos, planeamiento y uso de la tierra. Así mismo se estudian aspectos tales como la ley catastral y el derecho de propiedad adicionalmente a las matemáticas y la física.

Éste es el resultado de una serie de trabajos de consulta, investigación, estudios de casos y revisión de una extensa bibliografía sobre el diseño curricular, modelos pedagógicos, el estado del arte en topografía, las tendencias de la educación en ingeniería y particularmente en Geomática en el ámbito mundial. Unido a ello, las experiencias desarrolladas por otras instituciones educativas a nivel mundial, como la Universidad de Calgary, la Universidad del Estado de Ohio, Universidad de Londres, Universidad de Melbourne, la Universidad Autónoma de México, entre otras, que por su afinidad nos proporcionan conceptos de gran relevancia, como el método de ingeniería, la investigación en ingeniería, el de-

sarrollo tecnológico en el campo de la topografía y las políticas educativas del gobierno.

## JUSTIFICACIÓN

La disciplina cuenta con varias opciones de trabajo, ya sea en instituciones públicas o privadas, en el ejercicio libre de la profesión, la docencia y la investigación. Las oportunidades de empleo para el Ingeniero Geomático son muy extensas, prácticamente en todos los sectores en los que se realizan obras civiles y se brindan servicios para la comunidad, por lo que es importante que el ingeniero sepa optimizar los recursos disponibles, administrar riesgos, desarrollar recursos humanos, promover la innovación, aplicar tecnología, mejorar continuamente los procesos y el trabajo en equipo y practicar la honestidad y la responsabilidad social. El futuro de la ingeniería va de la mano con los impresionantes desarrollos en materia tecnológica. El campo actual de trabajo de la Ingeniería Geomática es bastante amplio en organismos del sector público y privado en el mundo.

*“La Ingeniería Geomática sirve a la sociedad al coleccionar, almacenar, monitorear y mantener la infraestructura espacial nacional”.* En Colombia se han empezado a ofrecer especializaciones y maestría en el área de la Geomática para profesionales de otras áreas del conocimiento y el saber; aún no se ha formado en Colombia al especialista que directamente debe dedicarse a esta ciencia, es una necesidad imperante y es deber nuestro empezar a pensar en el asunto.

## ESTRUCTURA CURRICULAR

### Ciclos de formación

El Programa de Ingeniería Geomática se desarrollará mediante el concepto de ciclos propedéuticos de formación, que define entre otras como primer ciclo la técnica, segundo ciclo la tecnología y tercer ciclo la profesionalización en el campo de la ingeniería. Estos ciclos permiten al estudiante el ascenso en espiral hacia niveles más cualificados de la formación, al concluir cada ciclo el estudiante obtiene un título que facilita su inserción en el mercado laboral y su ingreso al siguiente ciclo.

El primer ciclo está orientado a generar competencias y desarrollo intelectual, como el de aptitudes, habilidades y destrezas al impartir conocimientos técnicos necesarios para el desempeño laboral en una actividad, en áreas específicas de los sectores productivos y de servicios que conducirá al título de “Técnico Profesional en Topografía”. Éste realizará levantamientos de lotes urbanos pequeños y será auxiliar de campo para obras de ingeniería.

El segundo ciclo ofrece la formación básica común, que se fundamenta y apropia de los conocimientos científicos y la comprensión teórica para

la formación de un pensamiento innovador e inteligente, con capacidad de diseñar, construir, ejecutar, controlar, transformar y operar los medios y procesos que han de favorecer la acción del hombre en la solución de problemas que demandan los sectores productivos y de servicios del país en el área de la tecnología en topografía.

La formación tecnológica comprende el desarrollo de responsabilidades de concepción, dirección y gestión de conformidad con las tecnologías de la medición, y conducirá al título de “Tecnólogo en Topografía”. Éste es encargado de realizar levantamientos topográficos, calcularlos y representarlos.

El tercer ciclo complementará el segundo ciclo en el área de Geomática, de forma coherente con la fundamentación teórica y la propuesta metodológica de la profesión; tiene además explícito los principios y propósitos que la orientan desde la perspectiva integral, considerando, entre otros aspectos, las características y competencias que se espera posea el ingeniero. Este ciclo permite el ejercicio autónomo de actividades profesionales de alto nivel e implica el dominio de conocimientos científicos y técnicos, y conducirá al título profesional en “Ingeniería Geomática”. Este profesional sirve a la sociedad para capturar, almacenar, mantener y monitorear información geoespacial.

### Asignaturas

Primer Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Cálculo Diferencial	4	4
Geometría Analítica	2	3
Dibujo	2	3
Electiva I Tecnológica	3	4
Deporte	2	2
Preseminario	2	3

Segundo Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Cálculo Integral	4	4
Álgebra Lineal	3	3
Física I (mecánica)	4	5
Geometría Descriptiva	3	5
Topografía I	2	6
Seminario I (ciencia y tecnología)	2	3

Tercer Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Cálculo Multivariado y Vectorial	4	4
Ecuaciones Diferenciales	3	4
Física II (electromagnetismo)	4	5
Topografía II	3	7
Seminario II (Método de ingeniería)	2	3

Cuarto Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Estadística y Probabilidad	3	4
Física III (ondas y termodinámica)	4	5
Sistemas de Posicionamiento	2	5
Topografía III	2	4
Ética	3	2
Seminario III (Método científico)	2	4

Quinto Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Algoritmia	2	3
Topografía aplicada	3	7
Dibujo topográfico	2	3
Trazados longitudinales	3	7
Electiva I Complementaria	3	4
Constitución política	2	2
Ecología	1	2

Sexto Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Presupuestos	1	2
Proyecto tecnológico	2	
Cartografía I	2	4
Modelos digitales	2	4
Electiva II tecnología	3	4
Electiva II complementaria	3	4
Gestión empresarial	2	3

Séptimo Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Teoría de Errores	2	2
Programación	2	4
Fotogrametría I	2	3
Base de Datos	2	4
Catastro	2	3
Legislación	1	2
Cartografía II	2	3
Geodesia	3	5

Octavo Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Ajuste de Observaciones	2	3
Fotogrametría II	2	4
Sistemas de Información	2	3
Administración	2	3
Evaluación de Impacto Ambiental	2	3
Geología	2	3
Diseño de Movimientos de Tierra	2	3
Electiva III Complementaria	3	4

Noveno Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Fotogrametría III	2	4
Análisis de Datos	2	4
Gerencia de Proyectos	2	3
Planeación Territorial	2	3
Hidrología	2	4
Electiva III Profesional	3	4
Electiva IV Complementaria	3	4

Décimo Semestre		
Asignatura	Créditos	H/s
Teledetección espacial	3	4
Sistemas de Información Geográfica	3	4
Proyecto Profesional	5	
Proyectos Geomáticos	2	3
Monitoreo y Control Topográfico	2	4
Electiva IV Profesional	3	4

## Áreas

El programa de Ingeniería Geomática para su funcionamiento y operatividad está dividido en las siguientes áreas:

- Área Básica y de Ingeniería
- Área de la Medición
- Área Sistemas de Información
- Área de Administración

## Investigación

El Programa de Ingeniería Geomática seguirá como lineamientos para el desarrollo de su cultura investigativa la definición de investigación: "un pensamiento reflexivo, sistemático, controlado y crítico, que permite descubrir nuevos hechos o datos, relaciones o leyes en cualquier campo del conocimiento humano". Para el programa, la investigación es una actividad académica que deben realizar profesores y estudiantes para generar conocimientos teóricos y prácticos, crear, modificar o enriquecer las técnicas y contribuir al desarrollo e innovación tecnológica o a la solución de problemas de carácter social, técnico o industrial en el ámbito local, regional o nacional. Las líneas de investigación y su relación con las áreas son: Modelación de superficies terrestres (Área de medición), Gerencia y Administración territorial (Área de administración), Ciencias y Tecnología espaciales de la información (Área básica - ingeniería), Sistemas de Información (Área de sistemas de información) y Ciencia de la medida (Área de medición)

### El Ingeniero Geomático debe ser experto en:

- Captura, manipulación, análisis y representación de datos geográficos para sistemas de información gubernamentales o privados.
- La realización de mediciones, en campo y oficina, para entidades de la industria y en las instituciones del estado.
- Desarrollar y promover sistemas y programas de computación en el área del manejo de la información geoespacial.
- Actividades relacionadas con el manejo y administración de los datos geoespaciales para la planeación y desarrollo territorial urbano y rural.
- Crear y ejecutar proyectos de representación de información geoespacial para emplear en el manejo de los recursos naturales y desarrollo económico.

### CAMPO DE ACCIÓN

El Ingeniero Geomático en Colombia se puede resumir en áreas de competencias como topografía, geodesia, cartografía, fotogrametría, sensores remotos y catastro, con trabajos relacionados con la planificación territorial, obras civiles, administración de recursos naturales y municipales, educación universitaria, proyectos de ingeniería, sistemas de información geográfica, forestales, mineros, de servicios, de estudios agrológicos y antrópicos.

### BIBLIOGRAFÍA

- Grun, Armin. *Two New Curricula at ETH Zurich. Geomatic Engineering and Environmental Engineering* // GIM International. December 1998, Volume 12 number 12. Pag. 30–33.
- Georgiadou, Yola; Groot, Richard. *Beyond Education: Capacity-building in Geoinformations. Surveying The Issues of Geomatics Educations (6)* // GIM International. February 2002, Volume 16 number 2. Pag. 40–43.
- Lemmens, Mathias. *Higher Education Subject to Rapid Modification. Surveying the Issues of Geomatics Educations (1)* // GIM International. September 2001, Volume 15 number 9. Pag. 40–43.
- Molendijk, Mathilde and Euro Beinat. *Use of Internet for Distance Learning in GIS: the UNIGIS Experience. Surveying the Issues in Geomatics Education (2)*// GIM International. October 2001, Volume 15 number 10. Pag. 40–43.
- Sausen, Tania Maria. *Geomatic Education in Africa and South America. Surveying the Issues in Geomatic Education (5)* // GIM International. January 2002, Volume 16 number 1. Pag. 53–55.
- Molendijk, Mathilde and Euro Beinat. *Use of Internet for Distance Learning in GIS: the UNIGIS Experience. Surveying the Issues in Geomatics Education (2)*// GIM International. October 2001, Volume 15 number 10. Pag. 40–4
- Universidad del Quindío. *Diseño Curricular. Ingeniería Geomática.* Armenia 2005. Págs. 119. ■

# Novedades Técnicas

## FC-200 DE TOPCON: LA CONTROLADORA DE CAMPO RÁPIDA Y LIGERA

Topcon Europe Positioning B.V. anuncia el lanzamiento de una nueva controladora de campo: la FC-200. Con el último procesador Intel X-Scale a 520 MHz, la FC-200 se distingue como una controladora de campo rápida, compacta y resistente. A partir de ahora todas las aplicaciones básicas de oficina están al alcance en pleno campo.

La línea de controladoras de campo de Topcon pone en la palma de la mano del topógrafo la velocidad de cálculo de un ordenador de sobremesa. Fácil de usar y pensada para cualquier situación en el exterior. Con la conexión móvil a Internet es posible enviar trabajos por correo electrónico directamente desde el terreno. Los topógrafos pueden ahorrar tiempo en numerosos aspectos de su trabajo y olvidarse de las transferencias de datos al final del día. La batería extraíble tiene una autonomía de hasta 20 horas de funcionamiento.

La FC-200 tiene integrado el sistema operativo Windows CE, de forma que el usuario puede ejecutar una diversidad de aplicaciones basadas en Windows, como Microsoft Wordpad, Microsoft Explorer, Microsoft Media Player e Internet Explorer, sobre el terreno. La pantalla táctil, en color y de gran nitidez, hace que los datos se puedan ver fácilmente y se pueda acceder a ellos con rapidez. Si se conecta la controladora de campo Topcon FC-200 a un teléfono móvil, es posible, con tan solo pulsar una tecla, el acceso directo a Internet para obtener las últimas modificaciones, información en línea o acceder directamente al servidor de la oficina.

Es posible acceder fácilmente a los datos mediante una de las dos ranuras para tarjetas integradas: Compact Flash y SD Media. Asimismo, es posible la transferencia de datos mediante tarjetas de datos directa de serie y USB o Bluetooth, lo cual permite la comunicación con cualquier otro dispositivo. La FC-200 se ha diseñado para soportar duras situaciones de campo así como para trabajar a la intemperie. Es totalmente estanca y por tanto resistente al polvo y al agua. La robusta carcasa hace que la controladora sea resistente a los golpes, de forma que pueda seguir funcionando tras una caída.

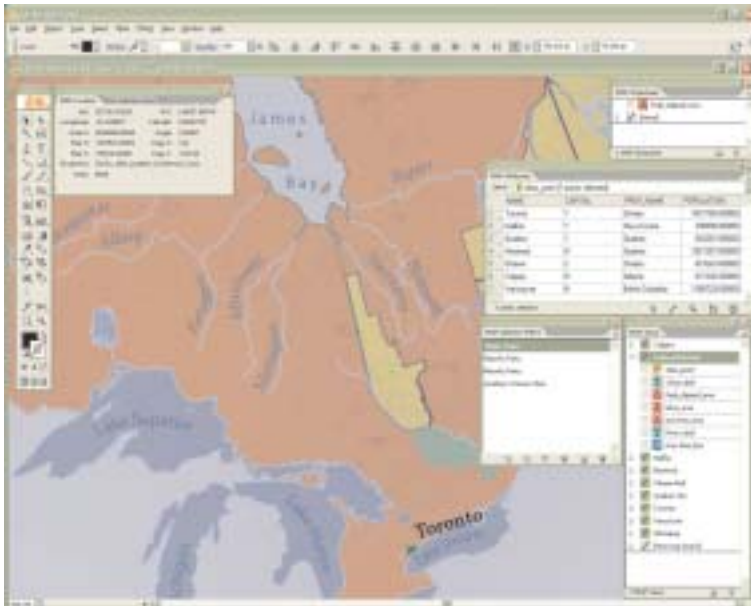
Las funciones estándar de la FC-200 incluyen: Módulo de radio adaptable RS-1 de 2,4 GHz opcional, conectividad WiFi, dos opciones de memoria (256 ó 512 MB), procesador Intel XScale a 520 MHz, ranuras de

tarjeta SD y CF, puertos USB, USB2 y serie, tecnología Bluetooth interna y batería de ión-litio tipo videocámara extraíble y recargable

Para obtener más información, visitar la página web [www.topcon.eu](http://www.topcon.eu)



## AVENZA ANUNCIA LA NUEVA VERSIÓN 7.2 DE MAPUBLISHER PARA ADOBE ILLUSTRATOR



Avenza Systems, fabricante del programa cartográfico MAPublisher para Adobe Illustrator y Geographic Imager para Adobe Photoshop, anuncia el lanzamiento de la versión MP 7.2 para Adobe Illustrator CS y CS2. MAPublisher 7.2 es la última versión de esta potente aplicación lógica cartográfica usada para producir mapas de alta calidad empleando datos SIG.

La versión MAPublisher 7.2 para Adobe Illustrator es una actualización completa del programa y se distribuye gratis a todos los usuarios de MP suscritos al Plan de Mantenimiento. Sustituye a la versión 7.0 que se estaba entregando hasta el momento. "Hemos respondido con rapidez a las peticiones de los usuarios para mejorar la última versión e incluir nuevas funciones y mejoras", comentó Ted Florence, Presidente de AVENZA "Esta actualización es un importante paso de MAPublisher hacia el futuro".

MAPublisher 7.2 incluye todas las características de las versiones anteriores, 7.0 y 7.1, incluyendo una nueva máquina inteligente para rotulación, nuevas retículas, rejillas y generadores de barra de escala, nuevos y mejores datos MAP con un nuevo módulo para producción de atributos, avanzados filtros selectores, soporte para caracteres de doble byte, además de otras mejoras y características, como las siguientes:

- Sistema mejorado de índice MAP:
  - Las entradas en celda para una característica aparecen ahora alfabéticamente en una sola línea.
  - Las entradas que caen directamente sobre una rejilla no son omitidas.
- Registro mejorado de Imágenes:
  - Permite unir imágenes usando documentos de tamaños distintos a los estándar.

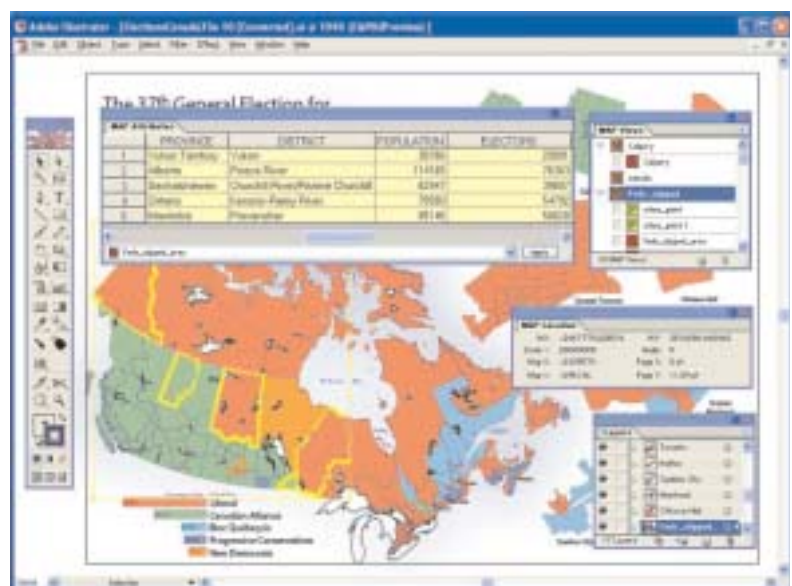
- Permite unir imágenes Geo Tiff.
- Permite usar imágenes con ficheros de referencia TAB y con información sobre la deformación de píxeles (*rubber sheeting*).
- Rejillas y retículas mejoradas:
  - Incorpora una función que permite la omisión de etiquetas en la primera/última fila o columna.
  - Muestra inmediatamente los cambios realizados (por edición) a las familias de caracteres aplicados sobre una rejilla o retículo.
  - Incorpora otras mejoras para facilitar el rendimiento total.

El programa MAPublisher 7.2 para Illustrator es una potente aplicación lógica para crear documentos cartográficos empleando datos SIG. Desarrollado como un conjunto de módulos para Adobe Illustrator, MAPublisher hace uso de las extraordinarias características gráficas de este programa.

Avenza también ofrece MAPublisher 5.0 para Freehand, un conjunto de módulos lógicos para añadir funcionalidades cartográficas a las aplicaciones Freehand 10 y MX de Macromedia.

MAPublisher 7.2 para Illustrator está disponible sin cargo alguno para todos los usuarios de MAPublisher suscritos al Programa de Mantenimiento. También está disponible como una actualización al precio de 499,00 €. Las licencias nuevas de MAPublisher 7.2 están disponibles a su precio normal de 1.149,00 € (16% de IVA no incluido), este precio incluye el plan de mantenimiento por un año.

Para obtener información adicional, dirigirse a GRAFINTA S.A., Avenida Filipinas, 46, 28003 Madrid, Telf. 91 553 7207, Fax 91 533 6282, [grafinta@grafinta.com](mailto:grafinta@grafinta.com) [www.grafinta.com](http://www.grafinta.com)



## AUTODESK MEJORA LOS SERVICIOS DE SU CENTRO DE SUSCRIPCIONES

Actualización automática del software, opciones de compra flexible, portal exclusivo, asesoramiento técnico, e-Learning, etc., son algunos de los servicios avanzados que ofrece el Centro de Suscripciones de Autodesk, que va más allá del concepto tradicional de contrato de mantenimiento de software. *“La filosofía del centro –explica Montse Vilert, responsable de analizar el negocio de las Suscripciones de Autodesk para el Sur de Europa– es estar cerca del usuario en su trabajo de cada día, no cada vez que se actualiza un producto. Nuestro objetivo es que los usuarios saquen el máximo partido de las aplicaciones y para ello les ofrecemos diferentes tipos de soporte que permiten no sólo resolver sus dudas sino un aprendizaje permanente en las herramientas”.*

Según Montse Vilert, el contrato de mantenimiento al uso es totalmente insuficiente para atender las expectativas de los usuarios: *“Nuestra experiencia es que cada vez son más los usuarios particulares, empresas, centros educativos, instituciones... que deciden suscribirse, porque obtienen un valor añadido que va mucho más allá de las actualizaciones”.* En este sentido, España es el mercado donde proporcionalmente ha crecido más el número de suscripciones durante el pasado año. *“Se da la paradoja de que una parte de nuestros suscriptores son usuarios que hasta ahora utilizaban copias no registradas, que han descubierto las ventajas para su negocio o actividad de trabajar con software legal y a la vez contar con todo el soporte, asesoramiento y base de conocimiento de una organización internacional”.*

Entre las ventajas que ofrece el Centro de Suscripciones a las empresas y usuarios de Autodesk destacan:

- **Actualización automática del software:** A través de las licencias de suscripción de Autodesk es posible recibir la última versión del software concreto de Autodesk de forma automática.
- **Opciones de compra flexibles:** Dependiendo del perfil de la institución que se suscriba, del número de licencias, del periodo de suscripción, etc., el Centro de Suscripciones de Autodesk ofrece contratos personalizados.
- **Portal exclusivo para suscriptores:** Las suscripciones Autodesk se gestionan en Internet a través de un Portal de Suscripciones. El Centro de Suscripciones, protegido por contraseña, es un sitio web exclusivo desde el momento de la compra, durante la instalación y la actualización de los programas. Contiene herramientas que permiten administrar el contrato de suscripción y conocer las diferentes ofertas.
- **Asesoramiento técnico de expertos:** A través del Portal de Suscripciones se tiene acceso a expertos técnicos de la compañía que ayudan a resolver consultas.
- **e-Learning:** La posesión de licencias de suscripción Autodesk incluye lecciones, ejercicios prácticos y simulaciones en la red para los diferentes productos. Esta información, siempre disponible, sirve de apoyo para el aprendizaje con el que se obtiene mayor rendimiento de las soluciones de Autodesk.

Para más información, visitar [www.autodesk.es](http://www.autodesk.es)

## AUTODESK FOMENTA LOS GRUPOS DE USUARIOS DE AUTODESK CIVIL 3D

Los Grupos de Usuarios de Autodesk Civil 3D son encuentros organizados por distribuidores oficiales y apoyados por Autodesk, dirigidos a usuarios y profesionales del área de Ingeniería Civil con la finalidad de mejorar su eficiencia y ofrecer al mercado el valor añadido de obtener un conocimiento más profundo sobre el mundo civil. Con esta iniciativa, Autodesk pretende apoyar y dar soporte a estos grupos de usuarios, con el objetivo de implementar más rápidamente y mejor el software Autodesk Civil 3D, compartir conocimientos y experiencias con los usuarios, investigar y desarrollar el sector, mejorar la práctica de esta ingeniería, conocer las inquietudes y preocupaciones de los usuarios finales, reducir sus dudas, superar sus expectativas y lograr un mayor conocimiento global en torno al universo de la obra civil.

Estos encuentros están generando una magnífica red de relaciones entre Autodesk, sus distribuidores y los clientes finales, para conseguir una mayor aproximación y acercamiento al mundo Civil 3D, aportando un valor diferencial que los usuarios aceptan muy positivamente. En este sentido, se estrechan los lazos de unión entre Autodesk y los distribuidores al estar más respaldados, entre los distribuidores y clientes en cuanto

que les proporcionan una mayor atención, formación y soporte técnico y, por último, entre clientes, al compartir experiencias prácticas y usos del software de Autodesk Civil 3D.

Las reuniones, que se celebran periódicamente, se integran en un Programa a nivel mundial. En Europa se celebrarán durante todo el 2007 y concretamente en la Península Ibérica (España y Portugal) distribuidores como Seys, Cad&Lan y Cadmax han organizado ya Grupos de Usuarios de Autodesk Civil 3D en Madrid y Barcelona. Asimismo, ya están previstos para febrero y marzo más encuentros en Barcelona y Sevilla.

Los Grupos de Usuarios de Autodesk Civil 3D están compuestos por los propios distribuidores, por representantes de Autodesk, por profesores de Universidades, ingenieros dedicados a la obra civil y desarrollo urbano, grandes empresas y PYMES del mundo de la construcción, y un largo etcétera.

Para participar o pedir información sobre los Grupos de Usuarios Autodesk Civil 3D pueden contactar con Autodesk llamando al call center 902 12 10 38 o enviando un e-mail a [infospain@autodesk.es](mailto:infospain@autodesk.es)

## TRIMBLE PROPORCIONA TECNOLOGÍA VRS PARA LA RED NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA GPS EN EL SUR DE POLONIA

Trimble ha suministrado su software de Estaciones de Referencia Virtual (VRS) para el establecimiento de una red nacional de infraestructura del sistema de posicionamiento global (GPS) en el sur de Polonia. La red VRS proporciona infraestructura geoespacial para los profesionales de la topografía, la ingeniería y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La red VRS habilita el posicionamiento GPS cinemático en tiempo real (RTK) de alta precisión sin necesidad de utilizar otras estaciones de referencia o software, lo que aumenta significativamente la eficacia y productividad.

Esta red es la primera de su clase en Polonia y proporciona datos GPS RTK con precisión centimétrica para una variedad de aplicaciones de posicionamiento, tales como mediciones catastrales y geodésicas, construcción de puentes y carreteras y ubicación y documentación de excavaciones de yacimientos arqueológicos. Asimismo, hay planes para usar la red para la administración y despacho de equipos médicos y de rescate en Cracovia, con el objetivo de mejorar la eficacia y tiempos de respuesta.

La red VRS, conocida como *Malopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego*, es operada por BGUM, el Departamento Topográfico del gobierno local. Construida con software Trimble GPSNet y RTKNet, la red abarca la zona del sur de Polonia denominada Malopolska. Además de mejorar la precisión de los resultados, se prevé que la red permita mediciones rápidas de 2 a 5 segundos. El uso de la red será gratuito para los topógrafos durante los próximos tres años.

Según Maciej Antosiewicz, Presidente del Departamento Topográfico de la Oficina Regional de Malopolska del gobierno polaco, "*La red VRS proporciona un método económico altamente fiable para que los topógrafos y otros profesionales trabajen con más eficacia y obtengan resultados GPS más precisos en menor tiempo. Se tiene previsto que la red de Malopolska ofrezca amplias oportunidades para la industria del posicionamiento, lo que podría traducirse en beneficios comerciales significativos. La red VRS constituye la primera etapa de la red nacional planeada, conocida como ASG (Aktywna Siec Geodezyjna), una red para el posicionamiento en línea al servicio del usuario, que constituirá una red GPS de Estación de Referencia de Operación Continua CORS (Continuously Operating Reference Station) que abarque toda Polonia*".

Asimismo, la red permite combinar tecnología GPS con métodos tradicionales de topografía óptica, ya que los resultados están disponibles en tiempo real. Además, el uso simultáneo de tecnología GPS y equipos ópticos no requiere un intercambio de datos ni preparativos complejos.

El proyecto de infraestructura de la red VRS de Malopolska sigue a 80 instalaciones de Trimble en todo el mundo, entre las que se incluyen China, Alemania, Austria, Suiza, EE.UU., Singapur, Portugal, Canadá, Noruega, Suecia, Finlandia, Dinamarca, Bélgica, Francia, España, Italia, Reino Unido, Países Bajos, Serbia, Eslovenia, Eslovaquia, Nueva Caledonia, Australia, Malasia, Taiwan, Korea del Sur, y Japón. Para una lista de referencia parcial sobre las instalaciones de Trimble VRS, visitar: <http://www.trimble.com/vrsinstallations.shtml>.

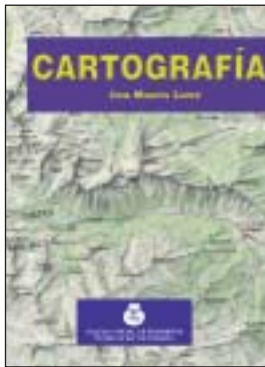
BGUM es el Departamento de Cartografía y Geodesia de la región de Malopolska en Polonia. BGUM se responsabiliza de los recursos cartográficos de la región y administra los fondos para cartografía y geodesia, mantiene las bases de datos SIG polacas de la región, desarrolla reglamentos para administrar los recursos de fondos de protección de tierras de labor y realiza otras actividades para la protección y mantenimiento de las tierras de labor y forestales de la región.

La tecnología VRS de Trimble utiliza soluciones RTK del software Trimble RTKNet y proporciona posicionamiento GPS RTK de alta precisión en zonas amplias. La red VRS está disponible en cualquier momento sin necesidad de establecer una estación base y ofrece un control común desde cualquier lugar de la red.

Como el software Trimble RTKNet es capaz de procesar toda la red simultáneamente, las redes VRS de Trimble ofrecen un control de calidad y una precisión de datos mayor a larga distancia. En el campo, cuanto más se aleje un usuario de la estación de referencia RTK convencional, mayor será la posibilidad de reducir el rendimiento y la precisión de las posiciones GPS debido a errores sistemáticos (tales como los efectos de la troposfera e ionosfera). En una red VRS de Trimble, el software RTKNet proporciona una solución modelada completa que toma en cuenta los posibles errores sistemáticos. Los usuarios se conectan al sistema mediante conexión inalámbrica, el software confirma su posición en el campo y les permite trabajar como si tuviesen una estación de referencia (estación de referencia virtual) al lado del receptor móvil. Como resultado, el error PPM es eliminado o reducido de forma significativa, lo que permite que los topógrafos logren precisiones RTK a distancias mucho mayores con menos estaciones de referencia. Asimismo, los usuarios pueden recuperar las posiciones GPS guardadas y los modelos de datos del centro de control por internet para su posprocesamiento.

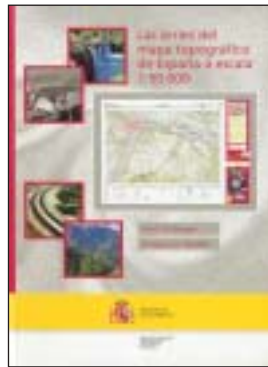
Para más información, visitar la página web de Trimble en [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

# Libros Técnicos



Título: Cartografía  
Autor: José Martín López

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



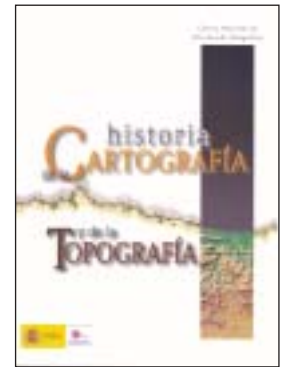
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000  
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

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



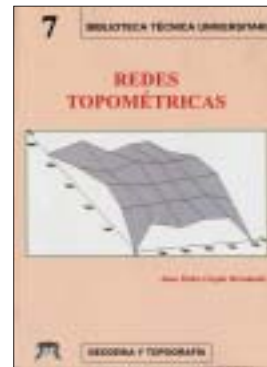
Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital  
Autor: José Luis Lerma García

43,40 € Ref. 5006



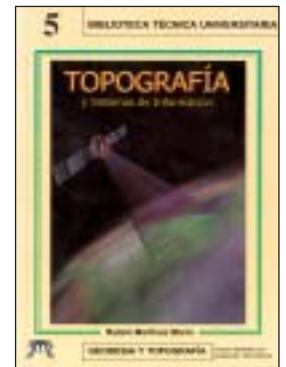
Título: Fotogrametría analítica  
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

14,30 € Ref.: 804



Título: Redes Topométricas  
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

27,40 € Ref. 6008



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

23,08 € 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: Transformaciones de coordenadas  
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

23,08 € Ref.: 6007



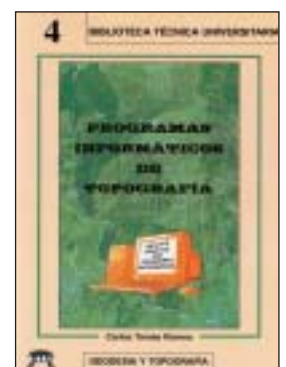
Título: Topografía para Ingenieros  
Autores: Silvano Fernández García y Mª Luz Gil Docampo

27,88 € Ref. 6008



Título: Topografía para Estudios de Grado  
Autores: J. J. de San José Blasco, E. Martínez García y M. López González

30,29 € Ref.: 6009

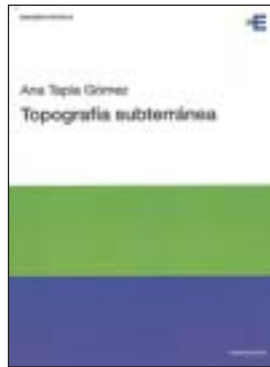


Título: Programas Informáticos de Topografía  
Autor: Carlos Tomás Romeo

24,52 € Ref. 6005



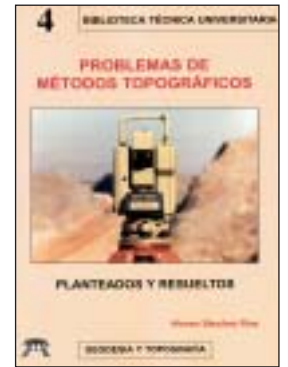
Título: **Sistemas de Información Geográfica Prácticas con ArcView**  
 Autores: N. Lantada Zarzosa y M. A. Núñez Andrés  
**12,80 € Ref. 303**



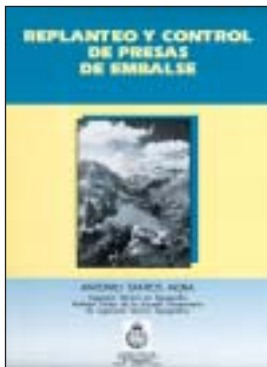
Título: **Topografía subterránea para minería y obras**  
 Autores: Ana Tapia Gómez  
**12,10 € Ref. 801**



Título: **Fundamentos Teóricos de los Métodos Topográficos**  
 Autor: Alonso Sánchez Ríos  
**21,63 € Ref. 6002**



Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**  
 Autor: Alonso Sánchez Ríos  
**18,27 € Ref. 6003**



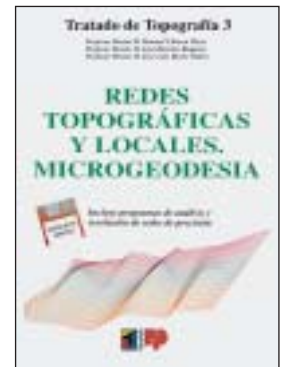
Título: **Replanteo y control de presas de embalse**  
 Autor: Antonio Santos Mora  
**12,10 € Ref. 302**



Título: **Tratado de Topografía 1**  
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné  
**48,06 € Ref. 2001**

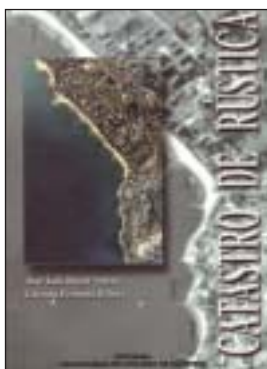


Título: **Tratado de Topografía 2**  
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné  
**72,10 € Ref. 2002**

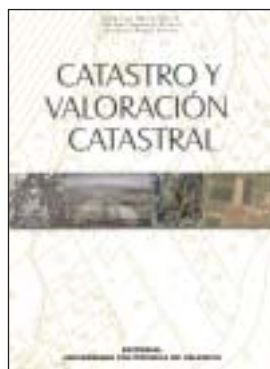


Título: **Tratado de Topografía 3**  
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné  
**72,10 € Ref. 2003**

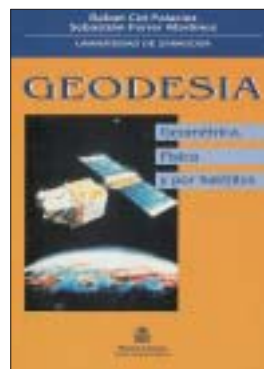
**Los tres volúmenes: 192,26 € (108,30 € colegiados)**



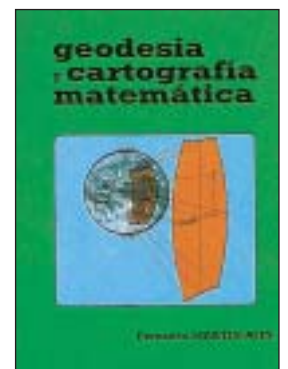
Título: **Catastro de Rústica**  
 Autores: José Luis Berné Valero y Carmen Femenia Ribera  
**31,68 € Ref. 5005**



Título: **Catastro y Valoración Catastral**  
 Autores: José Luis Berné Valero, Carmen Femenia Ribera y Jerónimo Aznar Bellver  
**43,40 € Ref. 5007**



Título: **Geodesia (Geométrica, Física y por Satélites)**  
 Autores: R. Cid Palacios y S. Ferrer Mtez.  
**24,10 € Ref.: 030**



Título: **Geodesia y Cartografía Matemática**  
 Autor: Fernando Martín Asín  
**32 € Ref. 205**

## Boletín de Pedido a la Revista **TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA**

Avda. de la Reina Victoria, 66, 2.º C – 28003 Madrid  
 Teléfono: 91 553 89 65 – Fax: 91 533 46 32

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

Gastos de envío: 3 € Europa por ejemplar, para más ejemplares u otros países consultar (secretaria\_revista@coit-topografia.es)

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

## PRESENTACIÓN DEL LIBRO “CARTOGRAFÍA DEL SIGLO XVIII, TOMÁS LÓPEZ EN LA REAL ACADEMIA DE LA HISTORIA”

El pasado 30 de noviembre se presentó en la Real Academia de la Historia, y bajo la Presidencia de su Director, D. Gonzalo Anes y Álvarez de Castrillón, el libro “*Cartografía del siglo XVIII, Tomás López en la Real Academia de la Historia*”, del que son autores D. Antonio López Gómez y Dña. Carmen Manso Porto y que ha sido editado por la Real Academia de la Historia y la Fundación Caja Madrid. Intervinieron en el acto D. Rafael Spottorno Díaz-Caro, representado por D. Pío Díaz de Tuesta, D. Luis Suárez Fernández y D. Quintín Aldea Vaquero.

Esmerada impresión de Doce Calles, S.L. para un trabajo hecho con rigor y esmero por sus autores y que, bajo los auspicios de la Fundación Caja Madrid, ve ahora la luz para ilustrarnos sobre lo que fue la obra del Geógrafo de Carlos III y Carlos IV, Tomás López Vargas Machuca (1730-1802), “... miembro de las Academias de Bellas Artes, de la Historia, de las Buenas Letras de Sevilla y de las Sociedades de Amigos del País, Vascongada, de Asturias y de Canarias”, a partir de los valiosos fondos que atesora la Real Academia de la Historia en su Departamento de Cartografía y Artes Gráficas.

La tarea investigadora de D. Antonio López Gómez y de Dña. Carmen Manso Porto, ambos miembros de esta Real Academia, les ha llevado a estudiar tanto la figura del Geógrafo y su labor desde la Academia, como a su obra inacabada, el Diccionario Geográfico de España, lo que supuso para la Biblioteca de esta Institución el comienzo de un archivo de fondos cartográficos de importancia para el conocimiento del país.

El estudio se compone de tres partes:

- **Los Atlas de Tomás López en la Real Academia de la Historia**, parte que comprende el estudio de setenta y dos mapas de España y Portugal, realizado por D. Antonio López Gómez, y que comprende el *Atlas particular de los Reinos de España, Portugal e islas adyacentes*; *Atlas de las Órdenes Militares*, encargo realizado al Geógrafo por el Real Consejo de las Órdenes; *Atlas de América*, en el que fue ayudado por su hijo Juan; y, por último, el *Atlas de Superficies Provinciales de España*.

Al hablar de esta primera parte del libro no podemos dejar de hacer referencia a la pérdida irreparable de D. Antonio López



Gómez, persona altamente valorada y querida en la Universidad y en cuantas instituciones participó.

- **El Geógrafo Tomás López en la Real Academia de la Historia**, desarrollada por Dña. Carmen Manso Porto con la dedicación y seriedad que merecen la obra del Geógrafo y la Real Academia, trata de la aportación de Tomás López antes y después de su ingreso como académico en esta docta institución. El 6 de diciembre de 1776 fue aprobado su ingreso y el 17 de enero del año siguiente hizo el juramento que figuraba en el Estatuto IX del Reglamento entonces vigente en la Academia, es decir, “*la defensa del Misterio de la Purísima Concepción de María Santísima, la observación de estos Estatutos y el secreto de todo lo que se tratase y dispusiese en la Academia*”, según se relata en la página 107 de este libro.
- **Catálogo: Atlas, Mapas sueltos y Guías de Forasteros**, constituye una valiosísima aportación al campo de la investigación. Los cientos de referencias incluidas en esta parte facilitan el estudio directo de trescientos setenta y cinco mapas, otros trabajos del Geógrafo, bibliografía al respecto e Índices del Catálogo y de Ilustraciones, completando lo publicado.

## JORNADA TÉCNICA EN LA RIOJA: EL CATASTRO EN NUESTRO DÍAS



De izquierda a derecha, D. Pedro Alcázar Tejedor y D. José Andrés Aznar

El pasado 11 de noviembre tuvo lugar, en el Rioja Forum de Logroño, una Jornada Técnica que, bajo el título *El Catastro en nuestros días*, organizó la Delegación Territorial en La Rioja del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

Dicha Jornada, que fue presidida por el Delegado Territorial en La Rioja del COITT, D. José Andrés Aznar, tuvo como ponente a D. Pedro Alcázar Tejedor, Jefe del Servicio de Coordinación Cartográfica de la Subdirección General de Valoración e Inspección de la Dirección General del Catastro y Delegado Territorial en Madrid del COITT, quien expuso a los asistentes la situación actual del Catastro según el siguiente programa:

1. *Documentación Catastral: Parte Técnica.*- Objetivo, presencia del Ingeniero Técnico en Topografía, solicitud de los servicios del I.T. en Topografía, Memoria, diversos tipos de trabajos catastrales, asignación de distintas superficies a una misma parcela y ejecución de trabajos catastrales.
2. *Documentación Catastral: Actuación en Gerencias.*- Alteraciones catastrales, sub-

sanación de discrepancias (procedimiento de subsanación de discrepancias, actuaciones a realizar para su tramitación, anexos), explicación detallada sobre subsanación de discrepancias, recursos, consideraciones sobre planos técnicos, conclusiones, modelos de escrito a Gerencia y modelo de Acta de Deslinde Contradictorio.

3. *Documentación Catastral: Legislación y medios.*- Ley de Catastro Inmobiliario, Referencia Catastral, Plan de Calidad (antecedentes), el ciudadano cliente del Catastro, Implantación de la Base Cartográfica en los Registros de la Propiedad, consultas al Catastro (preguntas y respuestas), declaraciones ante el Catastro y términos jurídicos.

Una vez terminada la presentación, los asistentes formularon al ponente numerosas preguntas, prueba evidente del gran interés que este tema suscita en todos los I.T. en Topografía.

A continuación, los asistentes disfrutaron de una cata del buen vino de la tierra, seguida de una comida, en la que, entre plato y plato, intercambiaron opiniones sobre el tema tratado.



## PRIMERAS JORNADAS DE CARTOGRAFÍA EN CASTILLA-LA MANCHA



© LOURDES HERRÁEZ

**Mesa Presidencial del Acto de Inauguración. De izquierda a derecha, D. Pedro Cavero, D. Alberto Sereno, Dña. Mª Luisa Araujo Chamorro, Dña. Evangelina Aranda y D. Fco. Javier Martín Cabeza**

Durante los días 15 y 16 de diciembre se celebraron en Toledo las Primeras Jornadas de Cartografía en Castilla-La Mancha.

La celebración de este acontecimiento surgió de la antigua aspiración de la Delegación Territorial en Castilla-La Mancha del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía de organizar un evento de este tipo en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, con el fin de hacer ver a los políticos de dicha Comunidad la precaria situación de la cartografía de la misma y la necesidad de impulsarla de alguna manera.

No fue tarea fácil, pero tras muchas reuniones del Delegado Territorial en Castilla-La Mancha del COITT, D. Juan Luis Calvo, y la Secretaria de dicha Delegación, Dña. Mayte Aranda, con diferentes entidades, tras aprobarse el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) en Castilla-La Mancha se encontró un interlocutor válido, firmándose un convenio entre el Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha, ente encargado en dicha Comunidad Autónoma de la gestión del PNOA, y el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, gracias al cual, al fin, se pudieron realizar dichas Jornadas.

Finalmente, los organizadores fueron la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, en la figura del Instituto de Estadística, el Instituto Geográfico Nacional, la Delegación Territorial en Castilla-

La Mancha del COITT y la Universidad de Castilla-La Mancha a través del Instituto de Desarrollo Regional.

El objetivo que se perseguía era establecer un foro de encuentro que propiciase el intercambio de experiencias de carácter científico, técnico y profesional en el ámbito de la Cartografía y, asimismo, concienciar de la necesidad de una cartografía autonómica que sirviese de base para su aprovechamiento en diferentes campos del desarrollo del territorio.

Las Jornadas se celebraron en el Centro Universitario San Pedro Mártir de Toledo, en cuya Aula Magna y bajo la presidencia de la Consejera de Economía de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Dña. Mª Luisa Araujo Chamorro, el Director del Instituto Geográfico Nacional, D. Alberto Sereno, la Vicerrectora del Campus de Toledo de la Universidad de Castilla-La Mancha, Dña. Evangelina Aranda García, el Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, D. Pedro Cavero Abad, y el Presidente del Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha, D. Francisco Javier Martín Cabeza. se celebró el acto inaugural, dando comienzo, a continuación, el ciclo de conferencias de acuerdo con el siguiente programa:

## DÍA 14

### SESIÓN 1: Presentación de las Instituciones Organizadoras

(Moderador: D. César Lalanda Fernández, JCCM)

- *La Producción de Información Geográfica en el IGN*, D. Lorenzo García Asensio (IGN)
- *Coordinación de la Información Geográfica en la Administración de la JCCM*, D. Manuel López (IES-JCCM) y D. David Hernández (IDR-UCLM)
- *El papel del UCLM en la producción cartográfica en Castilla-La Mancha*, D. Antonio Quintanilla Ródenas (IDR-UCLM)
- *El Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía y la Cartografía en Castilla-La Mancha*, D. Juan Luis Calvo Díaz (COITT-CLM)



### SESIÓN 2: Proyectos cartográficos del Instituto Geográfico Nacional

(Moderador: D. Antonio Quintanilla Ródenas, UCLM)

- *El Plan Nacional de Observación del Territorio y su incidencia en Castilla-La Mancha*, D. Antonio Arozarena Villar (IGN)
- *El IGN y las Series Cartográficas Nacionales en el ámbito de Castilla-La Mancha*, D. Pedro Rodrigo Gestoso (IGN) y D. Javier González Matesanz (IGN)

### SESIÓN 3: Actuaciones cartográficas en la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

(Moderadora: Dña. Mayte Aranda Gutiérrez, COITT-CLM)

- *La Cartografía en la Delegación de Toledo de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural*, D. Pedro Hoyos Rodríguez (JCCM)
- *Actuaciones cartográficas en la Delegación de Albacete de la Consejería de Obras Públicas*, D. Agustín Solabre Suárez (JCCM)
- *Presentación del Proyecto SIGINTER (Sistema de Gestión de Intervenciones sobre el Terreno) de la Consejería de Agricultura*, D. Manuel Gómez Sanz (JCCM)

### SESIÓN 4: Actuaciones cartográficas de otras Instituciones en Castilla-La Mancha

(Moderador: D. Pedro Rodríguez Gestoso, IGN)

- *Proyectos Cartográficos del CGCCT*, D. José Miguel Olivares (DGC)
- *Aplicación de las Técnicas de Detección de Cambios a la actualización de la Cartografía*, D. Carlos Broncano Mateos (Escuela de Guerra del Ejército)
- *Identificación gráfica de fincas en el Registro de la Propiedad*,

D. Andrés Juez Pérez (Registro de la Propiedad de Quintanar de la Orden)

### SESIÓN 5: Proyectos cartográficos en otras Comunidades Autónomas

(Moderador: D. Agustín Solabre Suárez, JCCM)

- *25 años del Instituto Cartográfico de Cataluña*, D. Xavier Giménez López (ICC)
- *La Cartografía en la Xunta de Galicia*, D. Manuel Gallego (Xunta de Galicia)
- *CANARIAS: La experiencia en Producción, Explotación y Difusión de Información Territorial*, D. Bernardo Pizarro Hernández (Cartográfica de Canarias, S.A.)
- *Proyectos Cartográficos del Instituto Cartográfico Valenciano*, D. Emilio Forcén Tárraga (ICV)

## DÍA 15

### SESIÓN 6: Innovación Tecnológica

(Moderador: D. David Hernández López, IDR-UCLM)

- *Transición del Sistema de Referencia Geodésico ED50 a ETRS89 en España*, D. F. Javier González Matesanz (IGN)
- *Avances tecnológicos en sensores aerotransportados: Cámaras digitales y LIDAR*, D. Alfonso Gómez Molina (STEREOCARTO, S.L.)
- *gvSIG: El cliente integral de gestión territorial*, D. Manuel Madrid (Generalitat Valenciana)
- *Análisis de diferentes sensores en una zona piloto en la provincia de Segovia, realizado por el IGN*, D. Francisco Papí Montanel (IGN)



- *Red de estaciones GPS Permanentes de Referencia*, D. Miguel Angel Cano Villaverde (IGN)

### SESIÓN 7: Las Infraestructuras de Datos Espaciales

(Moderador: Juan Luis Calvo Díaz, COITT-CLM)

- *La Infraestructura de Datos Espaciales de España IDEE*, D. Sebastián Más Mayoral (IGN)
- *El Proyecto Carto-Ciudad*, D. Ángel García Sanromán (IGN)
- *Canales de distribución de cartografía digital*, D. Pedro Vivas White (CNIG)
- *La IDE-CLM*, D. Antonio Quintanilla Ródenas (IDR-UCLM)

En paralelo a este ciclo de conferencias, se celebró una exposición tecnológico-comercial con distintos stands de las empresas del sector que patrocinaron el acto, que fueron STEREO-CARTO, BLOM, ESRI ESPAÑA, ACRE, INTERGRAPH, Hewlett-Packard y TRAGSATEC. Todas ellas participaron también en el ciclo de conferencias presentando sus soluciones para la producción cartográfica.

Las Jornadas contaron además con diferentes actos sociales, como una

comida de bienvenida el día 14 y un cóctel el día 15, ambos celebrados en el Hotel San Juan de los Reyes, así como una visita guiada a la Sinagoga del Tránsito.

El día 15 a las 14 horas tuvo lugar el acto de clausura, que corrió a cargo del Director General de Presupuestos y Planificación Económica y Presidente del Instituto de Estadística de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, D. Francisco Javier Martín Cabeza.

Estas Primeras Jornadas de Cartografía de Castilla-La Mancha fueron todo un éxito de público, pues aunque inicialmente se pensaron para unas 100 personas, se llegó a un aforo de 200, demostrando el gran interés y la preocupación que existe en esta Comunidad Autónoma por la Cartografía.

Son dignos de destacar el enorme esfuerzo y dedicación desarrollados por la Delegación Territorial en Castilla-La Mancha

del C. O. de I. T. en Topografía, y especialmente de su Secretaria, Dña. Mayte Aranda Gutiérrez, en la organización de este evento, que esperamos sea la simiente de la revolución cartográfica que necesita esa Comunidad Autónoma.

Toda la información sobre estas Jornadas y las conferencias se encuentran en la página web [www.jornadas-carto-dm.org](http://www.jornadas-carto-dm.org)



© ENRIQUE TENORIO

Acto de Clausura

# PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE MATEMÁTICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**del 30 de mayo al 1 de junio de 2007**

COMITÉ ORGANIZADOR:

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

## 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.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, C. y P.  
de la Universidad Politécnica de Madrid.

[www.caminos.upm.es/actividades/Congreso%20Matematicas/index.htm](http://www.caminos.upm.es/actividades/Congreso%20Matematicas/index.htm)

email: [congreso.m.i@caminos.upm.es](mailto:congreso.m.i@caminos.upm.es)



POLITÉCNICA



# Índices

## Número 132 (enero-febrero 2006)



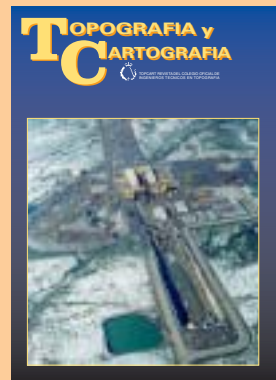
- La Topografía como una importante herramienta para el trabajo científico en los ámbitos de la Geología y la Geofísica: Casos prácticos. *Francisco Santana Sarmiento, Ángel Rodríguez Santana y Francisco Pérez Torrado*. Pág. 3.
- Elaboración de la Documentación Geométrica de Estructuras Afectadas por un Sismo. *Evangelia Lambrou y George Pantazis*. Pág. 18.
- La Calidad en el Sector Topográfico: Organismos Competentes y Situación Actual. *Carmen Sevilla Antón y Javier Bisbal Martín*. Pág. 23.
- Premio del Congreso de la FIG 2006. Pág. 28.

- XXIII Congreso Internacional de la FIG. Pág. 29.
- Criterios para la elaboración de Callejeros Digitales Georeferenciados. *Carlos López Borra y Vicente García Núñez*. Pág. 30.
- Métodos de determinación de las altitudes ortométricas empleando la tecnología GPS. *Octavian Roman*. Pág. 43.
- Datos facilitados por el Observatorio Astronómico Nacional. Pág. 48.
- Modelos Geopotenciales en la Península Ibérica: IBERGEO95 y EGM96. *Jorge Martín Gutiérrez y José María Lara Cabeza*. Pág. 54.
- Vida Profesional. Pág. 64.

## Número 133 (marzo-abril 2003)

- La Topografía en los Túneles de Guadarrama para el Tren de Alta Velocidad (I). *Pedro Arranz Chacón*. Pág. 3.
- Posicionamiento y Vertidos con Gánguil en la ampliación del Puerto de Barcelona. *Dique Este*. *Alfonso Alcaraz, José Antonio Anta y Carles Confría*. Pág. 16.
- Levantamientos arqueológicos efectuados en Grecia empleando un helicóptero controlado por radio. *D. Skarlatos, D. Theodoridou y D. Glabenas*. Pág. 20.
- Programa TRES para la enseñanza de Trigonometría Esférica. *M<sup>o</sup> Carmen Morillo y José Fábrega*. Pág. 28.

- Utilización de un Sistema de Barrido por Láser en estructuras tecno-hidráulicas. *Alojz Kopacik y Thomas Wunderlich*. Pág. 33.
- El Efecto de Soporte de Información en Imágenes Digitales Fotogramétricas. *Jorge Delgado García, F. Javier Cardenal Escarcena y Alfonso Gómez Molina*. Pág. 37.
- Las Claves Geodésicas de la Gran Pirámide reveladas por Charles Piazzi Smyth (1819-1900). *Mario Ruiz Morales*. Pág. 50.
- Novedades Técnicas. Pág. 66
- Bibliografía. Pág. 72.
- Vida Profesional. Pág. 74.



## Número 134 (mayo-junio 2006)



- Mediciones en Arquitectura con Argus Eye. *Matthias Fuhrland*. Pág. 3.
- Verificación, mediante nivelación, de los desplazamientos diferenciales verticales obtenidos a través del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR): Aplicación a lo largo del acueducto de Mornos (Grecia). *Ioannis Kotsis, Spyros Karamitso, Demetrio Paradissis, Charis Kontoes, Olga Sycioti, Panagiotis Elias y Pierre Briote*. Pág. 8.
- El Geoide submétrico de México. *Antonio Hernández Navarro*. Pág. 20.

- Doce años de la Red Geodésica Nacional Activa de México. *Antonio Hernández Navarro*. Pág. 25.
- La Topografía en los Túneles de Guadarrama para el Tren de Alta Velocidad (II). *Pedro Arranz Chacón*. Pág. 29.
- Establecimiento de una red Catastral con Técnicas GPS en la ciudad de Jaén. *Antonio Castillo Vizcaíno*. Pág. 40.
- La Georeferenciación mediante Callejero en el Ámbito Municipal. *Vicente García Núñez y Carlos López Borra*. Pág. 50.
- Novedades Técnicas. Pág. 50.
- Vida Profesional. Pág. 66.

# Volumen XXIII-2006

## Número 135 (julio-agosto 2006)

- IBERGEO 2006: Nuevo Geoide centimétrico de la Península Ibérica. *Miguel J. Sevilla*. Pág. 3.
- La Topografía en los Túneles de Guadarrama para el Tren de Alta Velocidad (y III). *Pedro Arranz Chacón*. Pág. 12.
- La tecnología LIDAR: Una visión general. *José Balsa Barreiro y José Luis Lerma García*. Pág. 28.
- Modelizado 3D de la Iglesia de San Benito Abad (Barajas de Gredos, Ávila). *Mariano Veneros Gómez*. Pág. 34.

- Uso de una Infraestructura de Datos Espaciales en el estado alemán de Renania-Palatinado para e-gobierno. *Volker Emmel y Hartmut Müller*. Pág. 58.
- Novedades Técnicas. Pág. 66.
- Vida Profesional. Pág. 74.



## Número 136 (septiembre-octubre 2006)



- Aplicación de la tecnología del Láser Escáner Aerotransportado (ALS) a la generación de Modelos Digitales Urbanos. *José Balsa Barreiro y José Luis Lerma García*. Pág. 3.
- 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*. Pág. 9.
- Diseño Geométrico del Trazado de un Circuito de Competición para Fórmula 1. *Alfonso Enrique Ponz*. Pág. 16.

- Modelos Digitales de Elevaciones con datos ASTER. Revisión de métodos y análisis de errores (I). *Alonso Sánchez Ríos*. Pág. 24.
- Topografía Romana (I). *Isaac Moreno Gallo*. Pág. 36.
- 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 y Paraskevas Sawaidis*. Pág. 46.
- Legislación. Pág. 54.
- Novedades Técnicas. Pág. 58.
- Vida Profesional. Pág. 62.
- V Premio San Isidoro. 70.

## Número 137 (noviembre-diciembre 2006)

- Modelos Digitales de Elevaciones con datos ASTER. Revisión de métodos y análisis de errores (y II). *Alonso Sánchez Ríos*. Pág. 3.
- Posibilidades de uso de equipos GPS de bajo coste en aplicaciones geodésicas de precisión. *Volver Schwieger y Andreas Gläser*. Pág. 20.
- Topografía Romana (II). *Isaac Moreno Gallo*. Pág. 30.
- Elaboración del Mapa Turístico y Excursionista de Jalance (Valencia) a escala 1:25.000. *Óscar García Costa*. Pág. 46.

- Infraestructuras en desarrollo: Crecimiento y Evolución de los Portales Espaciales. *Jeanne Foust, Winnie Tang y Jan Selwood*. Pág. 60.
- Primer Programa de Ingeniería Geomática en Colombia. *Gonzalo Jiménez Cleves, José Joaquín Vila Ortega y Julián Garzón Barrero*. Pág. 68.
- Novedades Técnicas. Pág. 72.
- Vida Profesional. Pág. 78.
- Índices del Volumen XXIII, 2006. Pág. 84.



# TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS EN TOPOGRAFIA

## SI DESEA ESTAR AL DÍA Y TENER INFORMACIÓN MUNDIAL SOBRE TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA, CATASTRO, GEODESIA, FOTOGRAMETRÍA, GPS, etc., suscríbase

El precio de la suscripción para el año 2007 es de:

	<b>Correo ordinario</b>	<b>Correo certificado</b>
España.....	33 € <input type="checkbox"/>	45 € <input type="checkbox"/>
Países C.E.E.....	46 € <input type="checkbox"/>	67 € <input type="checkbox"/>
América.....	46 € <input type="checkbox"/>	74 € <input type="checkbox"/> (con suplemento aéreo)
Otros países.....	48 € <input type="checkbox"/>	75 € <input type="checkbox"/> (con suplemento aéreo)

Estudiantes (remitir justificante de estar matriculado en el curso 2006-2007) 27 €

NOMBRE Y APELLIDOS.....

DIRECCIÓN ....., POBLACIÓN .....

PROVINCIA ....., CÓDIGO POSTAL ....., PAÍS ....., TEL. CONTACTO .....

Adjunto  cheque o justificante de  giro  transferencia para la suscripción del año 2007.

**c/c n.º 1098-8.- CAJA DE AHORROS PROVINCIAL DE GUADALAJARA-Alcalá, 27 - 28014 MADRID**

Remítase este Boletín a **Topografía y Cartografía**. Avenida Reina Victoria, 66, 2.º C - 28003 MADRID - Tel. 91 553 89 65 - Fax 91 533 46 32 - E-mail: topografiaycartografia@top-cart.com

# 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



**Leica Geosystems** 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](http://www.aticsa.net) 06011 BADAJOZ



**MEDITEX**  
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



**Grafinta**  
SOCIEDAD ANÓNIMA

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](http://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](http://www.acre-sl.com)



**Leica Geosystems**



**S&C**

Distribuidor



**Trimble**

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

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

Sistemas G.P.S.

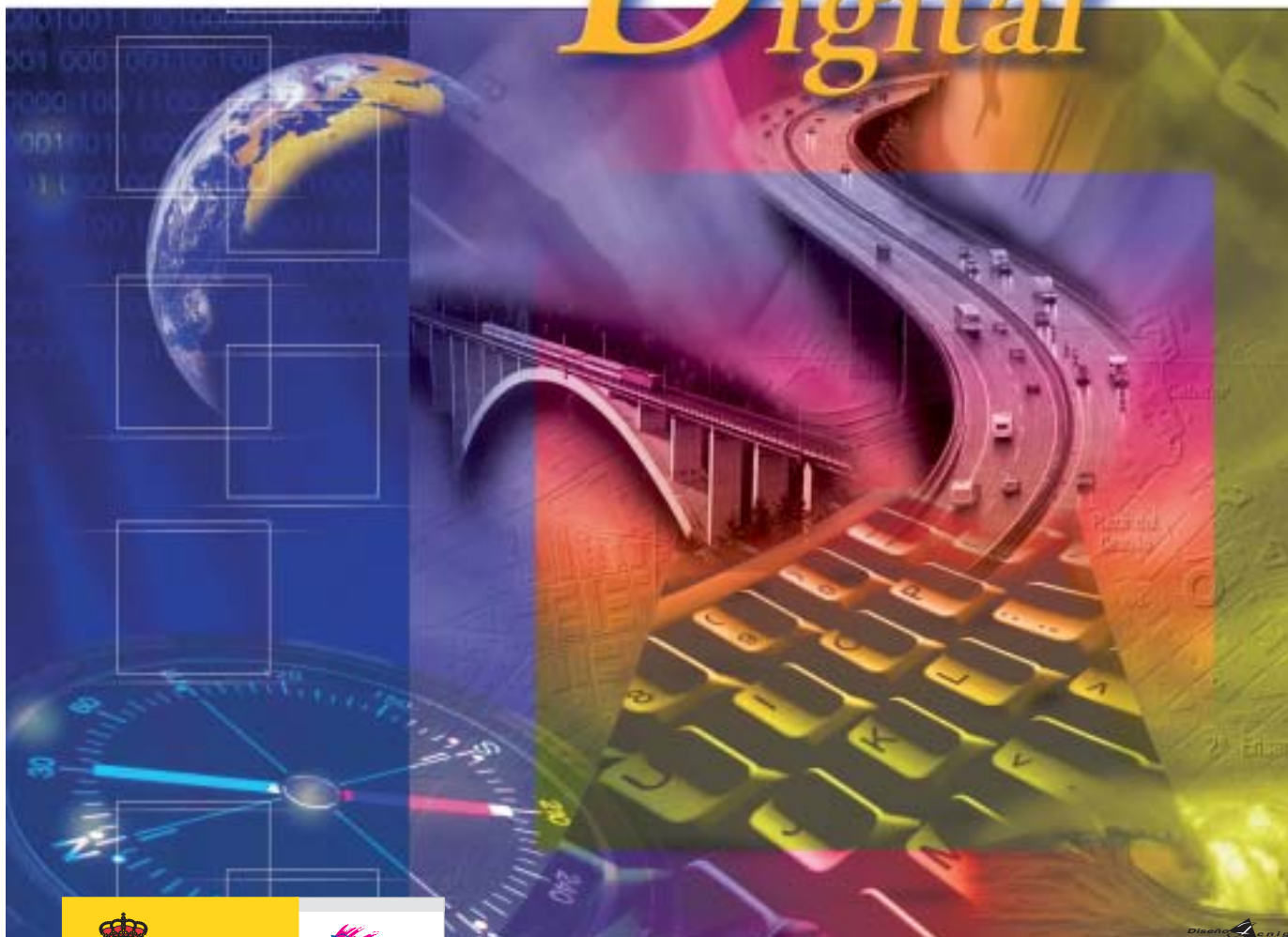


**Trimble**

Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

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

# Cartografía Digital



BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN I 000, 500, 200, 25),  
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),  
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT I 000, 200, 25),  
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,  
MAPA INTERACTIVO DE ESPAÑA, MAPA POLÍTICO DE EUROPA,  
MAPA POLÍTICO DEL MUNDO, CALLEJEROS Y OTROS PRODUCTOS.

Oficina central y comercialización:  
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID  
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 553 29 13  
e-mail: [consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es)