



Nuestra portada:

Medición de movimientos en la grada del Estadio Vicente Calderón durante el partido del Campeonato Nacional de la Liga de Fútbol Profesional de España entre los equipos Atlético de Madrid y Real Madrid

Vol. XXII - N.º 127
Marzo-Abril
2005

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

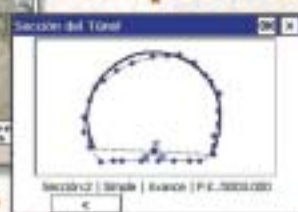


TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE
 INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

Sumario

Georreferenciación directa de imágenes: Calibración de la Unidad de Medida Inercial (IMU) en sensores ópticos	3
Juan G. Rejas, Rubén Martínez, José A. Sánchez y Juan C. Ojeda	
La próxima generación de SIG/LIS: Un Sistema de Información Topográfica integrado en el SIG	12
Michael F. Weir	
Deslindes y Servidumbres: El papel del Ingeniero Técnico en Topografía (y II)	17
Carmen Femenia Ribera y Víctor Soriano Hernández	
Elementos de calibración de una proyección central	24
Javier Múgica de Rivera	
Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA)	30
Antonio Arozarena Villar y Guillermo Villa Alcázar	
Estudio de la influencia de las correcciones geodésicas sobre trabajos topográficos realizados a partir de mediciones clásicas y de GPS	42
Luis García Asenjo, David Hernández y César Llácer	
Altimetría en el Catastro: Integración de los puntos de altitud con los límites de las parcelas	60
Jantien Storter y Ben Gorte	
Novedades Técnicas	68
Vida Profesional	72
Índice Comercial	79

Aplicaciones para Dispositivos Móviles



**Replanteo y Toma de Datos
con GPS y Estación Total**

**Gestión de Dibujos
con potente CAD**

Control de Obras de Túneles

TCP-MDT

Múltiples Superficies

Puntos Inteligentes

Secciones de Autovía

Recorrido Virtual



Edición de Cartografía

Cubicación Rápida

Parcelación



autodesk
authorized developer

Orto3D

Presentaciones realistas de alta calidad

Proyectos de carreteras y urbanización

Estudios de impacto ambiental

Incorporación de cartografía

Animaciones y Videos



**Nueva
Denominación:**

aplitop
Aplicaciones de
Topografía e Ingeniería Civil

C/ Sumatra nº 9, 29190 - Málaga
Tlf: 952-439771
Fax: 952-431371
www.aplitop.com
info@aplitop.com

Georreferenciación directa de imágenes: Calibración de la Unidad de Medida Inercial (IMU) en sensores ópticos

Juan G. Rejas, Rubén Martínez, José A. Sánchez y Juan C. Ojeda
 DEP. DE INGENIERÍA Y MORFOLOGÍA DEL TERRENO (UPM)

Resumen

Lo que se ha venido en llamar Georreferenciación Directa (GD) es ya una realidad para un gran número de aplicaciones de fotogrametría aérea y en la mayoría de las de teledetección aeroportada. La utilización de los parámetros de orientación externa, posición y actitud, medidos por un sistema inercial formado por un receptor GPS y una IMU (Inertial Measurement Unit) ha posibilitado la rectificación de las imágenes adquiridas por distintos sensores ópticos (cámaras matriciales, escáneres lineales de empuje y escáneres lineales de espejo giratorio) y no ópticos (Radar, Lidar) en un proceso automatizado que repercute en los costes y optimización de las campañas de adquisición de datos.

Todo el esfuerzo y tecnología empleados se ven mermados si no se resuelve de manera favorable y precisa, una tarea crítica para la aplicación de los parámetros medidos: el alineamiento de la IMU respecto del sistema de referencia espacial del sensor, actividad conocida como calibración de boresight. En el presente artículo se expone el método habitual de calibración, sus distintas variantes y se plantean los posibles problemas que pueden aparecer al abordarlo.

I. INTRODUCCIÓN

La modelización y caracterización de la geometría de adquisición en sensores de observación de la Tierra, es una tarea fundamental para el uso riguroso y efectivo de estos instrumentos en proyectos de ingeniería y de teledetección en los que se requiera un dato georreferenciado. Para algunos sistemas, como por ejemplo los escáneres de adquisición por barrido, la orientación directa se presenta como la única alternativa eficaz y operativa en el tratamiento geométrico de los datos.

Hacer compatibles la extensión de los fenómenos a analizar y los medios disponibles, conduce necesariamente a optimizar las metodologías empleadas. Por esta razón, los factores que con mayor frecuencia han limitado el empleo de sensores aeroportados han sido el tamaño de la zona a cubrir y los costes asociados. Este hecho ha forzado a lo largo de los últimos años la necesaria automatización de tareas en la captura y proceso de los datos para hacer viables los proyectos de teledetección y fotogrametría, motivando, como ya se ha apuntado, la investigación en georreferenciación directa.

En este sentido, la incorporación en los años 80 y 90 (Ackerman, 1993) del sistema de posicionamiento mundial GPS en los procesos fotogra-

métricos supuso una importante mejora. Se ha mostrado como un sistema eficaz y se ha comprobado su utilidad en aerotriangulación, proporcionando de manera precisa y directa la posición de los centros perspectivos en sensores aeroportados.

A este importante avance se ha unido en los últimos tiempos el considerable cambio cualitativo que ha supuesto el desarrollo de la tecnología inercial, como muestran los artículos científicos aparecidos al respecto. Cabe destacar en este terreno las investigaciones llevadas a cabo por el grupo de trabajo *Integrated Sensor Orientation* de la *European Organization for Experimental Photogrammetric Research* (OEEPE), formado por colaboración de distintos organismos europeos y empresas fabricantes. En 2001 este grupo presentó los resultados de diversas pruebas como respuesta a la madurez alcanzada por la tecnología inercial, en combinación con GPS, en orientación directa de sensores (Colomina, 2001; Heipke, 2001; Schmitz, 2001 entre otros).

Los sistemas de navegación inercial (INS) están compuestos por sensores que miden índices de rotación y aceleración mediante giróscopos y acelerómetros, respectivamente. En la mayoría de las aplicaciones de geomática estos sistemas están asistidos habitualmente por GPS, de tal manera que la posición precisa medida por éste es, mediante un filtro de Kalman, complementada e integrada con las salidas de la IMU, y vi-

ceversa. El GPS proporciona estabilidad y limita errores de deriva de la IMU, mientras que la IMU puede proporcionar alta calidad en trayectoria dinámica, mayor resistencia a imprevistos y permite la readquisición del GPS en caso de pérdidas de ciclos de éste.

Por lo tanto, el interés de estos sistemas en georreferenciación de imágenes es que potencialmente pueden proporcionar de manera directa los parámetros de orientación exterior (POE) de sensores ópticos aeroportados que disponen de una componente óptica acusada en la formación de la imagen (cámaras matriciales y escáneres lineales de empuje y de espejo giratorio). En este artículo no nos referimos, por tanto, a otros sensores de observación de la Tierra, Radar y Lidar principalmente, cuyo diseño no atiende a este esquema y en los que el planteamiento de calibración es sustancialmente diferente.

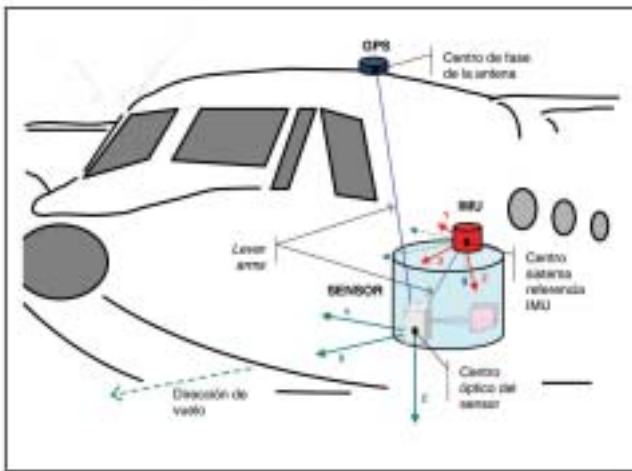


Figura 1. Sistema sensor óptico-IMU-GPS

Para que resulte operativo un sistema de Observación de la Tierra de este tipo, formado por un sensor óptico y un sistema inercial GPS/IMU, es necesario primeramente integrar (analítica y electrónicamente) y calibrar los distintos subsistemas que intervienen. Una de las tareas más críticas es la determinación del alineamiento de la IMU respecto del sensor imagen (calibración de boresight) que consiste en calcular la matriz de orientación del sistema de referencia imagen con respecto al sistema de referencia de la IMU.

2. MODELO GEOMÉTRICO

Al abordar la cuestión de la rectificación de las imágenes adquiridas por un sensor óptico intervienen dos modelos geométricos.

Por un lado, el modelo interno del sensor. Para caracterizar correctamente un sensor hay que definir sus resoluciones (espacial, radiométrica, espectral y temporal) así como su geometría de adquisición. Habitualmente las casas fabricantes realizan la calibración en laboratorio, de

tal manera que con la compra de estos equipos ofrecen los informes correspondientes con la definición de los parámetros de orientación interna (POI) calibrados.

En sensores ópticos los POI básicos que intervienen en la georreferenciación directa de las imágenes son la distancia focal, el punto principal y las distorsiones de las lentes. Además, hay que tener en cuenta el ángulo de visión (*Field of View*, FOV) y el ángulo de visión instantáneo (*Instantaneous Field of View*, IFOV) que definen la cobertura espacial y la máxima resolución espacial del sensor, respectivamente. Otro parámetro interno fundamental son los tiempos involucrados en la formación de la imagen, que van a jugar un importante papel en la integración electrónica del sensor con el sistema inercial GPS/IMU.

Si no se dispone de estos datos, como ocurre en gran parte de los sensores de teledetección y en muchas cámaras no métricas de pequeño formato, será necesario acometer la calibración interna siguiendo diversas estrategias de laboratorio o en un proceso global en las zonas del proyecto.

Otro factor a tener en cuenta es el modelo matemático de rectificación de imágenes. El modelo habitual de georreferenciación directa en sensores ópticos es el de Colinealidad. La dificultad en la modelización produce el propio sensor y radica en la particularización para cada tipo. Es decir, hay que realizar variaciones al modelo básico, más o menos significativas, que permitan adaptarlo al diseño de adquisición propio de cada sensor que, en el caso de escáneres lineales, resulta significativamente diferente al de proyección cónica de las cámaras matriciales.

Una forma general de expresarlo matemáticamente es la siguiente (Müller, 2002):

$$\mathbf{r}_{\text{Objeto}}^m = \mathbf{r}_{\text{Sensor}}^m + s \cdot \mathbf{R}_{\text{Sensor}}^m \mathbf{R}_{\text{Sensor}}^{\text{IMU}} \cdot \mathbf{r}_{\text{Objeto}}^{\text{Sensor}} \quad [1]$$

Donde,

\mathbf{m} es el índice que representa el marco de coordenadas terreno (o cartográfico)

$\mathbf{r}_{\text{Objeto}}^m$ es el vector objeto del punto en la superficie terrestre \mathbf{P}_g en el marco de referencia terreno, que tiene que ser determinado

$\mathbf{r}_{\text{Sensor}}^m$ es el vector del centro de proyección del sensor en el marco de referencia terreno

s es el factor de escala

$\mathbf{R}_{\text{Sensor}}^m$ es la matriz de rotación del sensor en el marco de referencia terreno.

$\mathbf{R}_{\text{Sensor}}^{\text{IMU}}$ es la matriz de rotación entre la IMU y el sensor en el marco de referencia del terreno

$\mathbf{r}_{\text{Objeto}}^{\text{Sensor}}$ es el vector del punto imagen \mathbf{P}_i , medido en píxel, línea.

El futuro:
ahora en sus manos



SISTEMA GPS TRIMBLE R8 PREPARADO PARA LA NUEVA SEÑAL L2C

Durante el 2005 está previsto el lanzamiento de nuevos satélites con señales de transmisión más potentes. Y usted puede estar listo para sacar el máximo partido de las mismas. Esto es posible gracias a la tecnología R-Track de Trimble, que muestra la dedicación de la empresa en nuestro afán de comprometernos con la modernización de la tecnología GPS y ofrecer la máxima capacidad de seguimiento, incluso en los lugares más complicados.

Hoy, puede utilizar el Trimble R8 como solución base o móvil, sin cables, asegurando la máxima rentabilidad en la inversión realizada y disfrutando de una flexibilidad inigualable. Mañana, seguirá capitalizando su inversión y aprovechándose de la avanzada tecnología y durabilidad que sólo proporcionan las soluciones topográficas totales de Trimble.



Trimble Ibérica
Vía Dos Castillas, 33 - Edf. 6
28224 Pozuelo de Alarcón
Madrid
Tel. 91 351 0100
Fax. 91 351 3443

©2005, Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos.
Trimble es una marca comercial de Trimble Navigation Limited
registrada en la Oficina de Patentes y Marcas Comerciales de los
Estados Unidos. SUR 072

 **Trimble**

www.trimble.es

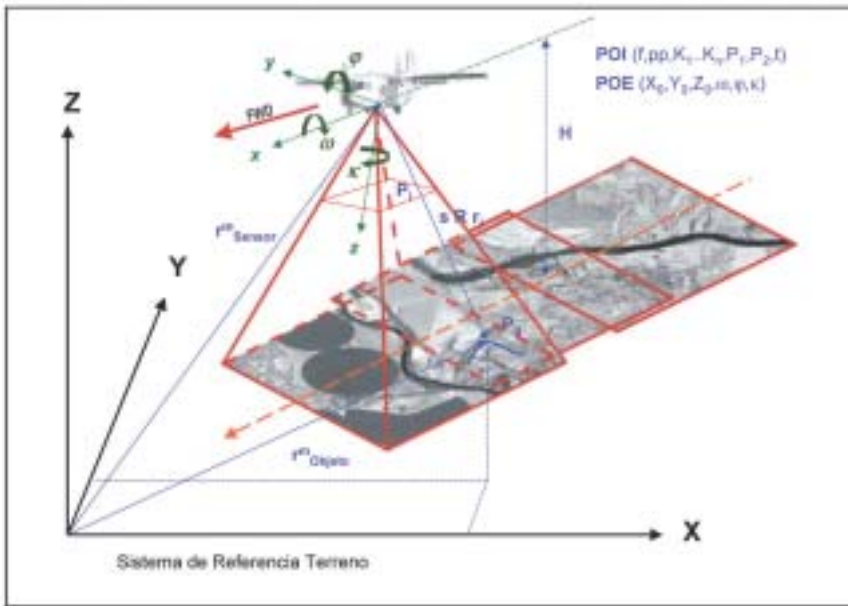


Figura 2. Parámetros involucrados en Georreferenciación Directa

3. CALIBRACIÓN DE BORESIGHT

Se podría pensar que, una vez instalados e integrados electrónicamente cada uno de los componentes sensor-IMU-GPS, se pueden aplicar a las imágenes los parámetros de orientación externa medidos por el sistema inercial. Es obvio que esto no es así. Hay que determinar el término R_{Sensor}^{IMU} de [1] para poder trasladar las aceleraciones y rotaciones que mide la IMU en sus tres ejes cartesianos, al sistema de referencia del sensor.

La dificultad radica en que, si bien el sistema de referencia de la IMU suele estar materializado físicamente, no ocurre lo mismo con el del sensor. Por este motivo, métodos directos de medida, como pudieran ser los basados en taquímetros electrónicos, quedan inhabilitados para ello.

La calibración de *boresight* en aplicaciones aeroportadas se realiza habitualmente sobrevolando un área de prueba en la que están distribuidos puntos de control definidos espacialmente por coordenadas precisas. Las coordenadas imagen son medidas por restituidores analíticos o en estaciones fotogramétricas digitales. En aerotriangulación asistida por GPS se calculan las matrices de rotación para cada imagen, o línea de imagen en escáneres lineales, y se comparan con las matrices de rotación medidas por la IMU. De esta manera se puede determinar la matriz de alineamiento de la IMU respecto al sensor en forma de tres ángulos o parámetros de *boresight*.

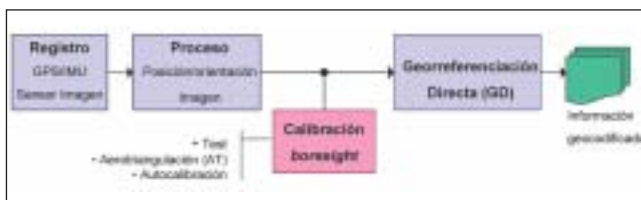


Figura 3. Diagrama general de flujo en GD

3.1. Test empíricos

El diseño de los test es fundamental para la obtención de parámetros contrastables. Hay que tener presente que no sólo la configuración interna del sistema (plataforma-sensor-IMU-GPS) es importante, sino que la propia relación con los condicionantes habituales en una campaña aeroportada (altura de vuelo, temperatura, velocidad, rumbos, derivas aeronáuticas, estado atmosférico, distancia a estación GPS de referencia, etc) influye en el cálculo y estabilidad de los parámetros de calibración (Heipke, 2001; Jacobsen, 2002).

Los test empíricos tienen que ser diseñados teniendo en cuenta las distintas fuentes de error que puedan intervenir y las posibles correlaciones entre parámetros internos y externos que puedan producirse. Los resultados dependen directamente de las particularidades de estos experimentos.

La configuración básica de los test es la siguiente:

- Distintos ejes de vuelo (nos referiremos a ellos de la misma manera como "pasadas") para conformar un bloque de imágenes del sensor que proporcionen individualmente suficientes ecuaciones de observación. El número de pasadas dependerá de la escala de vuelo, pero un número de cuatro se considera un buen compromiso entre los recursos invertidos y la redundancia estadística requerida.
- Imágenes con zonas comunes entre ellas para poder calcular los POE mediante aerotriangulación (AT) y poder aplicar técnicas de *image matching*. Una configuración habitual es la siguiente:
 - Solape longitudinal entre imágenes consecutivas en sensores matriciales mínimo del 60 %.
 - Solape transversal entre imágenes de consecutivos ejes de vuelo mínimo del 20%, siendo conveniente un rango entre 80 y 90% en escáneres lineales.
- Ejes de vuelo perpendiculares para estimar la correlación de los parámetros de *boresight* con los rumbos.
- Ejes de vuelo con rumbos en sentidos contrarios para estimar la correlación entre el punto principal de la imagen y los parámetros de *boresight*.
- Ejes de vuelo a distintas alturas para estimar la correlación entre la focal efectiva del sensor y los parámetros de *boresight*. La relación entre alturas de vuelo depende del sensor, pero una relación que se puede adoptar es $H_{Alta} = 1,5 \times H_{Baja}$ (Saks, 2003).
- Ejes de vuelo sobre una zona de acusado relieve (>15%) para estimar la distorsión de este efecto y la exactitud que se alcanza en su caso.

El diseño básico de los test empíricos se corresponde con ejes de vuelo formando una cruz. En el caso de cámaras matriciales, los vuelos de calibración se aproximarán mucho a vuelos fotogramétricos convencionales, formando un bloque cuadrangular de imágenes. En escáneres lineales, debido a la cantidad de ecuaciones de observación que ofrece en sí misma una única imagen, la configuración de ejes de vuelo en forma de cruz doble (a distinta altura) suele ser satisfactoria.

La zona de test habitualmente la conforman redes de control micro-geodésicas y redes de puntos de apoyo con vértices suficientemente densificados, accesibles e identificables, cuyo cálculo se haya determinado por métodos precisos, bien sea por ajuste de observaciones geodésicas con teodolitos o por técnicas de posicionamiento global GPS. Las precisiones requeridas de estos puntos dependerán de la resolución espacial del sensor y de la escala de vuelo en la calibración, pero usualmente será en torno al centímetro.

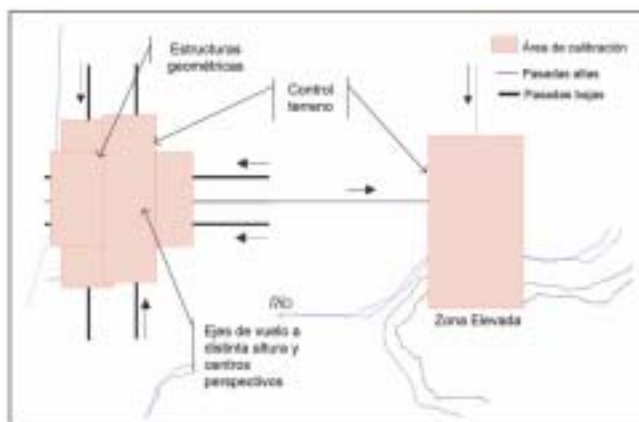


Figura 4. Ejemplo de configuración de vuelo de calibración para distintos tipos de sensores

Los puntos tienen que ser preseñalizados para mejorar el contraste radiométrico con el terreno y facilitar su identificación precisa en las imágenes. Para ello se utilizan dianas de puntería diseñadas para responder

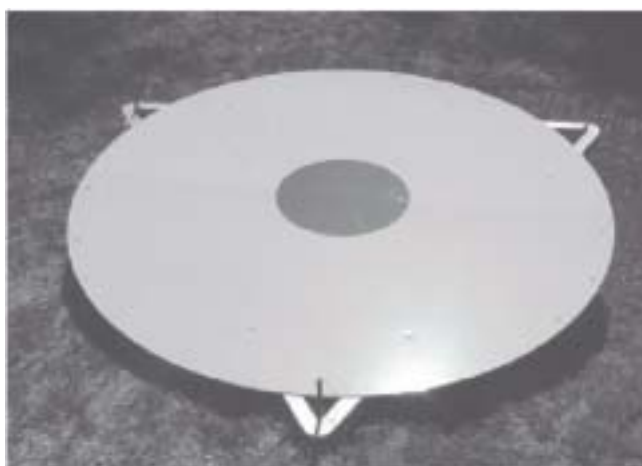


Figura 5. Reflector geodésico utilizado en preseñalización por el Stennis Space Center (NASA) (Pagnutti, 2002)

a las características concretas de los vuelos (Kraus, 1997). Básicamente, se trata de definir las dimensiones y disposición adecuadas en relación con la resolución espacial de las imágenes. A efectos de calibración de *boresight*, lo ideal es obtener señales puntuales de tipo reflectivo (figura 5), que representen uno o pocos píxeles radiométricamente puros en la imagen.

3.2. Cálculo de la matriz de alineamiento

Una vez diseñado y efectuado el vuelo de calibración sobre el área de prueba, se procesan las imágenes y los datos de posicionamiento y orientación cinemáticos a partir de una estación de referencia GPS. Los parámetros de *boresight* son tres incrementos de ω , ϕ , κ , en los tres ejes cartesianos X , Y , Z del sistema de referencia imagen, y, como ya se ha dicho, van a definir la alineación de la IMU respecto al sensor. Para el cálculo de esta matriz se requieren los datos de posición y orientación sin calibrar medidos por el sistema inercial, los parámetros obtenidos en aerotriangulación y la identificación mediante tiempos de las imágenes involucradas. Previamente hay que transformar los ángulos medidos por la IMU en el sistema de referencia de navegación (*roll*, *pitch*, *heading*) a los ángulos de orientación externa (ω , ϕ , κ) en la misma secuencia de giros.

Existen dos alternativas al método: ajustar el bloque de imágenes total y ajustar por pasadas independientes. Lo riguroso para calcular los parámetros de *boresight* es utilizar el ajuste global del bloque, aunque es aconsejable analizar previamente, en pasos sucesivos, los resultados a partir del ajuste por pasadas, con el fin de evaluar la correlación de los parámetros con las variables que intervienen del vuelo (rumbos, alturas de vuelo, etc).

Como resultado se calculan los parámetros de *boresight* ($T\omega$, $T\phi$, $T\kappa$) que se corresponden con la media aritmética de los residuos calculados para cada imagen de cada pasada o con los residuos calculados en un ajuste de bloque.

	$T\omega$	$T\phi$	$T\kappa$
Incremento (min. arc.)	11.132	30.350	-26.229
Desviación estándar (min. arc.)	2.179	1.281	6.791

Tabla 1. Ejemplo de parámetros de *boresight* (Rejas, 2003)

4. PROBLEMAS, POSIBLES SOLUCIONES Y LIMITACIONES

Una vez realizada la calibración, se pueden aplicar, con mayor o menor éxito, los POE medidos y corregidos en la georreferenciación directa de las imágenes. No obstante, es necesario evaluar el resultado de la calibración y minimizar las distintas fuentes de error. La calidad de las coordenadas imagen y la precisión de las posiciones del centro perspectivo derivado del GPS, son factores críticos en el proceso de calibración de *boresight*.



Figura 6. Ortoimagen de cámara digital sin calibrar y con calibración de boresight (Rejas, 2003)

4.1. Distancia de la estación GPS de referencia

En el segundo aspecto, un factor importante es la distancia de la estación de referencia GPS. Cuando se resuelven trayectorias alejadas se observa una correlación entre la corrección diferencial GPS con el efecto ionosférico, no previsible en principio y dependiente de las condiciones atmosféricas del momento en la estación de referencia y en el receptor móvil. El retardo producido por el paso de la señal GPS a través de la ionosfera es la principal fuente de error en el posicionamiento cinemático relativo, por lo que esta fuente de error se minimiza disponiendo la estación de referencia a menos de 50 km de la zona de calibración, o calculando una estación de referencia virtual a partir de varias reales.

4.2. Correlaciones con parámetros internos

En la calidad de las coordenadas imagen medidas influye, además del método y calidad de la estación fotogramétrica, evidentemente la calibración interna del sensor. La solución a este problema es ajustar (o estimar en el caso de que no existan) los POI del sensor, o realizar auto-calibración por parámetros adicionales a la vez que se calcula el alineamiento de la IMU-sensor:

Otro de los efectos a analizar es la correlación entre los parámetros internos del sensor y los de *boresight*. Resultados anteriores muestran una alta correlación existente entre desplazamientos del punto principal y los ángulos ω y φ (Schmitz, 2001). Así mismo, la incertidumbre en la orientación interna de los distintos sensores produce errores en el cálculo de aerotriangulación, que son asumidos pero no corregidos en la determinación de la matriz de alineamiento. La mayor desviación estándar que se suele obtener en k es consistente con la peor estabilidad del monta-

je de la IMU en la dirección de vuelo, si la secuencia de giros se corresponde con esta configuración. Esta cuestión hace considerar la instalación de la IMU en línea de la dirección de vuelo como mejor opción.

Las condiciones internas de los sensores en el laboratorio no son las mismas que durante el vuelo. En este sentido y en relación con la distancia focal en sensores ópticos, la altitud en vuelo produce que las condiciones térmicas sean distintas fuera y dentro del avión, hecho que afecta en forma de deformaciones en las lentes. Una manera de caracterizar este efecto es realizar los vuelos de calibración a distintas alturas y calcular las distancias focales efectivas para ellas.

4.3. Influencia del Datum y derivas

Para los test empíricos hay que considerar la distancia del meridiano de referencia en la proyección cartográfica de trabajo. En una escala local en el sistema UTM de 1 : 0,99975, el desplazamiento se traduce en 40 cm para una escala de imagen de 1 : 10.000 (Jacobsen, 2002). Resultados previos aconsejan una calibración determinada, con imágenes de la misma escala, en el área de pruebas, de tal manera que el desplazamiento en el centro de proyección es compensado por el desplazamiento de Z . Si la calibración de *boresight* se realiza en una localización con una diferente distancia de meridiano de referencia o con diferente escala imagen a la zona del proyecto, habrá que tener presentes el desplazamiento debido a la proyección.

Existe una fuente de error en la medida de la altitud que no es consecuencia de los sensores, sino de la plataforma. Dependiendo de las condiciones de los vuelos, el efecto de derivas aeronáuticas será más o menos evidente. Podría ser el caso de si se desactivan las plataformas gi-



•ANEBA Barcelona•
barcelona@aneba.com
Tel. (+34) 933 633 820
Fax. (+34) 933 633 821

•ANEBA Madrid•
madrid@aneba.com
Tel. (+34) 913 287 146
Fax. (+34) 913 287 147

POCKET CARTOMAP 4

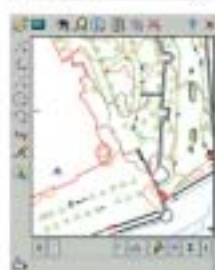
Pocket CARTOMAP ofrece una nueva dimensión para el trabajo en campo, proporcionando la información precisa y necesaria in situ para el desarrollo de las tareas de topografía, mejorando la velocidad e incrementando la calidad. Evita que se produzcan situaciones en las que las tomas de datos incompletas o con errores obliguen a posteriores trabajos adicionales y costosos.

Pocket CARTOMAP, para Windows CE y Pocket PC 2004, engloba todas las ventajas de las que dispone *CARTOMAP*, pudiendo conectarse a diferentes instrumentos (GPS, estaciones totales,...) ofreciendo la mejor solución en campo para Topografía, Ingeniería Civil y GIS, haciendo uso de la mejor interface de usuario para Pocket PC y Tablet PC.

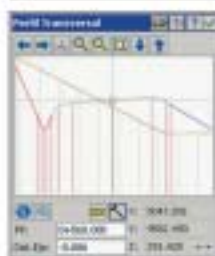
Pocket CARTOMAP está avalado por los catorce años de experiencia de ANEBA, fabricantes de *CARTOMAP*, que cuenta con miles de usuarios en todo el mundo, lo que refleja su sencilla utilización y la disponibilidad de las funcionalidades más avanzadas del mercado.



Adquisición de datos



Dibujo automático en campo.



Replanteo y control de calidad.



Consulta y actualización de GIS.



Captura de datos
Topografía analítica de campo
Modelo Digital del Terreno
Isolíneas
CAD 2D/3D
Croquis automático asociativo
Perfiles longitudinales
Perfiles transversales
Rasantes
Replanteo
Control de calidad
Secciones tipo
Shapefiles & ODBC
GIS
y mucho más...

roestabilizadas sobre las que habitualmente suelen ir instalados los sensores, entonces éstos tendrían un movimiento libre respecto de la plataforma aérea que se vería afectado por las derivas, y que es necesario corregir.

Una dificultad añadida a la hora de calibrar la IMU en escáneres lineales, bien sean de empuje o de barrido por espejo giratorio, es la aerotriangulación. Las características de adquisición de imagen en estos equipos dificulta el cálculo de los POE para cada línea o conjunto de líneas de imagen a partir de aerotriangulación. Inevitablemente hay que acudir a técnicas de *image matching* para resolver el problema en este tipo de sensores.

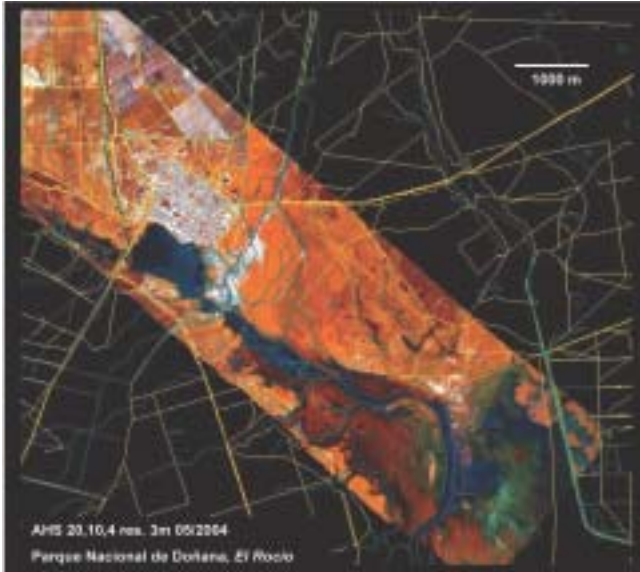


Figura 7. Imagen hiperespectral del sensor AHS georreferenciada directamente a partir de GPS/IMU (INTA-IGME)

5. ESTABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN

Las pequeñas variaciones en los distintos montajes pueden tener como consecuencia la aparición de pequeños incrementos en los parámetros de calibración de *boresight*. Estas variaciones se incorporarían en el posterior proceso de datos e incidirían en la precisión final de la ortorrectificación de las imágenes si no se tuviesen en cuenta. El objeto de evaluar la estabilidad de estos parámetros responde a ello.

Las discrepancias en la instalación antes y después del vuelo sobre el área del proyecto no son significativas, pero pueden aportar una buena información sobre la fiabilidad del montaje dependiendo de la situación. Sin embargo, sí hay dos causas que influyen de manera decisiva en la separación entre las soluciones de distintas calibraciones de *boresight* para vuelos en teoría iguales:

- Por un lado, la IMU habitualmente no es solidaria con los sensores, debido a que no se ha diseñado así en su construcción. Hay que decir

que, en el diseño de la nueva generación de sensores se está contemplando que la IMU sea un módulo compacto en la carcasa del sensor.

- Las condiciones reales de vuelo y el montaje de la IMU fuera del sensor provocan que se produzcan exposiciones a las turbulencias mecánicas.

El estudio de la estabilidad a largo plazo del alineamiento de la IMU respecto al sensor es una cuestión abierta. Un cambio en *pitch* o *roll* de $0,02^\circ$ se corresponde con 53 mm y ese cambio en *yaw* se corresponde con 40 μm en una imagen tomada con una cámara gran angular (Jacobsen, 2002; Heipke, 2001). Esto significa que pueden ser aceptadas estas condiciones para algunos proyectos en los que el objetivo sea generar ortoimágenes, pero no para la mayoría de los proyectos fotogramétricos con requerimientos de precisión elevados.

Hay que decir, no obstante, que la estabilidad dependerá también de los requisitos de precisión del proyecto. En proyectos de teledetección las variaciones temporales de los parámetros de *boresight* no suelen ser críticas. En los sensores habitualmente empleados en estas aplicaciones, escáneres lineales, los requerimientos de precisión son función principalmente de dos parámetros: la resolución espacial y el IFOV. La inestabilidad temporal de los alineamientos de la IMU respecto de los sistemas de referencia de estos sensores para las mismas instalaciones, no suele sobrepasar las tolerancias definidas en base a los dos parámetros mencionados. En cualquier caso, una estrategia adecuada puede ser la disposición de una zona de pruebas próxima al aeropuerto de salida, para un vuelo de calibración básico (dos pasadas) previo a cada toma de datos en un proyecto.

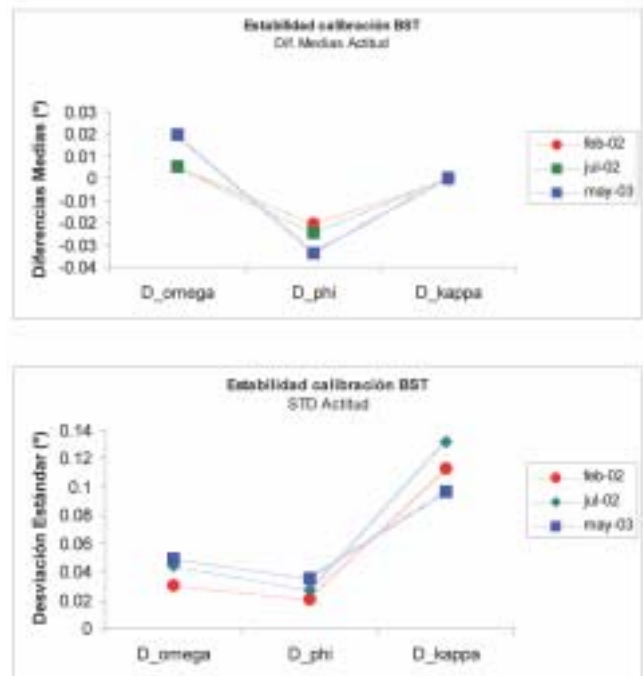


Figura 8. Ejemplo de estabilidad de los parámetros de *boresight* (INTA)

6. CONCLUSIONES

La calibración de la IMU respecto a un sensor óptico (calibración de boresight) resulta crítica en la orientación directa de sensores de observación de la Tierra basados en sistemas inerciales GPS/IMU. La georreferenciación directa de imágenes que se deduce de este tipo de orientación es muy dependiente del resultado de la calibración. Cuando estos resultados son satisfactorios, la georreferenciación directa resulta precisa en un nivel suficiente para muchas de las aplicaciones de fotogrametría aérea y de la mayoría de las de teledetección aeroportada.

La aplicación de los datos de posición y orientación medidos por sistemas inerciales, una vez calibrados, permite la generación en procesos automatizados, de ortoimágenes, cuestión que supone un avance significativo en la viabilidad de los proyectos en los que las campañas aeroportadas de adquisición de datos jueguen un importante papel.

Para finalizar, una reflexión ante una perspectiva futura. La condición necesaria de automatizar los procesos de adquisición y análisis de datos en aplicaciones de prospección a partir de imágenes, requiere inevitablemente de una orientación directa a partir de parámetros externos que permitan detectar y proyectar el elemento de interés o "tema" en mapas. En este sentido será necesario controlar todas las fuentes de error en un análisis multidisciplinar y establecer metodologías encaminadas a minimizar los costes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen sinceramente al Departamento de Observación de la Tierra, Teledetección y Atmósfera del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) por proporcionar los datos para la elaboración de este artículo.

Así mismo, muestran su agradecimiento al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) por facilitar la imagen hiperespectral del Parque de Doñana, adquirida en base al convenio de colaboración IGME-INTA/04.

REFERENCIAS

- Ackermann F., Schade H., 1993. *Application of GPS for aerial triangulation*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 59, No. 11, pp. 1625-1632.
- Alamús A., Talaya J., Colomina I., 1999. *The SISA/0: ICC Experiences in airborne sensor integration* Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4: Sensors and Mapping from Space, Hannover, September 27-30.
- Colomina I., 2001. *Modern sensor orientation technologies and procedures* Proceedings of the OEEPE Workshop "Integrated Sensor Orientation".
- Cramer, M., 2003. *Integrated GPS/inertial and digital aerial triangulation - recent test results*. D. Fritsch, ed., 'Photogrammetric Week '03, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 161-172, 2003.
- Heipke, C., Jacobsen, K., Wegmann, H., 2001. *The OEEPE Test on Integrated Sensor Orientation - Results of Phase I*. Fritsch/Sp (Eds.), Photogrammetric Week. Wichmann Verlag, pp: 195-204.
- Jacobsen Karsten., 2002 *Calibration aspects in direct georeferencing of frame imagery*. Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale, ISPRS Comission I, 10-15 November 2002, Denver, CO USA.
- Kraus, Karl., 1997. *Photogrammetry. Volume I. Fundamentals and Standar Procesess*. Edit. Dummler/Bonn, 6th Edition.
- Lerma, José Luis, 2002. *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. ISBN: 84-9705-210-2, 2002.
- Mostafa M., 2002. *Camera/IMU Boresight Calibration: New Advances and Performance Analysis*. Proceedings of the ASPRS Annual Meeting, Washington, CD, April 21-26.
- Müller R., Lehner M., Müller R., Reinartz P., Schroeder M., and Vollmer B. *A program for direct georeferencing of airborne and spaceborne line scanner images*. Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale, ISPRS Comission I, 10-15 November 2002, Denver, CO USA. 2002
- Pagnutti M., Holekamp K., Ryan R, Blonski S., Sellers R, Davis B. and Zanon V., 2002. *Measurement sets and sites commonly used for characterization*. Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale, ISPRS Comission I, 10-15 November 2002, Denver, CO USA.
- Rejas, J. G., Gutiérrez de la Cámara, O., Callejo P. y Gómez, J. A., 2003. *Experiencias en la integración de los sensores multispectrales aeroportados AMDC y Daedalus 1268 con un sistema GPS/INS*. Sesiones Técnicas, 5^ª Semana de Geomática. Barcelona.
- Saks T., Tempelmann U., Hinsken L., Recke U. 2003. *ADS40 Calibration & Verification Process*. International Workshop ISPRS, Theory, Technology And Realities Of Inertial / GPS Sensor Orientation. Barcelona.
- Schmitz, M., Wübbena, G., Bagge, A., Kruck, E., 2001. *Benefit of Rigidorous Modeling of GPS in Combined AT/GPS/IMU-Bundle Block Adjustment*. Proceedings of the OEEPE Workshop "Integrated Sensor Orientation". ■

La Próxima Generación de los SIG/LIS: Un Sistema de Información Topográfica integrado en el SIG

Michael F. Weir

Resumen

La tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica) ha evolucionado hasta tal punto que los sistemas SIG pueden utilizar las coordenadas de posición levantadas con mucha precisión (los datos que los topógrafos suministran). Además de todo ello, permite la posibilidad de almacenar las mediciones topográficas en la base de datos de un SIG, efectuar cálculos y ajustes topográficos sobre las mediciones incluidas en un SIG, representar las posiciones topográficas levantadas como una nueva capa de información integrada en el diseño de los mapas, establecer vínculos entre los elementos del SIG y las coordenadas de las posiciones determinadas a partir de los cálculos de las mediciones topográficas, vincular, mover y encajar los elementos del SIG en sus posiciones levantadas topográficamente, digitalizar nuevos elementos a partir de dichas posiciones y, finalmente, evaluar la precisión de los elementos del SIG a partir de los resultados de los datos calculados en el levantamiento topográfico, en un SIG/LIS integrado.

Dentro de lo que es la aplicación integrada y unificada, los datos de las mediciones del levantamiento topográfico se cargan en el SIG, donde se almacenan y, dentro del mismo, se efectúan cálculos y ajustes. Esta nueva tecnología representa la próxima generación de SIG/LIS, en donde los datos del levantamiento topográfico se almacenan como proyectos dentro del Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional del SIG y se contemplan como otra capa de información dentro del entorno cartográfico del SIG. Finalmente, tanto el topógrafo como cualquier otro ingeniero tienen la oportunidad de construir un Sistema de Información Topográfica dentro del propio SIG

Abstract

GIS technology has evolved to the point where GIS systems can finally take advantage of accurately surveyed locations (the data surveyors provide). The ability to store survey measurements in a GIS database, perform survey computations and adjustments on the measurements within the GIS, the ability to represent the surveyed locations as a new layer integrated into the same map drawing environment, the ability to link existing GIS features to the coordinate locations determined from the resolved survey measurements and computations, the ability to then link, snap and move the GIS features to their surveyed location, the ability to digitize new features from surveyed locations, and finally the ability to evaluate the accuracy of existing GIS features from the computed survey data results in an integrated GIS/LIS.

Within a unified application environment survey measurement data is loaded into, stored, computed and adjusted within the GIS. This new technology represents the next generation GIS/LIS where Survey Data are stored as projects within the GIS's RDBMS and viewed as another layer within the GIS mapping environment. Finally, there is an opportunity for the surveyor and engineer to build a "Surveys Information System" within the GIS.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de integrar los datos de los levantamientos topográficos en un SIG, permitiendo a su vez la mejora de la calidad espacial del SIG, ha sido patente desde hace tiempo. El digitizar, escanear e incluso emplear la Geometría de las Coordenadas (COGO) para crear los elementos de un SIG, generalmente nos conduce a unos niveles o capas de información espacial de menor precisión que el material fuente. Si nuestra meta fuera

mejorar la calidad espacial de las capas de información del SIG, deberíamos comenzar mejorando la integración de los datos fuente en dicho SIG. En nuestro caso, los datos fuente son los datos procedentes de los levantamientos topográficos, es decir, procedentes de las mediciones topográficas.

El resultado de construir un sistema de este tipo, es decir, un sistema híbrido de integración de los levantamientos topográficos en un SIG, constituiría un nuevo sistema de información; un Sistema de Información To-

pográfica integrado en un SIG. Para construir algo de este tipo necesitamos diseñar un sistema que incluyera:

1. La tecnología SIG más actual, es decir, que empleara las operaciones más avanzadas sobre los datos espaciales almacenados en los modernos Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales, para la gestión de los mismos, así como para la edición, análisis y obtención de cartografía a partir de estas bases de datos.
2. Herramientas en el propio Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional, para la integración y gestión de la información de los levantamientos topográficos, como, por ejemplo, puntos del levantamiento topográfico, mediciones, cálculos y coordenadas.

Este sistema requiere un nivel de integración que aproveche las herramientas de proceso de datos espaciales disponibles en un sistema SIG basado en un Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional, al tiempo que soporte la integración de los datos de las mediciones topográficas en un conjunto espacial continuo. Este conjunto espacial continuo permite efectuar la gestión de los datos espaciales, junto con su análisis, y hacer cartografía dentro del marco de trabajo del propio SIG (figura 1).

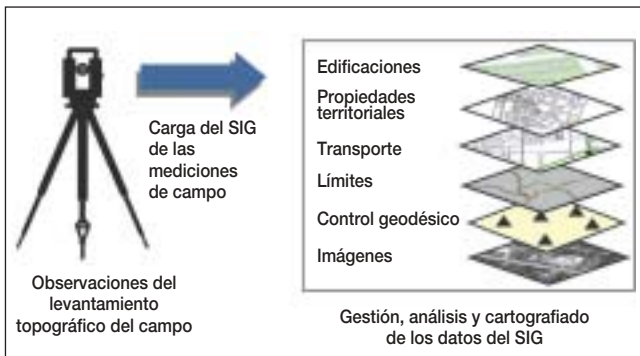


Figura 1

2. FLUJO DE TRABAJO MEJORADO CON UNA MEJOR INTEGRACIÓN

2.1. Flujo de trabajo actual (figura 2)

En la actualidad, los sistemas de levantamientos topográficos existen para efectuar observaciones de campo y para calcular y ajustar los levantamientos topográficos a partir de las mediciones topográficas, como, por ejemplo, en un itinerario. Los resultados de este proceso (la información de las posiciones levantadas topográficamente) se introducen en otro sistema para su diseño y cartografiado, a menudo con procedimientos COGO. Los datos y mapas resultantes de este proceso se exportan a continuación a un formato que pueda ser empleado en el SIG. Muchos de los SIG actuales pueden importar directamente los datos de un CAD (Diseño Asistido por Ordenador) para su análisis y cartografiado.

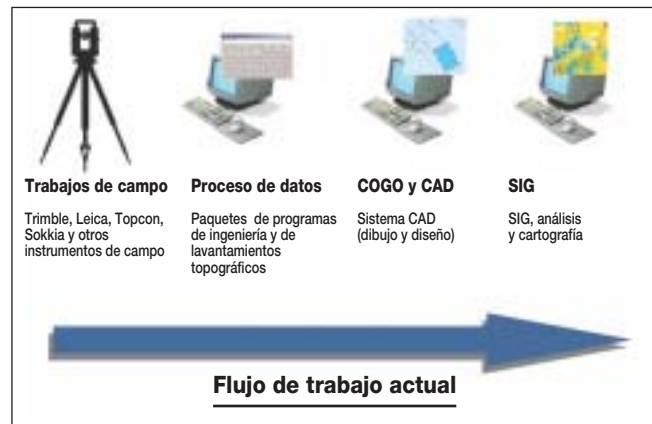


Figura 2

Las deficiencias en el flujo de trabajo del sistema expuesto en la figura estriban en que no existen vínculos entre la primera fase (mediciones de campo) y el producto cartográfico final del SIG. Esto es problemático a la hora de efectuar un nuevo levantamiento topográfico, o si se determina un nuevo valor en alguno de los puntos del levantamiento topográfico que sirvieron para el diseño, dentro de un nivel o capa de información cartográfica del SIG. La actual metodología requiere que para actualizar el SIG o algún elemento del mapa se repita todo el proceso.

2.2. Flujo de trabajo del SIG/LIS de la próxima generación (figura 3)

La próxima generación de SIG/LIS integra el proceso del levantamiento topográfico junto con el proceso cartográfico del SIG en un mismo entorno operativo, facilitando así las mejoras del flujo de trabajo y permitiendo la actualización de los datos espaciales de los levantamientos topográficos, así como la de las capas de información de los datos del SIG.



Figura 3

3. COMPONENTES DEL SISTEMA

3.1. Modelo de datos - mediciones y características del SIG

3.1.1. El modelo de datos del levantamiento topográfico consta de cuatro tipos de datos

Estos cuatro tipos de datos son: puntos, mediciones, cálculos y coordenadas. Los sistemas modernos de mediciones topográficas permiten la captura de los datos de las mediciones y la reducción de las mismas al plano del levantamiento topográfico. Una vez que el levantamiento topográfico se ha calculado y ajustado, se determinan las coordenadas finales de los puntos levantados. En la mayoría de los casos, el levantamiento topográfico conduce a un posicionamiento preciso, tanto de los elementos naturales como de los artificiales. A menudo, estos elementos del levantamiento topográfico representan a elementos incluidos en alguna capa de información del SIG.

El modelo de datos topográfico incluye asimismo una red de levantamientos topográficos, tales como itinerarios o poligonales. Las redes de levantamientos topográficos se modelan mediante cálculos asociados. La parte de los trabajos de campo del itinerario consta de la serie de estaciones, con sus datos instrumentales y las mediciones desde ellas efectuadas. La red total del levantamiento consta de las mediciones junto con los cálculos y los ajustes.

Cualquier modificación efectuada en la red (de las mediciones o de las coordenadas de puntos conocidos) ocasiona que se tenga que recalcular, con la nueva información, la totalidad del levantamiento topográfico. A menudo, los nuevos cálculos dan origen a unas nuevas coordenadas de las estaciones del itinerario. Esto, a su vez, ocasiona cambios en las otras redes de levantamientos topográficos relacionadas con la original y que se encuentran en zonas dependientes de los puntos recién ajustados. Cualquier nuevo sistema de información de topográfica debe de modelar los cálculos de las redes.

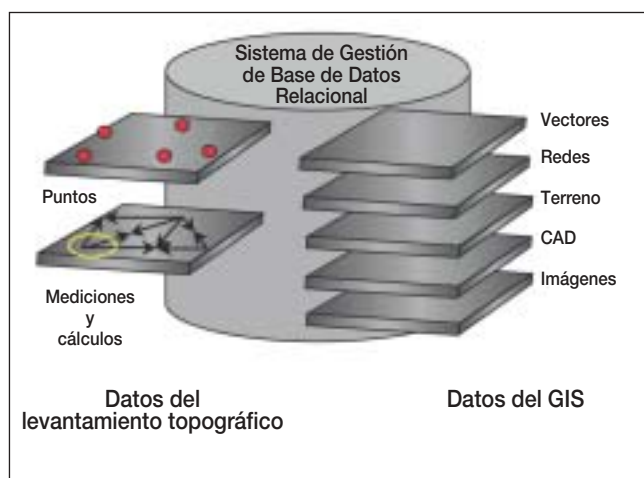


Figura 4

3.1.2. Los nuevos modelos de datos producen datos inteligentes que son almacenados dentro de los modernos Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales

Los elementos del SIG se almacenan por capas de información dentro de un Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional del tipo Oracle, Informix, DB2, SQL Server o Microsoft Access. El software del SIG ofrece las herramientas para editar los datos del mismo y para efectuar determinadas funciones de análisis y cartografiado con los datos almacenados dentro del Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional.

Los datos del SIG se almacenan sobre distintas capas de información temática, tales como carreteras, parcelas, agua, alcantarillado, límites municipales, etc. Las capas de información temática se crean, editan y operan generalmente de forma separada, empleando el software del SIG. Los SIG permiten a los usuarios emplear modelos muy potentes, tales como los de elección de emplazamientos y de modelos de adecuación, así como efectuar análisis demográficos y realizar todo tipo de mapas. Los SIG modernos están adaptados de una forma ideal para servir como plataformas desde las que hacer una producción cartográfica de calidad.

3.2. Gestión de los datos: Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales

El Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacional es como el contenedor que almacena y gestiona los datos del SIG y los datos del levantamiento topográfico, en un medio conjunto integrado (figura 4). El software del SIG aporta las herramientas que permiten operar sobre los datos almacenados en el Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional.

3.2.1. Trabajando con los datos de un levantamiento topográfico

El sistema SIG ofrece unas herramientas que permiten cargar en el sistema los datos sin tratar. Estos datos pueden adoptar la forma de archivos digitales procedentes de sistemas de posicionamiento totales, tales como los sistemas Trimble, Leica Geosystems, Sokkia, Topcon y otros. Otros formatos de datos incluyen ASCII y los cálculos COGO (datos de mapas y planos).

Dentro de la base de datos, éstos se cargan dentro de un Grupo de Datos Topográficos y, para acomodarse al flujo de trabajo, los grupos de datos se dividen en proyectos (figura 5).

Los cálculos del levantamiento topográfico se efectúan sobre los datos dentro de los proyectos de levantamiento topográfico, con el fin de resolver los cálculos de la red de levantamientos topográficos y calcular las coordenadas de los puntos levantados. Los resultados pueden visualizarse desde el entorno cartográfico del SIG y pueden ser editados por éste (figura 6).

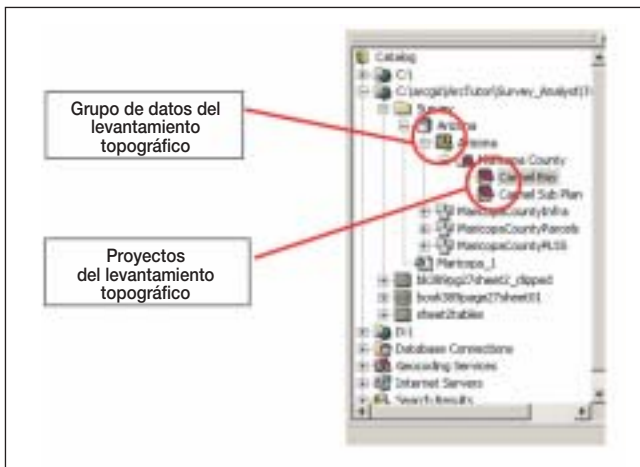


Figura 5

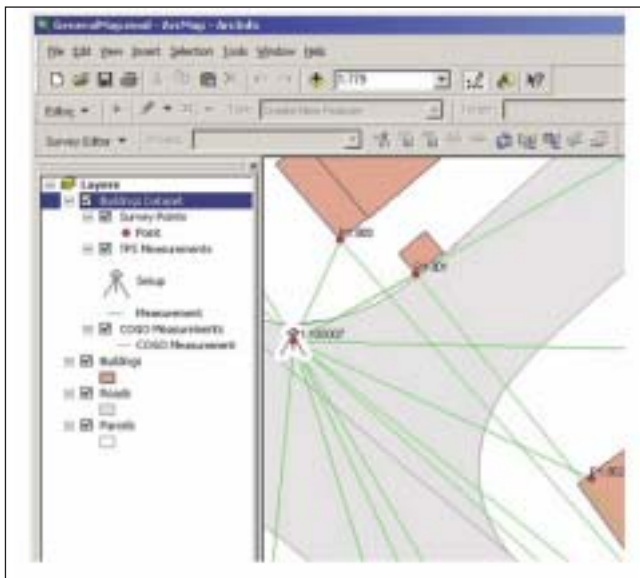


Figura 6

3.2.2. Trabajando con los datos del SIG

Las capas de información del SIG se visualizan desde el entorno cartográfico del SIG. A continuación, se comienza una sesión de edición, para editar los elementos incluidos en las capas de información del SIG, empleando los datos del levantamiento topográfico. Dentro de este entorno de edición del SIG, se suelen realizar operaciones tales como la actualización de elementos ya existentes o la creación de nuevos elementos a partir de puntos del levantamiento topográfico.

3.2.2.1. Establecer vínculos con los elementos del SIG

Dentro del entorno de edición del SIG, los elementos del mismo se vinculan con los puntos del levantamiento topográfico. Se establecen vínculos entre los elementos del SIG y los puntos del levantamiento topográfico que representan a ese mismo elemento sobre el terreno. Estos vínculos se almacenan en la geometría de los elementos del SIG y señalan los puntos de los levantamientos topográficos contenidos en las capas de información correspondientes al levantamiento topográfico (figura 7).

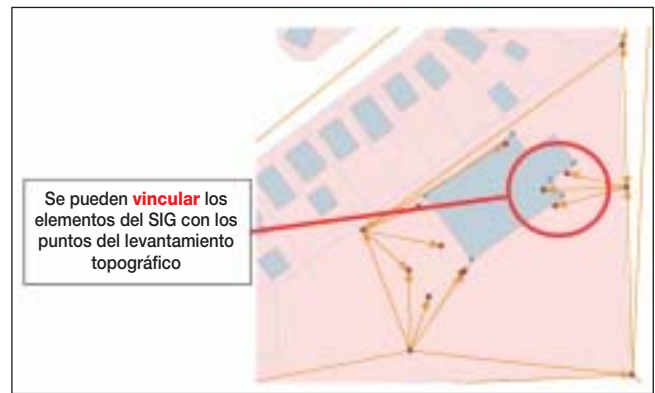


Figura 7

lan los puntos de los levantamientos topográficos contenidos en las capas de información correspondientes al levantamiento topográfico (figura 7).

3.2.2.2. Encaje de los elementos del SIG

Una vez que un elemento ha sido vinculado a un punto del levantamiento topográfico, puede desplazarse por el espacio de coordenadas hasta situarse sobre dicho punto (figura 8). Esto representa una mejora en la geometría de los elementos, es decir, una mejora de la calidad espacial. El mover un elemento del SIG hasta el correspondiente punto del levantamiento topográfico, permitirá que el SIG determine la calidad espacial del elemento basándose en la información del punto de levantamiento topográfico. La desviación típica de la posición del punto del levantamiento topográfico se aplica al elemento del SIG.



Figura 8

3.2.2.3. Visualización de la información de la elipse de errores

La desviación típica de la posición calculada a partir de los puntos del levantamiento topográfico puede visualizarse como una información de la elipse de errores (figura 9). Si el elemento del SIG ha sido encajado con respecto al punto del levantamiento topográfico, la información de errores de los elementos del SIG es la misma que dicho valor en los puntos del levantamiento topográfico.

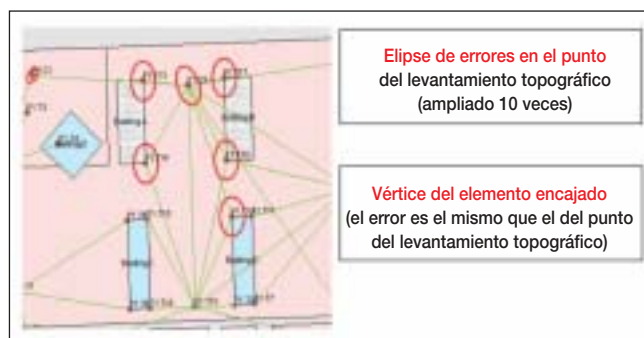


Figura 9

3.2.2.4. Digitización de los elementos del SIG

La visualización de los puntos del levantamiento topográfico dentro del entorno de edición del SIG, permitirá que se capturen nuevos elementos del SIG, digitizándolos directamente a partir de los puntos del levantamiento topográfico (figura 10). Esto representa una sustancial mejora en la captura de datos.



Figura 10

3.3. Integración de los cálculos topográficos y el entorno COGO

Las operaciones topográficas se realizan dentro del marco de trabajo del SIG. Los cálculos topográficos se refieren tanto a los cálculos topográficos estandarizados como a los ajustes topográficos necesarios para resolver y calcular los levantamientos topográficos. Los cálculos engloban a:

- Cálculos COGO básicos: XY del punto, ΔX - ΔY , direcciones y distancias, deflexiones y ángulos
- Intersecciones COGO: Dirección-Dirección-Intersección, Dirección-Distancia-Intersección, Distancia-Distancia-Intersección
- Curvas COGO: Curva Circular, Curva de Acuerdo
- Cálculos avanzados COGO: Itinerario, Estación, Discrepancia
- Cálculos topográficos: Taquimetría, Itinerarios, Ajustes, Resección, Estaciones Libres.

3.4. Funciones del SIG y de Cartografía

En este entorno se pueden emplear las funciones de cartografía del SIG y la capa de información de la topografía se convierte en una capa básica de datos, representada como información topográfica dentro del en-

torno del SIG. Esto nos ofrece un marco de trabajo continuo para mediciones y se emplea para mejorar la calidad de las capas de información del SIG. En este entorno de trabajo, las actualizaciones de los datos se capturan en el campo, se cargan en la bases de datos del SIG, se calculan empleando métodos de cálculos topográficos de última generación y se vinculan con los elementos del SIG para editar y actualizar las capas de información del mapa base.

Este sistema es el idealmente adecuado para:

- Un Sistema de Información de levantamientos topográficos
- El Catastro Polivalente
- La cartografía y la producción de mapas
- El análisis de SIG
- Registros de levantamiento topográficos
- Diseño de ingeniería.

3.5 Los beneficios que esto supone para los topógrafos residen en la posibilidad de:

- Gestionar los datos de los levantamientos topográficos en un Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional dentro de un SIG.
- Construir un Sistema de Información Topográfica.
- Organizar los datos de los levantamientos topográficos bajo la forma de proyectos.
- Calcular las coordenadas del SIG a partir de las mediciones topográficas.
- Entrar más a fondo en la "arena" de los SIG.

3.6 Los beneficios para los profesionales de los SIG residen en la posibilidad de:

- Mejorar la calidad espacial de las capas de información del SIG.
- Poder establecer vínculos entre los elementos del SIG y los puntos del levantamiento topográfico.
- Encajar los elementos del SIG en los puntos del levantamiento topográfico.
- Digitizar nuevos elementos a partir de los puntos del levantamiento topográfico.
- Evaluar la precisión de los elementos actualizados basándose en la información de la elipse de errores de los puntos del levantamiento topográfico.

BIBLIOGRAFÍA

- Elke Utler. *Arc Survey A Data Model for Land Survey*. November 17, 1999.
- ESRI Press. *Using ArcGIS Survey Analyst*.
- ESRI Technical Paper. *ArcGIS Survey Analyst concepts*. October 2002.
- Leica-Geosystems y ESRI Technical Paper. *A White Paper for Managers of Survey Information Systems*. March 15, 2000. ■

Deslindes y servidumbres. El papel del Ingeniero Técnico en Topografía (y II)

Carmen Femenia Ribera

INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA / INGENIERO EN GEODESIA Y CARTOGRAFÍA

Víctor Soriano Hernández

INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

3. SERVIDUMBRES

3.1. Definición

La **servidumbre** se presenta como un derecho real, recae sobre una cosa ajena (es imposible la servidumbre sobre cosa propia), es inseparable de la finca a la que pertenece y consiste en la facultad de utilizar dicha cosa y de servirse de ella de una manera más o menos plena. En otros casos es la facultad de impedir determinados actos que el dueño de la cosa podría llevar a cabo en ella en el uso de su libertad.

Las servidumbres son cargas impuestas sobre fundos en provecho de otros, de tal modo que los propietarios o poseedores vienen como en segundo término. Por otra parte, como restringen en más o en menos la libertad del propietario, no se conciben servidumbres que no produzcan alguna utilidad, siendo la finalidad de las servidumbres lograr un mejor aprovechamiento funcional y económico de las cosas.

La definición más precisa de **servidumbre** es la que da el Código Civil, en su **artículo 530**, que la define como un "gravamen impuesto sobre un inmueble en beneficio de otro perteneciente a distinto dueño ... El inmueble a cuyo favor está constituida la servidumbre se llama predio dominante; el que la sufre, predio sirviente".

Al ser la servidumbre una limitación del derecho de propiedad, lleva implícito que no se presuman, sino que hay que probar su constitución.

Las concesiones administrativas que tengan la consideración de bienes inmuebles se inscriben en el Registro de la Propiedad¹; por ello las ser-

vidumbres aparecen reflejadas en los documentos registrales, en el apartado de cargas ligadas a una finca.

3.2. Legislación reguladora

Las regula el Código Civil (Título VII, que comprende desde el artículo 530 hasta el 604, ambos inclusive).

A continuación se detallan de qué tratan cada uno de los capítulos:

CÓDIGO CIVIL, MODIFICADO POR LEYES 50/1980, 11/1981, 30/1981, 13/1983, 36/1988, 8/1999, 18/1999, 40/1999, 4/2000, 34/2002, 36/2002, 7/2003, 22/2003 Y POR LAS LEYES ORGÁNICAS 9/2002, 11/2003

- TÍTULO PRELIMINAR. DE LAS NORMAS JURÍDICAS, SU APLICACIÓN Y EFICACIA
- LIBRO PRIMERO. DE LAS PERSONAS
- LIBRO SEGUNDO. DE LOS BIENES, DE LA PROPIEDAD Y DE SUS MODIFICACIONES
 - TÍTULO PRIMERO. DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS BIENES
 - TÍTULO II. DE LA PROPIEDAD.
 - TÍTULO III. DE LA COMUNIDAD DE BIENES (Arts. 392 al 406)
 - TÍTULO IV. DE ALGUNAS PROPIEDADES ESPECIALES
 - TÍTULO V. DE LA POSESIÓN
 - TÍTULO VI. DEL USUFRUCTO, DEL USO Y DE LA HABITACIÓN
 - TÍTULO VII. DE LAS SERVIDUMBRES
 - CAPÍTULO PRIMERO. DE LAS SERVIDUMBRES EN GENERAL

Sección primera. De las diferentes clases de servidumbres que pueden establecerse sobre las fincas. (arts. 530 al 536)

Sección segunda. De los modos de adquirir las servidumbres (arts. 537 al 542)

¹ El Registro de la Propiedad tiene por objeto la inscripción o anotación de los actos y contratos relativos al dominio y demás derechos reales sobre bienes inmuebles.



Figura 3-1: Ejemplo de servidumbre de paso en un documento registral²

Sección tercera. Derechos y obligaciones de los propietarios de los predios dominante y sirviente (arts. 543 al 545)
 Sección cuarta. De los modos de extinguirse las servidumbres (arts. 546 al 548)

– CAPÍTULO II. DE LAS SERVIDUMBRES LEGALES

Sección primera. Disposiciones generales (arts. 549 al 551)
 Sección segunda. De las servidumbres en materia de aguas (arts. 552 al 563)
 Sección tercera. De la servidumbre de paso (arts. 564 al 570)
 Sección cuarta. De la servidumbre de medianería (arts. 571 al 579)
 Sección quinta. De la servidumbre de luces y vistas. (arts. 580 al 585)

Sección sexta. Del desagüe de los edificios (arts. 586 al 588)
 Sección séptima. De las distancias y obras intermedias para ciertas construcciones y plantaciones. (arts. 589 al 593)

– CAPÍTULO III. DE LAS SERVIDUMBRES VOLUNTARIAS (Arts. 594 al 604)

• TÍTULO VIII. DEL REGISTRO DE LA PROPIEDAD.

■ LIBRO TERCERO. DE LOS DIFERENTES MODOS DE ADQUIRIR LA PROPIEDAD.

■ LIBRO CUARTO. DE LAS OBLIGACIONES Y CONTRATOS.

- DISPOSICIONES TRANSITORIAS.
- DISPOSICIONES ADICIONALES.

3.3. Tipos de servidumbres

A igual que con los deslindes, las servidumbres las podemos clasificar de diversas formas, según diversos factores:

- Si se constituyen sobre personas o sobre fundos.
- Si se utilizan de forma incesante o en períodos cortos.
- Si están siempre a la vista o no.

SERVIDUMBRES	Clasificación según:	Tipos:	
	Se constituyen sobre personas o fundos (predios)	PERSONALES	PEDIALES
Periodo de utilización	CONTINUAS	DISCONTINUAS	
Están o no siempre a la vista	APARENTES	NO APARENTES	
Si se impone al dueño del predio sirviente algún tipo de limitación	POSITIVAS	NEGATIVAS	
Se establecen por voluntad propia o por imperativo legal	VOLUNTARIAS	LEGALES	

Figura 3-2: Esquema general de clasificación de servidumbres

² Nota Simple Informativa (documento más usual solicitado en el Registro de la Propiedad), en donde aparece ligada a una finca (finca 9640, predio sirviente) una servidumbre de paso a favor de otra (finca 21646, predio dominante), considerado como carga vigente.

- Si se impone al dueño del predio sirviente algún tipo de limitación.
- Si se establecen por voluntad propia entre los propietarios o se establecen por imperativo legal.

3.3.1. Servidumbres personales y prediales

Según beneficien a una persona concreta o al propietario del predio, las servidumbres pueden ser:

- **Personales:** Si constituyen un gravamen (carga) concebido de modo que beneficie a una persona determinada como tal persona. Son aquellas en que la cosa gravada sirve a la persona.

³ "También pueden establecerse servidumbres en provecho de una o más personas, o de una comunidad, a quienes no pertenezca la finca gravada".

Ejemplos de servidumbres personales:

- Los aprovechamientos de pastos y arbolado concedido a los vecinos de los pueblos
- El derecho de labrar o sembrar en determinada extensión de una finca
- El derecho concedido a una persona y sus descendientes de ocupar determinadas ventanas de una casa para presenciar los festejos locales.

En cuanto a la duración, puede ser indefinida o limitarse a la vida de una o varias personas, estableciéndose la posibilidad de la perpetuidad.

- **Prediales:** Si constituyen un gravamen concebido de manera que beneficie al propietario, sea quien sea, de una finca. Son aquellas en las que el predio gravado, que es el predio sirviente, sirve a otro predio que es dominante. Llevan implícita la existencia de dos predios.

Dependiendo de donde se encuentren los predios entre los que se establece, dentro de las *servidumbres prediales* se distinguen:

- **Servidumbres prediales rústicas:** Ligadas a las prácticas agrícolas.
- **Servidumbres prediales urbanas:** Asociadas a la solución de los problemas que se dan en los centros urbanos.

Las servidumbres prediales suponen la existencia de dos fundos o predios:

- *Fundo o predio dominante*, que es aquel que tiene a su favor la servidumbre.
- *Fundo o predio sirviente*, que es el que la sufre como gravamen.

Como **servidumbres rústicas** más frecuentes podemos citar las siguientes:

- *Servidumbre de paso*; con tres modalidades: *iter*, *actus* y *vía*.
- *Servidumbre de acueducto* (*servitus aquaeductus*); es el derecho de hacer pasar una corriente de agua por el fundo sirviente bien por

una acequia al descubierto (*rivus*) o bien subterránea (*specus*) o bien por cañería (*fistulae*).

Algunas **servidumbres urbanas** que podemos citar son las siguientes:

- *Servitus stilicidii*, es la facultad de verter las aguas de lluvia del tejado de predio dominante al sirviente y sin encauzarlas en conducción alguna.
- *Servitus fluminis*, cuando la caída de las aguas pluviales sobre el fundo vecino se hace por canales u otra modalidad de conducción.
- *Servitus oneris ferendi*, es el derecho de apoyar una construcción sobre un muro o columna del vecino.

3.3.2. Servidumbres continuas y discontinuas⁴

Según el periodo de utilización:

- **Continuas:** Son aquellas cuyo uso es o puede hacerse incesante, sin la intervención de ningún hecho del hombre; para ejercitarse siempre no requiere acto del hombre.
- **Discontinuas:** Son las que se usan a intervalos más o menos largos y requieren de actos del hombre.

Ejemplos:

- La servidumbre de acueducto es continua cualquiera que sea el paso de agua.
- La servidumbre de luces es continua.
- La servidumbre de paso es discontinua y, sea o no aparente, puede adquirirse por prescripción.

3.3.3. Servidumbres aparentes y no aparentes

Según estén o no siempre a la vista:

- **Aparentes:** Son las que se anuncian y están continuamente a la vista por signos exteriores, que revelan el uso y aprovechamiento de las mismas. Muestran su existencia por un signo externo.
- **No aparentes:** Las que no presentan indicio alguno exterior de su existencia.

Ejemplos:

- La servidumbre de acueducto es siempre aparente por precepto legal.
- La de luces y vistas es aparente al relevarse por signos exteriores, que puede conocer el adquirente del fundo o predio gravado.

3.3.4. Servidumbres positivas y negativas⁵

Según si se impone o no al dueño del predio sirviente algún tipo de limitación:

³ Código Civil, artículo 531.

⁴ Código Civil, artículo 532.

⁵ Código Civil, artículo 533.

- **Positiva:** La que se impone el dueño del predio sirviente la obligación de dejar de hacer alguna cosa o de hacerla por sí mismo; debe permitir ejecutar actos al dueño del predio dominante.
- **Negativa:** La que prohíbe al dueño del predio sirviente hacer algo que sería lícito sin la servidumbre; es decir, le prohíbe ejercitar derechos.

Lo que caracteriza a las servidumbres positivas, distinguiéndolas de las negativas, es que en éstas el dueño del predio sirviente no tiene parte activa alguna y sólo le es prohibido hacer algo lícito sin la servidumbre.

3.3.5. Servidumbres voluntarias y legales⁶

Según se establecen por ley o por la voluntad de los propietarios:

- **Voluntarias:** Se establecen por voluntad propia de los propietarios. La servidumbre voluntaria se rige prioritariamente por el título de su constitución, determinante de los derechos del predio dominante y de las obligaciones del predio sirviente; sólo en su defecto es aplicable a la normativa del Código Civil.
- **Legales:** Vienen impuestas por precepto legal, para un óptimo desarrollo de la ley que las impone. Grava los inmuebles, sin expreso otorgamiento de título para constituirla.

Ejemplos de estas servidumbres son las que regulan la servidumbre de paso o de policía, en materias como aguas continentales o costas.

Dentro de las **servidumbres legales** existen otros tipos de servidumbres, que se pueden incluir en la clasificación anterior; estas servidumbres quedan definidas en el Código Civil (artículos 530 a 604). En la tabla 3-3 se detalla el artículo donde está cada una y el tipo de servidumbre:

También podemos encontrar otros adjetivos para una servidumbre, como puedan ser forzosa y pública:

- **Forzosa:** Aquella al otorgamiento de la cual puede ser legítimamente compelido el dueño del predio sirviente.
- **Pública:** La que están constituidas para el uso general o de determinada colectividad de personas.

3.4. Servidumbres Administrativas

Las **servidumbres administrativas** son servidumbres legales constituidas sobre un predio particular en beneficio de otro de dominio público.

Las servidumbres impuestas por la ley tienen por objeto la utilidad pública o el interés de los particulares.

Todo lo concerniente a las servidumbres establecidas para utilidad pública o comunal se registrará por las leyes y reglamentos especiales que las determinan y, en su defecto, por las disposiciones establecidas en el Có-

⁶ Código Civil, artículo 536.

TIPOS DE SERVIDUMBRES LEGALES (Código Civil)	
Servidumbre de:	Artículos:
Abrevadero: La que grava un predio adonde los ganados de otro van a beber.	555, 556 y 570
Acueducto: La que grava un predio por donde pasa una conducción de agua.	559 a 561
Aguas	542 y 543
Alzamiento de pared medianera	557 y 578
Aprovechamiento de leña y demás productos de los montes	604
Árboles en seto vivo	593
Comunidad de pastos	600 a 603
Contribución a los pastos	544
Corral o patio	588
Desagüe de edificios	586
Distancia y obras intermedias	589
Edificio apoyado en pared medianera	576
En la propiedad	350 y 388
En el usufructo	479 y 595
Luces: Aquella que limita la construcción o altura de un edificio para dejar libre paso de la luz a otra finca inmediata, sin permitir la vista desde esta.	580 a 585
Mantenimiento de vallados, setos vivos, zanjas acequias medianeras	575
Medianería	571 a 573
Paso: La que da derecho a entrar en una finca no lindante con camino público	564 a 568
Paso de materiales	569
Rama de árboles	592
Reconstrucción de pared medianera	575
Signo aparente	541
Uso de pared medianera	579
Vertiente de tejados	587
Vistas: La que da al predio dominante el derecho de tener ventanas u otros huecos en su casa, desde donde pueda mirar al predio sirviente, con la consiguiente obligación de este de no impedirlo con nuevas construcciones o plantaciones.	580 a 585
Zanja y acequias	574

Tabla 3-3: Tipos de servidumbres legales ordenadas por orden alfabético

digo Civil⁷. Algunas de estas leyes y reglamentos son: la Ley de Aguas, la Ley de Puertos (Zona Marítima Terrestre), Ley de Ferrocarriles, Reglamento sobre conservación y policía de Carreteras, Ley de Montes, Ley de Vías Pecuarías, Ley de Conducción de Energía Eléctrica, etc.

Las servidumbres que impone la ley en interés de particulares o por causa de utilidad privada, se registrarán por lo dispuesto en el Código Civil, sin perjuicio de lo que dispongan las leyes, reglamentos y ordenanzas generales o locales sobre policía urbana o rural. Estas servidumbres podrán ser modificadas por convenio de los interesados cuando no lo prohíba la ley ni resulte perjuicio a terceros.

⁷ Código Civil; Título VII, Capítulo II.

SERVIDUMBRES ADMINISTRATIVAS	
Materia:	Reguladas por:
Aguas (terrestres)	Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. Texto refundido de la ley de aguas
Costas	Ley 22/1988, de 28 de julio; de protección, utilización y policía de costas
Señales Geodésicas y Geofísicas	Ley 11/1975, de 12 de marzo, sobre señales geodésicas y geofísicas
Carreteras	Ley 25/1988, de 29 de julio, de carreteras y caminos
Ferrocarriles	Ley 16/1987, de 30 de julio, de ordenación de los transportes terrestres
Telecomunicaciones	Ley 32/2003, de 3 de noviembre, general de telecomunicaciones
Eléctricas	
Hidrocarburos	
Aeronáuticas	

Tabla 3-4: Esquema general de servidumbres administrativas

3.4.1. Servidumbres de aguas

3.4.2. Servidumbres en materia de costas

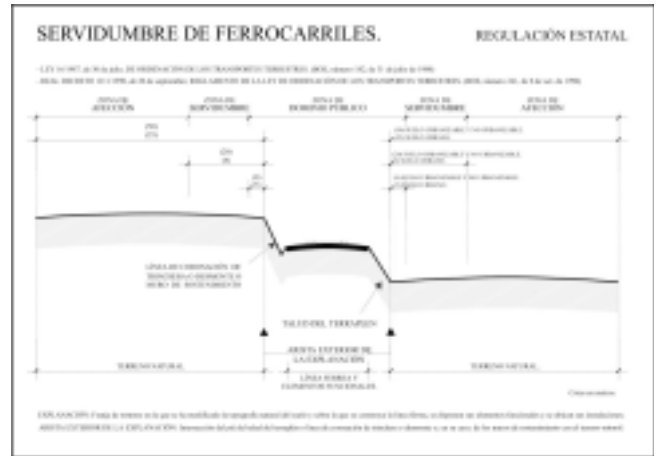


3.4.3. Servidumbres de señales geodésicas y geofísicas

3.4.4. Servidumbre de carreteras



3.4.5. Servidumbre de ferrocarriles



3.4.6. Servidumbres en telecomunicaciones

3.4.7. Servidumbres eléctricas

3.4.8. Servidumbres de hidrocarburos

3.4.9. Servidumbres aeronáuticas

3.5. Comparativa entre tipos de servidumbres administrativas (figura 3-5)

En este cuadro, se acomete un análisis de las diferentes servidumbres administrativas expuestas hasta ahora. A partir de este estudio, se comprenden mejor las servidumbres en cada materia, al concretar todos los datos de un modo esquemático, y se ven las relaciones que hay entre las zonas definidas para cada una.

3.6. El papel del Ingeniero Técnico en Topografía en las servidumbres

Uno de los cometidos del Ingeniero Técnico en Topografía es determinar la topografía del terreno en casos donde se quiera imponer una servidumbre. En la definición de la mayoría de las servidumbres administrativas es necesaria su representación en un plano. Como ocurre en las zonas donde se dan restricciones de usos (zona de policía, en aguas; zona de protección, carreteras y ferrocarriles y servidumbre de protección, costas), se exige un plano de planta de la obra y, en concreto, se exigen planos en estos otros casos:

- Ley de Aguas: En el Reglamento que desarrolla la Ley de Aguas (en el artículo 78, sobre autorizaciones en la zona de policía), estipula que para realizar cualquier tipo de construcción se pedirá el correspondiente permiso. En este permiso se unirá plano de planta que incluya la construcción y los márgenes del cauce, con un perfil transversal por

AGUAS	COSTAS	CARRETERAS	FERROCARRILES	SEÑALES GEODÉSICAS	OTRAS SERVIDUMBRES
Servidumbre de uso público 5 m. de anchura, para asegurar el paso público. Está permitido: – Paso del personal de vigilancia del cauce. – Paso para actividades de pesca fluvial. – Paso para el salvamento de personas y bienes. – Varado y amarre de embarcaciones.	Servidumbre de tránsito 6 m. ampliable hasta 20 m. en casos de tránsito difícil. Medidos tierra adentro a partir del límite interior de la ribera. Su finalidad es garantizar un acceso público al mar. Está permitido: – Paso público peatonal. – Paso de vehículos destinados a la vigilancia y el salvamento.	Dominio público 8 m. a cada lado del eje hasta la arista exterior de explanación, en el caso de autopistas y autopistas. 5 m. a cada lado del eje hasta la arista exterior de explanación, en el resto de carreteras convencionales. Con estas medidas se establecen unas condiciones mínimas de seguridad.	Dominio público Terrenos ocupados por las líneas ferroviarias más 8 m. de terreno a cada lado de la plataforma, medida en horizontal y perpendicularmente al eje de la misma, desde la arista exterior de explanación. Se requiere autorización para realizar cualquier tipo de obra	Servidumbre de paso La imposición de señal, lleva consigo la obligación de dar paso y permitir la realización de los trabajos necesarios para su establecimiento, conservación y utilización.	Servidumbre de paso La imposición de señal, lleva consigo la obligación en los predios sirvientes de dar paso y permitir la realización de los trabajos necesarios para su establecimiento, conservación y utilización.
Zona de policía 100 m. a partir del cauce, para proteger el dominio público hidráulico, se limitan usos. No se permiten: – Alteraciones sustanciales del relieve natural. – Extracciones de áridos. – Construcciones (definitivas o provisionales). – Cualquier actividad que obstaculice la corriente o detenga el dominio público.	Servidumbre de protección 100 m. medidos tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar, ampliable otros 100 m. No se permiten: – Edificación de viviendas. – Vertido de residuos sólidos. – Construcción o modificación de vías de transporte. – Tendidos aéreos de alta tensión.	Zona de servidumbre Dos franjas de terreno, delimitadas interiormente por el dominio público y exteriormente por dos líneas paralelas a la arista exterior de explanación. Será de 25 m. o de 8 m. dependiendo el tipo de vía. En esta zona habrá limitación de usos.	Zona de protección Dos franjas de terreno a cada lado delimitada, interiormente, por la zona de dominio público y, exteriormente, por dos líneas paralelas situadas a 70 m. de las aristas de explanación. No se permitirán obras, ni usos que no sean compatibles con la seguridad ferroviaria.	Servidumbre forzosa La instalación de la señal y su conservación, exige el transporte de materiales de construcción y herramientas, en ocasiones una ocupación temporal de los predios intermedios. También se podrán talar árboles o quitar obstáculos que impidan la visibilidad.	
Otras servidumbres – <i>Servidumbre de acueducto</i> : al propietario que quiera servirse de agua o evacuar las sobantes, haciéndolas pasar por predios intermedios. – <i>Servidumbre de saca de agua y abrevadero</i> . – <i>Servidumbre de estribo</i> . – <i>Servidumbre de parada</i> .	Servidumbre de acceso público y gratuito al mar Se extiende sobre terrenos colindantes al dominio público marítimo-terrestre. Su longitud y anchura dependerá de la finalidad y naturaleza del acceso.	Zona de afección Dos franjas de terreno delimitadas interiormente por la zona de servidumbre y exteriormente por dos líneas paralelas a la arista exterior de explanación. 100 m. caso de autopistas y 50 m. si es el resto de carreteras.	Límite de edificación 50 m. a ambos lados de las líneas ferroviarias, desde la cual hasta la línea ferroviaria queda prohibido cualquier tipo de construcción a excepción de las que resultaran imprescindibles para su conservación de las ya existentes.		

Figura 3-5: Esquema comparativo entre servidumbres administrativas

el punto de emplazamiento de la construcción más próximo al cauce, en el que quedarán reflejadas las posibles zonas exentas de edificios.

Para el inicio de expediente en el establecimiento de la *servidumbre de acueducto*, el Reglamento de la Ley de Aguas estipula que se acompañe de planos suscritos por técnico competente que definan la topografía del terreno y las obras, debiendo figurar en los mismos la situación del acueducto respecto a los predios que ha de atravesar y la longitud y la anchura que ocupará en cada uno de ellos.

Como caso a revisar, destacar que en el Reglamento de la Ley de Aguas, cuando se define la servidumbre de uso público, no queda claro el punto donde deben empezar a medirse los 6 m de anchura, lo que se traduce en varias interpretaciones, que pueden variar dependiendo de la persona que lo lea, y se traducen en diferentes zonas de servidumbre.

- *Ley de Costas*: Algo similar al caso anterior ocurre con la ocupación del dominio público marítimo-terrestre, en el que habrá que redactar un proyecto básico, en el que se fijarán las características de las instalaciones y de las obras. El proyecto básico deberá estar suscrito por técnico competente y entre sus planos figurarán los siguientes:
 - De situación, a escala conveniente
 - De emplazamiento, con representación del deslinde y de la zona a ocupar; a escala no inferior a 1/5.000
 - Con la clasificación y usos urbanísticos del entorno
 - Topográfico del estado actual, a escala no inferior a 1/1.000
 - De planta general, en que se representen las instalaciones y obras proyectadas, que incluirán el deslinde y la superficie a ocupar o utilizar en el dominio público marítimo-terrestre, líneas de orilla, zonas de servidumbre de tránsito, protección y accesos y, cuando proceda, restablecimiento de las áreas afectadas y terrenos a incorporar al dominio público marítimo-terrestre
 - De alzados y secciones características, cuando resulten necesarios para su definición, con la geometría de las obras e instalaciones.
- *Ley de Señales Geodésicas y Geofísicas*: El Ingeniero Técnico en Topografía también intervendrá en los casos donde, por razones justificadas, se solicite el cambio de emplazamiento de una señal geodésica o geofísica, estableciendo nueva servidumbre en la nueva ubicación de la señal.
Cabe destacar esta ley como fundamental para los Ingenieros Técnicos en Topografía y para los Ingenieros en Geodesia y Cartografía, ya que básicamente serán estos profesionales los que hagan uso de ella, muy poco, o prácticamente nada, aplicable en otras ingenierías.
- *Ley de Carreteras y Ley de Ferrocarriles*: Serán requeridos los servicios del Ingeniero Técnico Topografía para determinar si ciertas construc-

ciones se encuentran o no dentro de la línea límite de edificación, prestando especial importancia al punto desde donde tienen que medirse, según recoge la legislación vigente.

- *Leyes de Telecomunicaciones, Eléctricas y de Hidrocarburos*: En servidumbres como las de telecomunicaciones, eléctricas o hidrocarburos, será muy importante que se cumplan las distancias mínimas que contempla cada ley específica.

La clara definición de las diferentes servidumbres garantizan una gestión eficiente del dominio público. Los espacios donde se limitan algunos usos suelen coincidir con terrenos sometidos a fuertes presiones de tipo urbanístico o industrial, como en la zona marítimo-terrestre o en las parcelas que invaden las vías pecuarias.

Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) se podría gestionar la cartografía digital en donde quedan reflejadas cada una de las servidumbres, con sus zonas de influencia, y analizar los usos que resultan compatibles con la zona estudiada. También sería muy útil para hacer un cálculo del número de edificaciones situadas dentro de espacios protegidos por algún tipo de servidumbre y a la hora de realizar nuevas infraestructuras, con una simple consulta se sabría si está situada dentro de alguna zona de protección. Esta cartografía también se podría utilizar para saber a quién corresponde la gestión (Administración Estatal, Autonómica, Local, etc.) del área estudiada.

4. CONCLUSIONES

Tras la lectura de este amplio artículo se pone de manifiesto la importancia de incluir al Ingeniero Técnico en Topografía en los equipos multidisciplinares que se encargan de la ordenación territorial y urbanística; sus conocimientos pueden ser aplicados para conseguir una gestión más eficaz del territorio.

La realización de cartografía temática de deslindes y servidumbres ahorraría tiempo a la hora de realizar nuevas infraestructuras, ya que podría detectarse, de forma inmediata, las zonas donde no se pueden realizar ciertas construcciones, así como eliminar las ilegales. Una superposición de esta información sobre la cartografía del territorio solucionaría futuros problemas que puedan surgir entre las Administraciones que gestionan el territorio, al determinar a quien compete la gestión del espacio.

Sería recomendable, para conseguir una mejor gestión, que en las leyes que regulan los deslindes y las servidumbres se hiciera una referencia concreta y clara al Ingeniero Técnico en Topografía y no se definiera de una forma tan ambigua al responsable de efectuar las mediciones. En las leyes consultadas se hace referencia al perito o ingeniero competente en la materia, pero en ningún caso se menciona al Ingeniero Técnico en Topografía. ■

Elementos de calibración de una proyección central

Javier Múgica de Rivera

I. CALCULO DEL PUNTO PRINCIPAL DE MEJOR SIMETRIA

Conocemos la distorsión radial correspondiente a un punto principal inicial (aproximado) y a una distancia focal también aproximada. El punto principal inicial, p_0 , puede ser el centro fiducial, el punto principal de autocolimación o cualquier otro que queramos. El valor de focal inicial puede ser un valor nominal. De cara a obtener el punto principal de mejor simetría, la focal respecto a la cual tengamos referida la función de distorsión es indiferente, así que la focal la denotaremos por f sin importarnos cuál de los posibles valores es.

Spongamos que tenemos valores de la función de distorsión a lo largo de las cuatro semidiagonales.



Figura 1

Los puntos grises son las posiciones reales de los puntos en las fotografías y los puntos negros la posición teórica. Variando la focal y la posición del punto principal modificamos la posición teórica de los puntos, así que seleccionamos dichos parámetros de manera que la función de distorsión resultante cumpla unas ciertas condiciones: que sea pequeña (variación de la focal) y que sea simétrica (variación del punto principal).

p_0 es la imagen de un cierto rayo de entrada r_0 . Dado otro rayo r cuya imagen es p , la distancia teórica a la que debe estar p de p_0 es $f \tan \alpha$, siendo α el ángulo que forma r con r_0 y f la focal (la que convencionalmente hayamos adoptado). Si pasamos a tomar otro punto p_1 como punto principal, el rayo de entrada principal es ahora r_1 . El ángulo que forma ahora r con el rayo de entrada principal es α' , y la distancia teórica entre p y p_1 es distinta que la que teníamos antes entre

p y p_0 . Esta variación teórica es en su mayor parte un reflejo de la variación de p_0 a p_1 . Si la variación entre las distancias teóricas fuese exactamente la diferencia entre p_0p y p_1p la posición teórica de los puntos seguiría siendo la misma, y la distorsión radial no variaría. Pero esto no es así. Lo veremos con un ejemplo en el que los puntos p_0 , p_1 y p están alineados, que es el caso en el que mejor se ve.

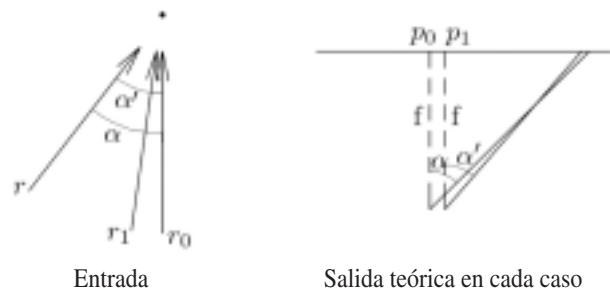


Figura 2

La variación $\alpha' - \alpha$ es $-\epsilon/f$. La nueva distancia teórica es:

$$\begin{aligned} x' &= f \tan \alpha' = f \tan (\alpha - \epsilon/f) = \\ &= f \tan \alpha + f(1 + \tan^2 \alpha) (-\epsilon/f) + \dots \approx x - \epsilon(1 + \tan^2 \alpha) \end{aligned}$$

Lo que significa que la posición teórica del punto se ha movido $-\epsilon(1 + \tan^2 \alpha) + \epsilon = -\epsilon \tan^2 \alpha$.

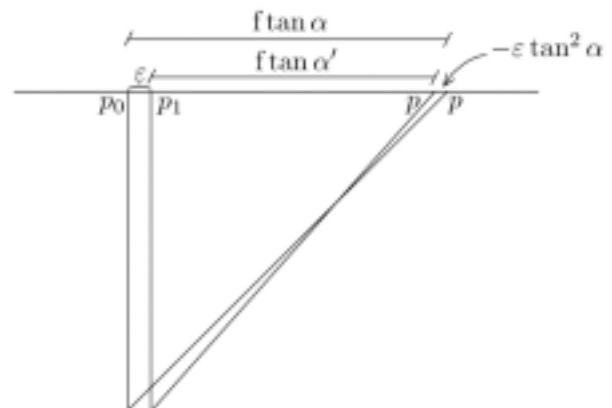


Figura 3

Los puntos que están a la derecha, con x positiva, disminuyen su distancia teórica, con lo que aumentan su distorsión (si ϵ es positivo). Para

los que están a la izquierda, aunque α es ahora negativo, al ir $\tan^2 \alpha$ elevado al cuadrado, el signo de $-\epsilon \tan^2 \alpha$ sigue siendo el mismo. Pero un desplazamiento negativo significa, a la izquierda de p_0 , un alejamiento.

En el caso de que p esté en la perpendicular a p_0p_1 , el cambio al pasar de α a α' es una variación en la coordenada x de $-\epsilon$, lo que significa que el punto permanece en el mismo sitio.



Figura 4

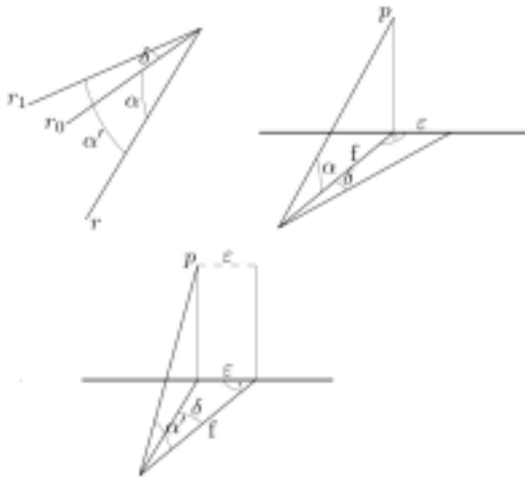


Figura 5: Rayo perpendicular a p_0p_1

Entonces, podemos descomponer el desplazamiento del punto principal en dos componentes en la dirección de las diagonales. De esta forma calculamos cada componente de manera independiente, ya que cada una afecta a los valores de la distorsión radial en su correspondiente diagonal y no en la otra.

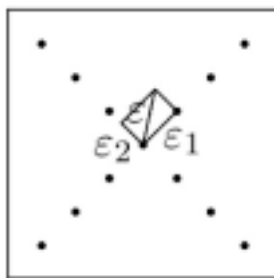


Figura 6

Para cada semidiagonal conocemos los valores de la distorsión radial para determinadas distancias, que se corresponden con ciertos ángulos α . Los denotamos por e_α . Cuando estamos considerando una semidiagonal, las distorsiones de la semidiagonal opuesta son $e_{-\alpha}$. Para cada diagonal tenemos que calcular ϵ de manera que los valores de la distorsión sean lo más simétricos posible. Para eso tenemos que establecer algún criterio de simetría. Podemos minimizar $\sum |e_\alpha - e_{-\alpha}|$, pero la mi-

nimización de la función valor absoluto es bastante complicada. Resulta mucho más sencillo minimizar $\sum (e_\alpha - e_{-\alpha})^2$.

Para el punto principal inicial tenemos los valores e_α y $e_{-\alpha}$. Tras el desplazamiento son $e_{-\alpha} + \epsilon \tan^2 \alpha$ y $e_{-\alpha} - \epsilon \tan^2 \alpha$ (la variación de la distorsión tiene signo contrario a la variación de la distancia).

$$\begin{aligned} ((e_\alpha + \epsilon \tan^2 \alpha) - (e_{-\alpha} - \epsilon \tan^2 \alpha))^2 &= ((e_\alpha - e_{-\alpha}) + 2\epsilon \tan^2 \alpha)^2 = \\ &= (e_\alpha - e_{-\alpha})^2 + 4(e_\alpha - e_{-\alpha})\epsilon \tan^2 \alpha + 4\epsilon^2 \tan^4 \alpha \\ \sum ((e_\alpha - e_{-\alpha})^2 + 4(e_\alpha - e_{-\alpha})\epsilon \tan^2 \alpha + 4\epsilon^2 \tan^4 \alpha) &= \\ = \sum (e_\alpha - e_{-\alpha})^2 + 4\epsilon \sum (e_\alpha - e_{-\alpha}) \tan^2 \alpha + 4\epsilon^2 \sum \tan^4 \alpha \end{aligned}$$

Minimizar esta cantidad equivale a minimizar

$$\epsilon \sum (e_\alpha - e_{-\alpha}) \tan^2 \alpha + \epsilon^2 \sum \tan^4 \alpha.$$

Derivando:

$$\begin{aligned} \sum (e_\alpha - e_{-\alpha}) \tan^2 \alpha + 2\epsilon \sum \tan^4 \alpha &= 0 \\ \epsilon &= - \frac{\sum (e_\alpha - e_{-\alpha}) \tan^2 \alpha}{2 \sum \tan^4 \alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

Una vez que tenemos ϵ_1 y ϵ_2 pasamos a ϵ_x y ϵ_y .

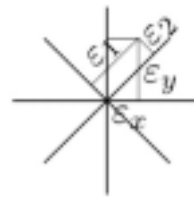


Figura 7

$$\epsilon_x = \epsilon_1 / \sqrt{2} - \epsilon_2 / \sqrt{2} = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$\epsilon_y = \epsilon_1 / \sqrt{2} + \epsilon_2 / \sqrt{2} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

1.1. Interpretación geométrica

Desplazar el punto principal es lo mismo que tomar otro rayo de entrada como dirección principal, lo que a su vez equivale a girar el fotograma.

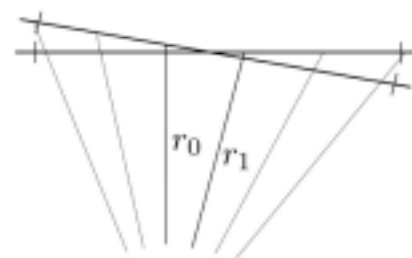


Figura 8

En la figura 8 se muestran las dos imágenes teóricas, según cuál sea el punto principal que consideremos. Situar el punto principal hacia la derecha supone, en prácticamente todos los puntos, un desplazamiento hacia la izquierda.



Figura 9

En la figura 9 los desplazamientos a la derecha se indican con signo positivo. Cuando el punto principal es p_0 , el rayo cuya imagen es p_1 forma un cierto ángulo con el rayo principal, que da una distancia teórica p_0p_1 . Si pasamos a considerar que el punto principal es p_1 (que permanece fijo), el ángulo de los rayos correspondientes a p_0 y p_1 sigue siendo el mismo (como cualquier ángulo, el haz de rayos de entrada no varía, sólo varía la consideración de uno u otro como rayo principal) por lo que la distancia teórica sigue siendo la misma, como se puede ver gráficamente en la figura 8. La intersección de la recta de corte de las dos imágenes con la recta p_0p_1 es el isocentro. Podemos ver que en la primera imagen está a una cierta distancia de p_0 y a una distancia algo mayor de p_1 . En la segunda está más próximo a p_1 que a p_0 . Por lo tanto, el isocentro se ha desplazado hacia la derecha. Por otra parte, también se puede ver que cualquier punto a la derecha del isocentro está más próximo a él en la segunda imagen que en la primera; es decir, que con respecto al isocentro se ha desplazado hacia la izquierda. Los puntos a la izquierda en la segunda imagen están más alejados, por lo que también se han desplazado hacia la izquierda. Esto quiere decir que todos los puntos se desplazan hacia la izquierda con respecto al isocentro, o lo que es lo mismo, que el isocentro es el punto de máximo desplazamiento hacia la derecha. Este análisis geométrico tiene interés en el caso de la fotografía inclinada. En lo que se refiere al cambio de punto principal, las variaciones de posición entre los dos puntos principales son de tercer orden (para un desplazamiento de 15 μm y una focal de 150 mm, el desplazamiento del isocentro es $0,15 \cdot 10^{-12}$ m). Al ser totalmente despreciables, podemos simplificar y pensar, como hicimos antes, que a la derecha del punto principal la distancia teórica disminuye y a la izquierda aumenta (en este caso que hemos desplazado el punto principal a la derecha). También estamos despreciando, aunque no lo hemos mencionado hasta ahora, la distorsión en p_1 . Para hallar la variación de posición teórica en los puntos de la fotografía fuera de la línea p_0p_1 utilizamos las siguientes premisas:

- a) Conocemos la variación a lo largo de la línea p_0p_1 .
- b) Las rectas perpendiculares a p_0p_1 en la imagen original lo siguen siendo tras cambiar el punto principal.
- c) Los ángulos con vértice en el isocentro se conservan.

Los puntos 2 y 3 tienen sencillas demostraciones geométricas, inmediata la del 2 y no tanto la del 3. A continuación se muestra cómo las anteriores condiciones permiten obtener la nueva posición de cualquier punto.

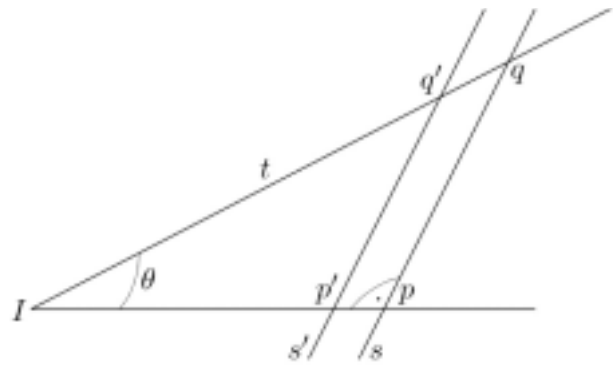


Figura 10

Mediante a) sabemos que el punto p pasa a la posición p' . A continuación, aplicando b) tenemos que la recta se transforma en s' . Por último, la propiedad c) implica que la recta t permanece invariante. De modo que la posición de q' es la intersección de s' y t . Si el esquema anterior estuviese a escala, los puntos p_0 , I y p_1 cabrían todos en la representación de un punto. Por lo tanto, el desplazamiento radial que un punto cualquiera sufre en dirección al isocentro podemos identificarlo con un desplazamiento en dirección al punto principal. Dicho en otras palabras, la variación de posición de cualquier punto de la fotografía al cambiar el punto principal es una variación radial. **El cambio de punto principal no supone una variación en la distorsión tangencial.**



Figura 11

$$\Delta r = q'q = p'p / \cos \theta = -\epsilon \tan^2 \alpha_p / \cos \theta$$

$$\tan \alpha_p = \tan \alpha_q \cos \theta \text{ (figura 11)}$$

$$-\epsilon \tan^2 \alpha_p / \cos \theta = -\epsilon \tan^2 \alpha_q \cos^2 \theta / \cos \theta =$$

$$= -\epsilon \tan^2 \alpha_q \cos \theta$$

$$\Delta r = -\epsilon \tan^2 \alpha \cos \theta \tag{4}$$

2. DISTANCIA FOCAL

Sea f_0 una focal inicial, r_0 la distancia teórica de un punto para esa focal, r' la distancia real al punto principal y Δr la distorsión. Se cumple entonces

$$r' = r_0 + \Delta r \tag{5}$$

Si cambiamos la focal la distancia teórica varía:

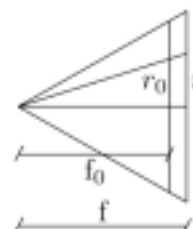


Figura 12

Al modificar la focal estamos escalando todo el fotograma, por lo que la variación de r es proporcional a la variación de la focal, es decir,

$$r = \frac{f}{f_0} r^0 \tag{6}$$

$$r = \frac{f_0 + \Delta f}{f_0} r_0 = \left(1 + \frac{\Delta f}{f_0}\right) r_0 = r_0 + \frac{\Delta f}{f_0} r_0 \tag{7}$$

Entonces la distorsión varía $-\frac{\Delta f}{f} r_0$

La figura 13 muestra varias funciones de distorsión en las que lo único que varía es la distancia focal.

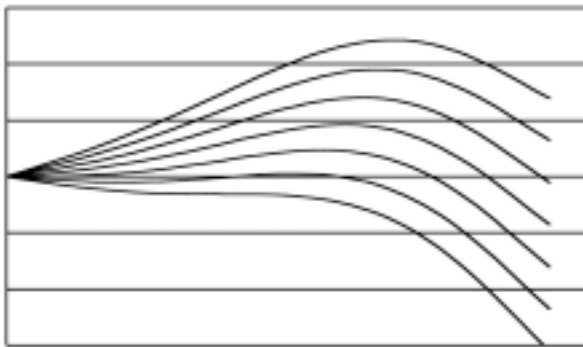


Figura 13: Variación de la distorsión radial al variar la focal

Si la función de distorsión la tenemos expresada como un polinomio impar,

$$r' = r + \Delta r = r + (a_1 r + a_3 r^3 + a_5 r^5 + \dots) \tag{8}$$

El término $a_1 r$ lo podemos incluir en la distancia teórica:

$$r' = (r + a_1 r) + (a_3 r^3 + a_5 r^5 + \dots)$$

Lo que supone variar la focal,

$$f = (1 + a_1) f_0 \tag{9}$$

Sea r_n el nuevo valor y r_a el antiguo:

$$r_n = (1 + a_1) r_a \Rightarrow r_a = r_n / (1 + a_1)$$

Tenemos que:

$$\begin{aligned} r' &= r_n + (a_3 r_a^3 + a_5 r_a^5 + \dots) = \\ &= r_n + \left(a_3 \left(\frac{r_n}{1 + a_1} \right)^3 + \right. \\ &\quad \left. + a_5 \left(\frac{r_n}{1 + a_1} \right)^5 + \dots \right) \\ r' &= r_n + \left(\frac{a_3}{(1 + a_1)^3} r_n^3 + \frac{a_5}{(1 + a_1)^5} r_n^5 + \dots \right) \end{aligned}$$

De esta manera conseguimos una función de distorsión sin término lineal, lo que gráficamente significa que sale del origen tangente al eje de abscisas. Los nuevos coeficientes en función de los antiguos son

$$\frac{a_3}{(1 + a_1)^3}, \frac{a_5}{(1 + a_1)^5}, \dots$$

Podemos despreciar las variaciones de los coeficientes a_3 y posteriores, de modo que, en la práctica, para obtener la función de distorsión con $a_1 = 0$ simplemente hacemos $f = (1 + a_1) f_0$ y el término $a_1 r$ lo eliminamos sin más.

Pretender tener en cuenta esas variaciones para obtener la máxima precisión es completamente absurdo. Despreciar dichas variaciones equivale a introducir en la función de distorsión r_a en lugar de r_n ; es decir, que estamos asignando a un punto situado a una distancia r_n la distorsión correspondiente a r_a . r_n y r_a se diferenciarán en unas pocas micras, del orden de la propia distorsión, por lo que sus respectivos valores de distorsión tendrán una diferencia del orden de la milésima de micra y, que yo sepa, no se hace fotogrametría con tanta precisión.

Este valor de la focal tiene la propiedad de ser el que mejor se ajusta a la zona central del fotograma, pero, por el contrario, suele dar lugar a valores de distorsión muy elevados en los bordes. En la figura 13 se corresponde con la tercera empezando por abajo. A la vista de las gráficas parece que la mejor función de distorsión sería la cuarta, o una intermedia entre la tercera y la cuarta. Pensemos además que si la función no tuviese punto de inflexión se dispararía mucho más para los valores extremos, ya que comenzaría tangente al eje de abscisas y se iría curvando cada vez más, siempre en el mismo sentido. Por ello es mejor emplear otro criterio para escoger una focal, un criterio que dé lugar a valores de distorsión bajos para todo el fotograma.

Por ejemplo, que la distorsión a una cierta distancia r_c valga cero. Si su valor para la focal f_0 es Δr_c , entonces habrá que modificar la focal de manera que para ese punto la distorsión varíe

$$-\Delta r_c = (-\Delta r_c / r_c) r_c$$

Por lo tanto, la nueva focal ha de valer

$$f = (1 + \Delta r_c / r_c) f_0 \tag{10}$$

El nuevo coeficiente a_1 es $a_1 - \Delta r_c / r_c$.

Este criterio suele dar un mal resultado en el caso de que la función de distorsión tenga punto de inflexión. En ese caso es muy probable que la función quede como la segunda empezando por abajo en la figura 13; el punto a distancia r_c tiene un valor de distorsión muy próximo al máximo relativo, lo que implica que la distorsión en casi todos los puntos del fotograma es menor que cero, dando lugar a una de las soluciones más extremas.

En definitiva, si lo que queremos es una función de distorsión que se aleje lo menos posible de cero en todo el fotograma, ése es precisamente el criterio que debemos tomar:

$$|\Delta r_M| = |\Delta r_m| \tag{11}$$

Tomamos los valores máximo y mínimo de los puntos en los que conocemos valores de distorsión o, mejor, los máximo y mínimo que alcanza la función de distorsión. Uno de los dos valores seguramente sea el extremo del fotograma y el otro un máximo o mínimo intermedio que tomamos a ojo. Como cada vez que se aplica un criterio se trata de variar la focal o lo que es lo mismo el valor $a_1 - t$. El valor de distorsión máximo será ahora $\Delta r_M - t r_M$ y el mínimo $\Delta r_m - t r_m$, por lo que su valor absoluto será $|\Delta r_m| + t r_m$. Entonces:

$$\begin{aligned} \Delta r_M - t r_M &= |\Delta r_m| + t r_m \\ \Delta r_M - |\Delta r_m| &= t (r_M + r_m) \\ t &= (\Delta r_M - |\Delta r_m|) / (r_M + r_m) \end{aligned} \quad (12)$$

Si estábamos muy lejos de la solución necesitaremos reiterar el proceso, ya que el extremo relativo, que antes estaba en r_M o r_m , habrá variado de posición.

Se pueden tomar criterios más complicados para definir el concepto de función de distorsión pequeña, pero no merece la pena. Desde mi punto de vista el criterio riguroso para definir la focal es que la distorsión resultante para esa focal no de lugar a un factor de escala total, para lo cual tenemos que definir de alguna manera el factor de escala total, pero eso será objeto de otro artículo en el que se tratará de manera más detallada la función de distorsión.

Cuando no estemos trabajando con cámaras métricas también puede resultar conveniente incluir parámetros de distorsión radial asimétrica, aunque estemos trabajando con el punto de mejor simetría.

3. DISTORSIÓN TANGENCIAL

Hasta ahora hemos considerado la diferencia entre la posición real de un punto y su posición teórica en su componente radial, r . La otra componente es la tangencial.



Figura 14: Componentes radial y tangencial de la distorsión

Para establecer completamente la posición teórica de los puntos falta determinar el giro κ , que fijamos como siempre arbitrariamente. Queda perfectamente definido si fijamos que la distorsión tangencial de un rayo cualquiera que tomemos sea cero. El ángulo θ sobre la fotografía,

teórico de los demás rayos, queda definido por la diferencia de ángulos θ entre los rayos de entrada, que ha de ser la misma que sobre la fotografía.

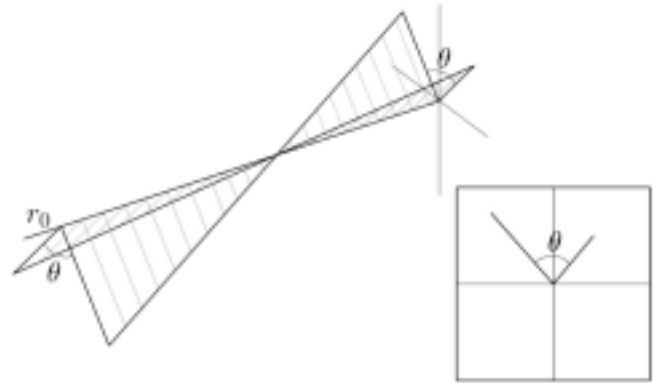


Figura 15: El ángulo θ que forman los rayos de entrada es el mismo sobre la fotografía

Hay que señalar que en la recta que une el punto principal con el punto con distorsión tangencial cero, que hemos tomado como referencia la distorsión tangencial, no será cero en general.



Figura 16

Sin embargo, cuando se modeliza la distorsión tangencial suele tomarse como lugar geométrico de los puntos con distorsión cero una recta que pasa por el punto principal.

La distorsión tangencial en primera aproximación tiene el siguiente aspecto:

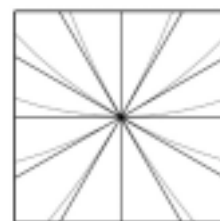


Figura 17: Distorsión tangencial en primera aproximación

Las líneas rectas representan la posición teórica y las curvas la real. Si hubiésemos tomado otro punto como punto de referencia con distorsión cero, las posiciones teóricas variarían un ángulo constante (precisamente la distorsión $\Delta \theta$ que tenía el punto que ahora tomamos como referencia).

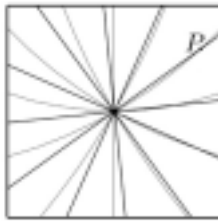


Figura 18

Evidentemente, la distorsión tangencial real no se ajustará al modelo, pero se puede buscar el modelo que mejor se ajuste a la situación real. Por lo tanto, en la práctica la distorsión tangencial no se define fijando un punto con distorsión cero, sino que se buscan los parámetros del modelo que mejor se ajusten a la imagen. En el modelo que hemos representado los parámetros son el ángulo de la recta con distorsión cero y cómo de grande es la distorsión; más concretamente:

$$OS = c r^2 \sin (\alpha - \alpha_0)$$

Que también podemos escribir como

$$OS = c_1 r^2 \sin \alpha + c_2 r^2 \cos \alpha \quad (13)$$

Se pueden añadir componentes que dependan de $\sin (2\alpha)$ y $\cos (2\alpha)$.

Estas componentes trigonométricas tienen la ventaja de que el movimiento angular total de la fotografía, resultante de aplicar la corrección por distorsión tangencial, es cero, lo que no ocurrirá si tomamos arbitrariamente un punto de referencia, que dará un giro total $O\alpha$ (la dis-

torsión que en el modelo irrotacional correspondería al punto de referencia). Parece lógico exigir que la corrección por distorsión tangencial dé lugar a una rotación global cero, ya que de lo contrario podríamos descomponerla en un pequeño giro \uparrow y una distorsión sin rotación global (la misma quitándole el giro \uparrow). Esto se tratará más detalladamente en el artículo correspondiente a la distorsión.

4. SOBRE LAS DIFERENTES ELECCIONES POSIBLES

Partimos de unos valores iniciales para los parámetros geométricos, a saber: focal, punto principal (x e y) y giro \uparrow , que definen la posición teórica de la imagen en relación con los ejes fiduciales; lo que a su vez, por diferencia con la imagen real, nos da la función de distorsión. Esta función se aplicará a las imágenes obtenidas con esa cámara para obtener una imagen que se corresponda con una proyección central. La perfección de ésta vendrá determinada por la precisión con la que se obtuvo la función de distorsión. Podemos variar los parámetros f , x_{pp} , y_{pp} , \uparrow , con el objeto de obtener una función de distorsión que cumpla ciertos requisitos, pero su precisión seguirá siendo exactamente la misma. Podríamos trabajar con la focal nominal y el centro fiducial. El punto principal de mejor simetría tiene la ventaja, si la simetría es suficientemente buena, de que podemos trabajar con una función de distorsión radial que dependa sólo de r , pero es simplemente una cuestión de comodidad, al igual que la condición giro \uparrow total cero, que permite eliminar de la distorsión tangencial el elemento constante $O\alpha$. Respecto a la focal, es totalmente indiferente. ■



Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA)

Antonio Arozarena Villar y Guillermo Villa Alcázar

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Resumen

Los usos actuales y potenciales de vuelos fotogramétricos y de sus productos derivados en forma digital son muy numerosos. El objetivo de este Plan es la realización de un único Vuelo Fotogramétrico y sus productos derivados: apoyo de campo, aerotriangulación, modelo digital de elevaciones y ortofoto digital de todo el territorio español cada dos años, coordinado, cofinanciado y compartido entre todos los organismos interesados

I. INTRODUCCIÓN

La fotografía aérea ha sido, desde mediados del siglo XX, la base de la realización de la cartografía y de la obtención de información geográfica de todo tipo. En España, habitualmente, los distintos organismos cartográficos de la Administración General y de las Comunidades Autónomas han planificado y contratado la realización de vuelos fotogramétricos y de los trabajos subsiguientes a los mismos (apoyo de campo, aerotriangulación, restitución, ortoproyección), según sus exclusivas necesidades cartográficas. Cada organismo contrataba exclusivamente el vuelo de la zona que, con el presupuesto disponible, podía restituir u ortoproyectar cada año, en un intento lógico de que la cartografía se realizase en cada momento con el vuelo más actual posible. Los ritmos de actualización de la cartografía (topográfica, catastral, forestal, agrícola, etc.) y por tanto de realización de los vuelos fotogramétricos, han estado habitualmente entre los 5 y los 10 años.

En los últimos años, la llegada de las técnicas digitales ha revolucionado el mundo de la información fotogramétrica. Entre los efectos más importantes que ha tenido este fenómeno podemos citar:

- Flexibilización, aceleración y abaratamiento progresivo de los procesos productivos, gracias al aumento exponencial de la capacidad de almacenamiento y proceso de los equipos informáticos.
- Mejora de la calidad de los productos, tanto en su aspecto geométrico como radiométrico, debido a la mayor consistencia de los procesos digitales y a la mejora constante de los equipos de adquisición (cámaras, GPS-INS, películas fotográficas, etc.), de digitalización (escáneres fotogramétricos) y de tratamiento (hardware y software).
- Facilidad de duplicar, compartir y utilizar la información generada de una forma mucho más simple y accesible a cualquier usuario.

Todo esto hace que en la actualidad se esté imponiendo una visión más amplia, que considera el vuelo fotogramétrico y los productos derivados (Modelos Digitales de Elevaciones y Ortofotos principalmente) como una fuente de información de usos múltiples para una gran variedad de fines.

Por otra parte, el gran dinamismo de nuestra sociedad hace que los cambios en el territorio sean mucho más frecuentes que antes: la intensidad y magnitud de las intervenciones que se realizan (obras públicas, urbanización, infraestructuras agrícolas, repoblaciones e incendios forestales, etc.) hacen imprescindible disponer de una información mucho más actualizada sobre la evolución del territorio. Creemos que no tiene sentido hoy en día condicionar la obtención de información visual (vuelo fotogramétrico y ortofotos) al ritmo de actualización de la cartografía vectorial de los distintos organismos.

Todos estos factores confluyen para que, en este momento, resulte imprescindible replantearse la estructura y organización de la obtención de información fotogramétrica en España.

Si se logra realizar un vuelo único, válido para todos los organismos que tienen necesidad del mismo, los recursos económicos que se ahorran al evitar las duplicidades de esfuerzos, pueden emplearse en el aumento del ritmo de cobertura, hasta los dos años que, como máximo, parece razonable admitir hoy en día. En otras palabras; con los mismos presupuestos, aproximadamente, que se están destinando en la actualidad a la realización de vuelos y trabajos fotogramétricos, se obtendrá una información mucho más actualizada y por tanto más útil.

Como antecedentes exitosos de producción masiva y descentralizada de recubrimientos ortofotográficos de todo el territorio español, se han realizado en los últimos años, por encargo del Ministerio de

Agricultura, Pesca y Alimentación y materializados por la empresa pública TRAGSATEC, el recubrimiento realizado para el SIG Oleícola y el realizado para el SIGPAC. En ambos casos se ha demostrado la viabilidad técnica de estos trabajos y el interés generalizado de los productos resultantes.

El objetivo de este Plan es, por tanto, la realización de un único vuelo, apoyo de campo, aerotriangulación, modelo digital de elevaciones y ortofoto digital, de todo el territorio español cada dos años (la mitad del territorio cada año), coordinado, cofinanciado y compartido entre todos los organismos interesados.

2. CONVENIENCIA Y OPORTUNIDAD DEL PLAN

Los usos actuales y potenciales de los vuelos fotogramétricos y de sus productos derivados en forma digital son abundantísimos. Sin pretender ser exhaustivos podemos mencionar:

I) Actividades propias del Sector Público:

a) Cartografía básica

- Realización y actualización de cartografía topográfica, bases de datos cartográficas y Sistemas de Información Geográfica
- Obtención y actualización de Modelos Digitales de Elevaciones y las curvas de nivel derivadas
- Realización y actualización de series de Ortofotomapas
- Deslindes de términos municipales

b) Ocupación del suelo

- Bases de datos de cobertura y usos del Suelo

c) Obras Públicas

- Estudios previos de carreteras, ferrocarriles, presas, puertos, etc.
- Mantenimiento de redes de carreteras, ferrocarriles, etc.

d) Urbanismo y Ordenación del Territorio

- Planificación urbanística
- Vigilancia urbanística. Control de edificaciones y urbanizaciones ilegales
- Planificación de redes de transporte
- Planificación y gestión de redes de servicios (agua, gas, electricidad, telefonía fija y móvil, cable, etc.)

e) Catastro y Propiedad Inmobiliaria

- Cartografía catastral de propiedad rústica y urbana
- Tasas catastrales
- Detección de edificaciones no censadas
- Registros de la Propiedad

f) Información forestal

- Cartografía e inventarios forestales
- Gestión y explotación
- Planificación de repoblaciones
- Cartografía edafológica
- Control y lucha contra la desertificación

g) Medio ambiente

- Planes de Vigilancia Ambiental
- Determinación de variables medioambientales
- Gestión del Dominio Público Marítimo-Terrestre
- Deslindes y Gestión de Parques Naturales
- Prevención y extinción de incendios
- Detección y gestión de impactos ambientales: vertidos y extracciones ilegales, etc.
- Red Natura 2000
- Gestión de ZEPAS
- Información sobre sumideros de gases de efecto invernadero, para el cumplimiento de los compromisos del Protocolo de Kioto sobre calentamiento global



h) *Agricultura y ganadería*

- Inventarios agrícolas
- Control de ayudas de la PAC
- Control y actividades en el Régimen de Ayudas a la Producción y al consumo de aceite de oliva
- Concentración parcelaria
- Registros vitícola, oleícola, etc.
- Encuesta anual de superficies y rendimientos
- Inventario de zonas de riego
- Redes de caminos de servicio agrícolas
- Deslindes de vías pecuarias
- Gestión de ganadería extensiva

i) *Geología*

- Cartografía geológica y geomorfológica
- Prospecciones mineras
- Gestión de minas a cielo abierto, canteras, graveras, etc.

j) *Hidrografía e hidrología*

- Soporte a las Confederaciones Hidrográficas y a las Comunidades de Regantes
- Redacción y actualización del Plan Hidrológico Nacional
- Ordenación, explotación y tutela del Dominio Público Hidráulico
- Dominio Público Marítimo-Terrestre
- Planificación y gestión del uso del agua (necesidades, trasvases, etc.)

k) *Protección Civil*

- Prevención y gestión de avenidas e inundaciones
- Gestión de terremotos y otras catástrofes naturales
- Gestión y guía de los Servicios de emergencia (112)

l) *Seguridad y Defensa*

- Prevención de terrorismo
- Gestión de Zonas militares (acuartelamientos, campos de tiro, etc.)
- Planificación de defensa

m) *Patrimonio histórico y arqueológico*

- Detección y control de yacimientos y sitios arqueológicos
- Mantenimiento y restauración de fincas y lugares históricos

n) *Turismo y actividades de ocio*

- Gestión y control de actividades de ocio y turismo activo y de aventura (motos y coches todo terreno, etc.)
- Cartografía de caminos y sendas

- Planes de reforma y mejora de zonas turísticas degradadas u obsoletas
- Diseño, control y mantenimiento de redes de vías verdes
- Turismo rural

II) **Actividades propias del sector privado:**

a) *Empresas*

- Transportes y Logística
- Cartografía de redes de carreteras, pistas y caminos para navegadores GPS
- Sistemas de localización
- Empresas de vigilancia y seguridad
- Empresas suministradoras de servicios de agua, electricidad, gas, cable, teléfono, internet, telefonía móvil, etc.
- Explotación de fincas y cotos de caza
- Sector inmobiliario y de construcción: planificación y marketing de promociones inmobiliarias, hoteleras, campos de golf, estaciones de esquí, etc.
- Modelado de realidad virtual para simuladores de vuelo, eventos deportivos, espectáculos, etc.

b) *Asociaciones no gubernamentales*

- Soporte a las asociaciones ecologistas y de voluntariado ambiental

c) *Usos particulares*

- Montañismo, senderismo
- Actividades de ocio en la naturaleza
- Ciclismo de montaña
- Motociclismo y automovilismo todoterreno
- Gestión de fincas

Como vemos, casi cualquier actividad, económica o humana, que tenga relación con el territorio (y pocas son las que no lo tienen), supone una gran necesidad de recubrimientos fotográficos y ortofotográficos de precisión, resolución y periodicidad adecuadas.

Por otra parte, todos estos usos involucran a un gran número de organismos de las distintas Administraciones:

- **Unión Europea (UE):** Comisión Europea, Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), EUROSTAT, Centro Común de Investigación (JRC)
- **Administración General del Estado (AGE):** Ministerios de Fomento, Agricultura, Pesca y Alimentación, Medio Ambiente, Economía y Hacienda, Defensa, Cultura
- **Comunidades Autónomas (CCAA):** Consejerías de Urbanismo, Política Territorial, Medio Ambiente, Agricultura, Interior, etc.

Leica SmartStation ¿Qué tal si...



...las estaciones totales hablaran con los satélites GPS?

Lo hemos conseguido con Leica SmartStation: TPS y GPS trabajando juntos, integrados en un único instrumento. SmartStation es la primera estación total de altas prestaciones en el mundo que cuenta con un receptor GPS integrado en la misma estación. Usted puede utilizar TPS y GPS juntos o puede separarlos, de manera que podrá trabajar independientemente con una estación total y con un GPS móvil en tiempo real.

¡GPS y TPS en un único instrumento!

Usted se quedará asombrado de la facilidad de uso de la SmartStation y de la rapidez con la que trabaja para obtener los datos que necesite. Podrá ahorrarse hasta un 80% del tiempo requerido para llevar a cabo un estacionamiento con un equipo topográfico convencional. Usted será más rápido, más eficaz y más productivo.

Si desea tener más información de como Leica SmartStation puede facilitar su trabajo, contacte con nosotros.

- **Corporaciones Locales** (CCLL): Ayuntamientos, Mancomunidades, Cabildos, Diputaciones Provinciales, etc.

Todo esto nos lleva a la conclusión de que los recursos económicos que se destinen a la obtención de información fotogramétrica digital tendrán una gran utilidad para un gran número de agentes sociales. Por tanto, si se consiguen implementar los mecanismos presupuestarios adecuados, el coste para cada uno de los organismos implicados puede llegar a ser muy razonable.

Por otra parte, es muy interesante que todos estos organismos utilicen los mismos datos fotogramétricos de partida, ya que esto asegurará la perfecta coherencia geométrica y temporal de las bases de datos y sistemas de información realizados por todos los organismos a partir de los mismos.

Además, el hecho de participar activamente en proyectos comunes como éste, facilita la creación y mantenimiento de contactos entre los distintos organismos (que de otra forma pueden permanecer en cierto modo aislados unos de otros) y ser el impulso para que empiecen a cooperar también en la extracción, explotación y disseminación de la información. Esta red de contactos puede ser útil tanto "en vertical", fomentando la cooperación y el intercambio de información entre los departamentos homólogos de los distintos niveles de las Administraciones, como "en horizontal", fomentando la cooperación y el intercambio de información entre departamentos distintos del mismo nivel administrativo (por ejemplo, entre distintos Ministerios o Consejerías que estudian los mismos fenómenos desde puntos de vista distintos).

3. OBJETIVOS

Este planteamiento de producción descentralizada y cooperativa se enmarca perfectamente en las tendencias de la Unión Europea, como por ejemplo la Iniciativa INSPIRE, que acaba de plasmarse en un borrador de Directiva adoptado por la Comisión Europea (ref. 1) y que será, por tanto, de obligado cumplimiento por los Estados miembros. INSPIRE, como es sabido, propugna que la información geográfica se recoja una sola vez al nivel de detalle máximo y que se comparta abiertamente entre los distintos agentes sociales que tengan necesidad de la misma. Conviene recordar a este respecto que tanto los recubrimientos de ortofotos/ortoimágenes como los modelos digitales de elevaciones forman parte de los datos básicos de referencia INSPIRE.

Por otra parte, en España se ha producido recientemente la reactivación del Consejo Superior Geográfico, que ha iniciado las tareas de coordinación de la información geográfica entre los distintos organismos de las Administraciones. El Instituto Geográfico Nacional y el Centro Nacional de Información Geográfica, con las nuevas orientaciones plasmadas en el Plan Estratégico de 2003 (ref. 2), asumen el reto de actuar como impulsores de iniciativas de este tipo y, en el caso concreto del PNOA, ac-

tuar como coordinadores del proyecto. Esto ha sido avalado por la Comisión de Teledetección y Cobertura Aérea del Consejo Superior Geográfico, que expuso ante la Comisión Permanente del Consejo la conveniencia de apoyar el PNOA y recibió el visto bueno para ello.

En línea con estos planteamientos, los objetivos del PNOA son:

- 1) Apoyar y favorecer la implementación de las políticas Europeas y Mundiales: Desarrollo Sostenible (UNEP –United Nations Environmental Program), GSDI (Global Spatial Data Infrastructure), GMES (Global Monitoring for Environment and Security), INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), etc.
- 2) Aprovechar la convergencia de intereses entre los distintos organismos de los 4 niveles de las Administraciones antes mencionados (Europeo, Nacional, Autonómico y Local).
- 3) Mejorar la eficiencia en la captura de la información geográfica.
- 4) Aprovechar todo el potencial de utilización de los productos y datos, fomentando la máxima difusión y utilización de los mismos por todos los agentes sociales (organismos de las Administraciones, empresas públicas y privadas, ONG, particulares, etc.) a los que puedan resultar de utilidad.
- 5) Reducción de los presupuestos necesarios para cada uno de los organismos participantes, que permita acortar sensiblemente los plazos de actualización de los recubrimientos aéreos y, en consecuencia, de todas las bases de datos que se obtengan a partir de los mismos.
- 6) Fomentar la producción cooperativa y descentralizada, de modo que los distintos organismos en lugar de competir entre sí cooperen a un fin común y que, por tanto, se produzcan sinergias entre distintos proyectos y grupos de trabajo, y la explotación eficiente de la información según escalas y resoluciones.
- 7) Fomentar la ampliación y mejora del tejido empresarial español en el sector de la producción fotogramétrica, promoviendo que las empresas trabajen con mayor calidad, rigor y eficiencia, reduciendo al mismo tiempo los costes y siendo por tanto más competitivas a nivel internacional. Esto se consigue, por una parte, mediante la regularidad año tras año y el conocimiento previo del volumen de trabajo total del sector en España, que permita a las empresas planificar sus inversiones y dimensionarse adecuadamente para el futuro y, por otra parte, mediante unos Pliegos de Condiciones comunes consensuados para todas las zonas y unos procedimientos de control de calidad exigentes, que fomenten en las empresas el empleo de métodos de trabajo modernos.
- 8) Fomentar, asimismo, la creación de un tejido empresarial dedicado a la realización de productos de valor añadido a partir de los datos

generados en el PNOA (mosaicos, servidores web, realidad virtual, estereogramas sintéticos, integración de imágenes en navegadores GPS, etc.).

4. ASPECTOS TÉCNICOS MÁS RELEVANTES

4.1. Elección de la Escala de Vuelo, tamaño de píxel de Ortofoto y periodicidad del recubrimiento

Uno de los factores que han dificultado hasta ahora la utilización de un vuelo único es que cada organismo ha sentido la necesidad de optimizar la elección de estos tres factores según sus exclusivas necesidades y posibilidades presupuestarias, sin tener en cuenta las posibles sinergias con otros. Por ejemplo, a ciertos organismos (como el IGN o el Centro Cartográfico del Ejército) les puede bastar una escala de vuelo 1:40.000 y un tamaño de píxel de 1 m, mientras que otros necesitan escalas y resoluciones mayores. A ciertos organismos les puede bastar un recubrimiento cada 5 años, porque es la frecuencia con que necesitan actualizar sus bases de datos, mientras que otros tienen necesidad de recubrimientos más frecuentes del mismo territorio, o bien de un recubrimiento de una zona en unas fechas concretas (p.e. Catastro, Medio Ambiente, Agricultura, etc.).

¿Dónde está, pues, la clave para lograr el acuerdo para la realización de un proyecto común? Creemos que el punto fundamental es la elección de unos parámetros de vuelo y un conjunto de productos derivados que puedan servir para que cada organismo participante satisfaga la mayor parte de sus necesidades. Esto se debe lograr por consenso mediante diálogo intergubernamental.

Después de realizar un estudio de las características de los vuelos y los productos derivados que ha venido realizando cada organismo de la AGE y de las CCAA, así como los que han venido utilizando, o los que necesitarían utilizar, aquellos organismos que tradicionalmente no han tenido presupuestos o vocación de productores de información fotogramétrica, se llega a la conclusión de que dicho "proyecto óptimo" tiene las siguientes características básicas:

- Vuelo Fotogramétrico a escala 1:30.000 en negativo color
- Frecuencia de actualización de 2 años
- Apoyo cinemático GPS en vuelo

- Escaneado con 12 a 15 micras de resolución
- Aerotriangulación digital por métodos automáticos
- Modelo Digital del Terreno y de Superficies con paso de malla de 5 m y precisión altimétrica de 2 m (EMC)
- Ortofotos digitales en color con tamaño de píxel de 0,5 m y precisión planimétrica de 1 m (EMC) (Figura 3)

Pensamos que un vuelo de estas características cubre la gran mayoría de las necesidades de todos los organismos llamados a participar en el proyecto.

En cuanto al parámetro fundamental, que es la escala de vuelo, según se ve en el cuadro de la figura 4, con un vuelo a escala 1:30.000 adecuadamente tratado se obtienen precisiones planimétricas en torno a 1 m de e.m.c. y altimétrica en torno a los 2 m de e.m.c. Estas precisiones, así como la resolución de imagen (0,5 m aproximadamente) es totalmente suficiente para la realización de una buena cartografía topográfica 1:10.000. En cuanto a la cartografía 1:5.000, el vuelo 1:30.000 tiene la precisión planimétrica suficiente y en cambio sería discutible si tiene la precisión altimétrica y la resolución necesaria. En todo caso, sería muy útil al menos para la actualización de esta cartografía. Por otra parte, la escala de vuelo 1:30.000 es la más económica y, por tanto, la más eficiente si se pretende generar ortofotos con 0,5 m de tamaño de píxel.

Evidentemente, hay todavía algunas necesidades que no quedan cubiertas con un vuelo de este tipo. Lo que este proyecto propone es que cada Comunidad Autónoma complemente el vuelo 1:30.000 del PNOA



Figura 3: Ortofoto digital de 0,5 m de resolución realizada a partir de un vuelo 1:30.000 (cortesía de TRAGSATEC)

I] Características de las Escalas de Vuelo**Superficie total Territorio Nacional (Km²)** 505,956**Recubrimiento longitudinal del vuelo (%)** 60**Recubrimiento transversal del vuelo (%)** 32,4

Tamaño Norte Sur medio de una hoja MTN 50 (m) 18.500

Escala de vuelo	Precisión planimétrica teórica	Precisión altimétrica teórica $3 / 10.000^2 H$	Número de fotografías Territorio Nacional	Precio Producción Ortofoto, euros/km ² color	Coste por km ² respecto Vuelo 30.000 %	Tamaño píxel ortofoto teórico (m) (escaneo 15 micras)	Tamaño píxel ortofoto redondeado
8.000	0,27	0,37	633.211	407,91	1.406,3	0,12	0,10
10.000	0,33	0,46	424.455	261,00	900,0	0,15	0,20
12.000	0,40	0,55	294.760	181,25	625,0	0,18	0,20
15.000	0,50	0,69	188.647	116,00	400,0	0,23	0,25
18.000	0,60	0,83	131.005	80,56	277,0	0,27	0,50
20.000	0,67	0,92	106.114	65,25	225,0	0,30	0,50
22.000	0,73	1,01	87.697	53,93	186,0	0,33	0,50
25.000	0,83	1,15	67.913	41,76	144,0	0,38	0,50
26.000	0,87	1,19	67.789	38,61	133,1	0,39	0,50
28.000	0,93	1,29	54.140	33,29	114,8	0,42	0,50
30.000	1,00	1,38	47.162	29,00	100,0	0,45	0,50
40.000	1,33	1,84	26.528	16,31	56,3	0,60	1,00

II] Características de las Escalas de Mapa

Escala de mapa topográfico deseado	Precisión planimétrica necesaria RMSE, xy (0,2 mm a escala)	Precisión altimétrica necesaria RMSE, z (1/4 equidistancia)	Píxel mínimo necesario para identificación (25 micras a escala)	Píxel máximo necesario para identificación (50 micras a escala)	Escala de vuelo máxima por resolución (escaneado a 15 micras)	Escala de vuelo mínima por resolución (escaneado a 15 micras)
500	0,1	0,05	0,01	0,03	833	1.667
1.000	0,20	0,10	0,03	0,05	1.667	3.333
2.000	0,40	0,20	0,05	0,10	3.333	6.667
5.000	1,00	0,50	0,13	0,25	8.333	16.667
10.000	2,00	1,00	0,25	0,50	16.667	33.333
25.000	5,00	2,50	0,63	1,25	41.667	83.333

Figura 4: Características de las distintas escalas de vuelo

con un vuelo a mayor escala (entre 1:10.000 y 1:18.000) de una parte de su territorio cada año.

El esquema de este vuelo a mayor escala variará en función de las características del territorio de cada Comunidad Autónoma (más o menos poblada, con mayor o menor presión urbanística, agrícola, etc.). Como esquema básico, se podría pensar en realizar cada año un vuelo a escala 1:12.000 ó 1:15.000 de aquellas zonas que sufren mayor presión urbanística y por tanto mayores cambios (zonas urbanas, zonas de costa, etc.) a las que podríamos denominar "zonas calientes". Incluso puede haber alguna Comunidad que considere, por su gran densidad de población, gran diseminación de los núcleos urbanos, presión urbanística, turística, etc., que todo su territorio es "zona caliente" y por tanto merecedor de volarse todos los años.

Como se ve, es un esquema muy flexible, que pensamos que puede adaptarse perfectamente a las particularidades de cualquier Comunidad. La elección del esquema de vuelos complementarios a mayor escala debería estudiarse y consensuarse, en el seno de cada Comunidad Autónoma, entre todos los agentes implicados: Organismos Cartográficos, Consejerías de Urbanismo, Agricultura, Medio Ambiente, etc., así como las Diputaciones Provinciales y Corporaciones Locales. La financiación y gestión de este vuelo complementario podría llevarse a cabo entre to-

dos estos organismos de cada Comunidad Autónoma, según un esquema similar al del proyecto nacional.

4.2. Sistema Geodésico de Referencia

Como es sabido, el Sistema Geodésico de Referencia recomendado para toda la Unión Europea es el ETRS89. Aunque muchos países, entre ellos España, no lo han incorporado todavía a sus series cartográficas, existe una presión cada vez mayor para que esta incorporación se realice lo antes posible. Las razones para ello son múltiples:

- 1) Si la información geográfica de cada país de la UE está en un sistema geodésico distinto, se complica enormemente la generación de bases de datos "sin costuras" a través de las fronteras, y más aún la utilización directa de la información desde los distintos servidores, que propugnan las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE Europea, IDE española, IDE Regionales, etc.).
- 2) La explosión en la utilización del GPS por parte de los ciudadanos hace urgente que toda la información geográfica esté en el mismo sistema geodésico. Es imposible convencer ni enseñar a la gente a manejar dos sistemas de coordenadas distintos, simplemente por razones históricas.

digi

Digi3D

Estación de fotogrametría digital

TopCal21

Cálculos topográficos

MDTop

Modelos digitales del terreno

AeroTri

Programa de aerotriangulación

PLAN RENOVE

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

www.digi21.net

902 21 51 21

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

- 3) Por otra parte, es muy conveniente, también para las bases de datos de los organismos cartográficos, empezar a adoptar el nuevo marco de referencia, que garantiza una consistencia geométrica más acorde con las precisiones obtenidas en la actualidad que el ED50.
- 4) En cuanto al PNOA propiamente dicho, es necesario utilizar a lo largo de todo el proyecto un Sistema Geodésico que permita realizar con plenas garantías los exigentes controles de calidad geométricos que se proponen y que garantice la precisión de los casos geométricos entre provincias, Comunidades Autónomas, etc.

Por tanto, tras consultarlo con el Área de Geodesia del IGN y elevar la propuesta a la Comisión Permanente del Consejo Superior Geográfico, el equipo técnico ha tomado la decisión de que todo el proyecto se realice íntegramente en ETRS89, apoyándose exclusivamente en coordenadas ETRS89 de vértices geodésicos de la red REGENTE. Esto asegura la perfecta coherencia geométrica de todos los productos a través de las distintas Comunidades Autónomas.

Por otra parte, para permitir la utilización de las ortofotos resultantes para la actualización de cartografía y bases de datos que estén todavía en ED50, se van a generar todavía, como un producto derivado complementario, las ortofotos por hojas 1:10.000 proyectadas a ED50.

4.3. Altitudes

De un modo similar a lo que se ha decidido con el Sistema Geodésico, se ha decidido unificar para todo el proyecto los parámetros de transformación de altitudes elipsoidales (proporcionadas por el GPS del avión y del Apoyo de Campo) a ortométricas.

Para ello, el Área de Geodesia del IGN ha realizado el escalado del modelo de geoide IBERGEO 95, para adaptarlo a las cotas ortométricas medidas en los vértices REGENTE. Este modelo de geoide se suministra a todos los organismos y empresas participantes, para utilizarlo a lo largo de todo el proyecto. Cuando próximamente se disponga de un modelo de geoide más detallado o de mayor precisión, será posible aplicar las diferencias entre en el geoide nuevo y el actual a todos los productos generados ahora.

4.4. Especificaciones Técnicas

La dirección técnica del proyecto ha recopilado los Pliegos de Condiciones y Especificaciones Técnicas utilizados últimamente por muchos de los organismos participantes (ICC, ICA, ICV, ITA, etc.), así como las recomendaciones y exigencias de la Unión Europea para la realización de ortofotos para las ayudas de la PAC (SIG Oleícola y SIGPAC).

Una vez estudiados dichos documentos, se han redactado unas Especificaciones Técnicas que pretenden recoger las necesidades de todos los organismos, así como las “mejores prácticas” en cada una de las fases, los últimos avances tecnológicos y el “estado de arte” en las técnicas fo-

togramétricas actuales, así como la experiencia práctica (tanto en la producción directa como en la contratación de la misma, el control de calidad y utilización de los productos) de todos los participantes en las reuniones técnicas. Estas Especificaciones Técnicas se han enviado a todos los organismos participantes, recibido sus sugerencias, correcciones y comentarios, e incorporado las mismas al documento definitivo (ref. 3).

Evidentemente, este documento debe ir evolucionando en los próximos años para irse adaptando a los cambios y avances tecnológicos que se suceden aceleradamente en los campos de la fotogrametría, tratamiento de imágenes, geodesia, orientación directa de sensores, sensores digitales, etc. Nuestra intención es que cada año, antes de la temporada de vuelos, se disponga de un nuevo documento, actualizado según estos cambios, unidos a las experiencias de años anteriores.

Las Especificaciones Técnicas consensuadas recogen todos los aspectos de cada una de las fases del proceso productivo:

- Vuelo Fotogramétrico con GPS diferencial
- Escaneado
- Apoyo de campo con GPS
- Aerotriangulación digital
- Modelos Digitales de Elevaciones (tanto del terreno como de superficie aparente)
- Ortofotos
- Grabación y archivo de productos
- Metadatos.

4.5. Producción

En la organización del proyecto, la gestión directa de la producción se confía a los Equipos Técnicos de las Comunidades Autónomas. Cada uno puede organizarla y gestionarla de acuerdo a sus disponibilidades, siempre que se cumplan las especificaciones del Proyecto Nacional. Lógicamente, pueden también añadir determinaciones o productos que le puedan interesar por motivos propios.

En la mayor parte de los casos, dichos Equipos Técnicos contratarán la realización de las tareas de producción a empresas especializadas, tanto españolas como de la Unión Europea. Como hemos dicho antes, uno de los objetivos del PNOA es fomentar la existencia de un sector empresarial español cada vez más competitivo a nivel internacional.

4.6. Control de calidad

Las Comunidades Autónomas, como órganos contratantes, tienen la obligación de realizar un primer control de calidad de los productos entregados, a fin de recepcionar los mismos. La dirección técnica del proyecto, por su parte, debe realizar a su vez una verificación de estos mismos productos, para asegurarse de que cumplen con todas las especificaciones del Proyecto Nacional. Es conveniente que los procedimientos empleados, así como los valores de tolerancia de cada parámetro con-

trolado, sean acordados también previamente, para evitar discusiones entre la empresa contratista, la Comunidad Autónoma, la dirección del proyecto y los organismos usuarios de los datos.

Lógicamente, el control de calidad debe realizarlo una entidad distinta a la que realiza la producción: una empresa distinta o bien el organismo correspondiente con sus medios propios.

4.7. Metadatos

Como es sabido, hoy en día los Metadatos ("datos sobre los datos") se consideran una parte integral de los productos y datos geográficos de cualquier tipo y no es concebible generar datos sin metadatos completos sobre los mismos.

Se ha redactado un cuadro de Metadatos del Proceso Productivo (ref. 4), sobre el que el personal que realiza la producción debe recoger todos los detalles del proceso seguido (medios humanos y técnicos, proceso de realización, incidencias, etc.) con vistas a asegurar la "trazabilidad" de los productos. Es decir, en cualquier momento se puede saber exactamente cómo y por quién se ha realizado cada uno de los ficheros que componen los datos del proyecto. Esto es imprescindible, tanto para permitir un correcto control de calidad, como para una correcta utilización de los datos generados.

En cuanto a los productos "finales", que son los que prioritariamente interesan al usuario final, evidentemente es necesario generar los metadatos de los mismos según el estándar ISO 19115 (ref. 5). Por tanto, está previsto que, a partir de los Metadatos del Proceso Productivo antes mencionados, generados por las empresas contratistas durante la realización de los trabajos, se obtengan los metadatos ISO 19115, utilizando las herramientas informáticas adecuadas (por ejemplo, el programa CATMDEDIT desarrollado para la IDEE –Infraestructura de Datos Espaciales de España– por encargo de la Comisión de Geomática del CSG), así como su publicación en los catálogos en Internet adecuados y la integración de los datos en la IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España) y otras.

5. ORGANIZACIÓN Y FINANCIACIÓN

La figura 5 muestra un esquema de la Organización del proyecto. Cada Comunidad Autónoma deberá formar un Equipo Técnico, que en principio estaría formado principalmente por personal del organismo con competencias cartográficas, puesto que lógicamente es el que tiene más conocimientos y experiencia en este tipo de proyectos. También es conveniente crear una Comisión de Seguimiento del Proyecto (que puede coincidir con las Comisiones de Planes Cartográficos que tienen constituidas algunas CC.AA.), donde estén representados todos los organismos que van a ser usuarios de los datos (Consejerías de Medio Ambiente, Agricultura, etc., Corporaciones Locales, Diputaciones Provinciales, etc.).

Las misiones de este Equipo Técnico Autonómico deben ser:

- Colaborar en la redacción y actualización de las Especificaciones Técnicas del proyecto
- Actuar de interlocutor y portavoz de la Comisión de Seguimiento Autonómica en el proyecto nacional
- Coordinar las reuniones de la Comisión de Seguimiento Autonómica para la determinación del esquema temporal y espacial óptimo de vuelos básicos 1:30.000 y los complementarios a mayor escala.
- Redactar los Pliegos de Condiciones para realizar las Contrataciones de la Producción y el Control de Calidad, basándose en las Especificaciones Técnicas vigentes.
- Resolver los concursos públicos, realizar el seguimiento de los trabajos, resolver las dudas y problemas de las empresas contratistas, recepcionar los trabajos y enviar los productos al Equipo Técnico Nacional para su validación y diseminación entre todos los organismos participantes.

Por otra parte, el Equipo Técnico Nacional está constituido por personal del IGN, pero también de las CC.AA. y Ministerios que lo deseen. Sus misiones son:

- Actuar de coordinador general del proyecto
- Coordinar la redacción y actualización de las Especificaciones Técnicas del proyecto
- Reunirse y comunicarse con los Equipos Técnicos Autonómicos para resolver dudas o problemas
- Validar los productos suministrados por cada Comunidad Autónoma
- Preparar y gestionar la diseminación de los datos entre todos los organismos participantes.

La financiación de la Producción es compartida entre la AGE y las CC.AA. en una proporción de 66 % para la AGE y 34 % para las CC.AA. Según se ve en el cuadro de la figura 6, se estima que la producción de todas las fases, a precio de mercado actual, tiene un coste de 29 euros/km². El coste anual (de la mitad del territorio español) de la producción es, por tanto, de 7.336.638 €, repartidos así: 2.494.457 (9,86 €/km²) a financiar por las CC.AA. y 4.842.181 (19,14 €/km²) a financiar por la AGE.

A esto habría que añadir los costes del Control de Calidad, estimados en 1,25 €/km² anuales para las CC.AA. y 4,35 €/km² anuales para la AGE, así como los costes de gestión del proyecto, que aunque son difíciles de evaluar, se han estimado en principio en 2,66 €/km² para las CC.AA., y 1,15 €/km² para la AGE.

Falta por valorar los costes de diseminación de los datos (creación y mantenimiento de páginas web, servidores de imágenes, servidores FTP, catálogos de metadatos, realización de copias de los conjuntos de datos y productos a petición de los organismos participantes, distribución al público, etc.).

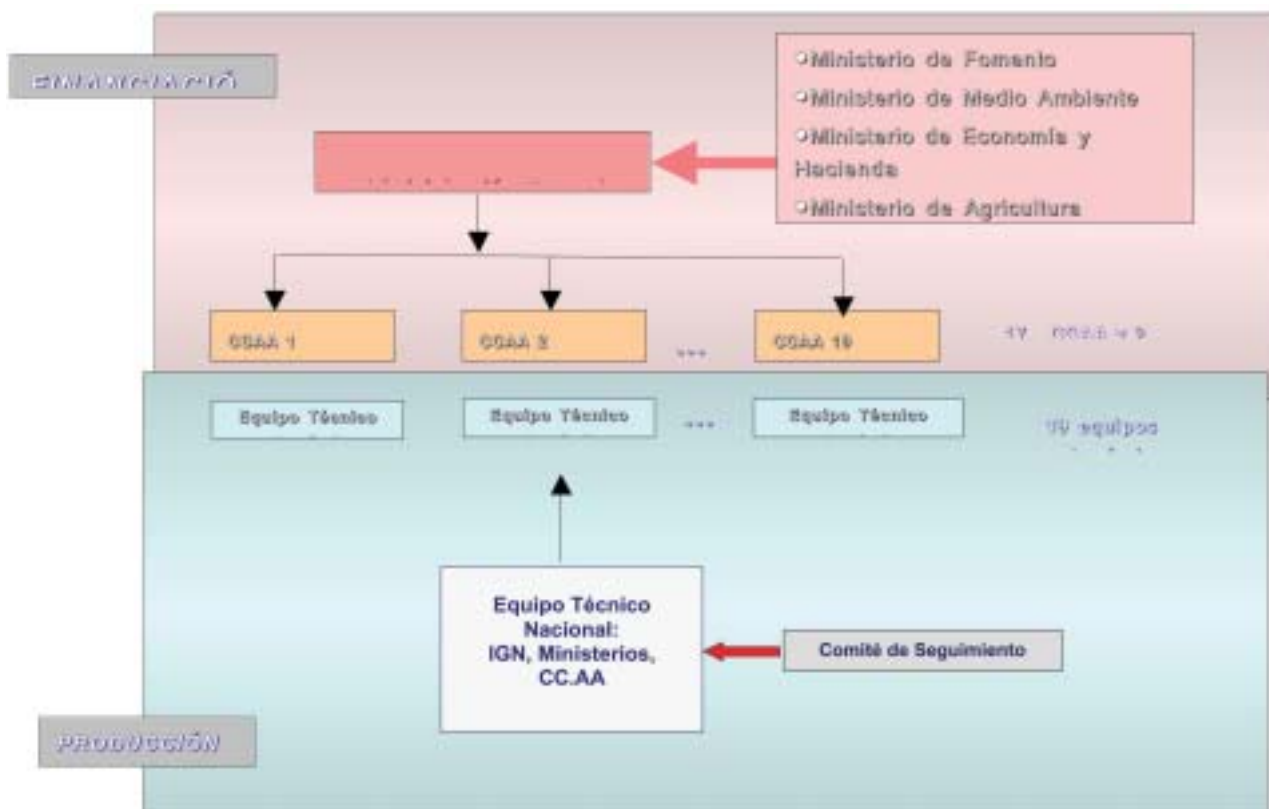


Figura 5: Esquema de la organización del Proyecto

	C.A.	A.G.E.
Aportación económica total (€/Km ² /año)	15,02	24,63
Gestión	2,66	1,15
Producción	9,86	19,14
Control de Calidad	1,25	4,35

Figura 6: Aportaciones económicas anuales

7. DISEMINACIÓN DE LOS DATOS

La política de datos a aplicar a los productos generados será consensuada con cada Comunidad Autónoma. Lógicamente, todos los organismos participantes deben tener acceso total a los datos, sin ningún tipo de restricciones, desde el mismo instante en que están disponibles (no olvidemos que la actualidad de los productos es un factor crítico en este proyecto).

En general, se pretende que los datos tengan la mayor difusión entre todos los agentes sociales a los que puedan ser de utilidad. En caso de que se aplicase un precio a los productos, estos deberían ser acordes con las tendencias europeas (costes marginales de distribución, los cuales en el caso de los productos digitales servidos por Internet – ficheros comprimidos en el caso de las imágenes – pueden llegar a ser despreciables).

8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Creemos que este proyecto puede marcar una nueva forma de obtención cooperativa y descentralizada de la información geográfica en España, que en el futuro podría aplicarse igualmente a la obtención, explotación y diseminación de otros tipos de información: cartografía topográfica, ocupación del suelo, geodesia, etc. La Directiva INSPIRE de la Comisión Europea nos obliga a todos a seguir esta vía, en aras del bien común y el desarrollo de nuestra sociedad.

9. REFERENCIAS

- (1) Comisión de las Comunidades Europeas. "Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece una Infraestructura de Información Espacial en la Comunidad (INSPIRE)". Bruselas, 23.7.2004. COM(2004) 516 final
- (2) Ministerio de Fomento. "Plan Estratégico del Instituto Geográfico Nacional. 2003-2006".
- (3) Instituto Geográfico Nacional. Especificaciones Técnicas para el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Marzo de 2004.
- (4) Instituto Geográfico Nacional. Metadatos del Proceso Productivo para el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.
- (5) ISO/TC 211 N 1377: Revised text of 19115 Geographic information - Metadata, as sent to the ISO Central Secretariat for registration as FDIS. ■

Una poderosa nueva incorporación al
más productivo conjunto de soluciones
de medición de la industria ...

MENSI 3D Láser escáners



Presentamos la más reciente incorporación a nuestra línea de soluciones de Topografía Integrada "toolbox" de Trimble, los sistemas de láser escáner MENS I 3D ahora forman parte de la familia Trimble. Altamente avanzados y muy potentes. Los escáners MENS I y el software RealWorks Survey v.4 le ofrecen versatilidad y productividad para realizar cualquier tarea que pueda plantearse hoy en día y al mismo tiempo le permitirán incrementar las oportunidades de negocio. Incorpore una de estas soluciones a su empresa y se sorprenderá de lo lejos que podrá llegar con ella.

TRIMBLE. SIEMPRE UNA GENERACION POR DELANTE.

Para conocer más detalles acerca de cómo las soluciones de medición MENS I pueden ayudarle a ampliar sus posibilidades, visite: www.trimble.com/mensi

DISTRIBUIDOR EN ESPAÑA:



Santiago & Círculo Ibérica, S. A.
Calle José Echegaray, nº 4
P.A.E. Casablanca 85
28100 Alcobendas Madrid (España)
Tel. +34 902 12 08 70 - Fax. +34 902 12 08 71
www.santiagoibérica.es



Estudio de la influencia de las correcciones geodésicas sobre trabajos topográficos realizados a partir de mediciones clásicas y de GPS

Luis García-Asenjo

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

David Hernández

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

César Llácer

UNIVERSITAT JAUME I

Resumen

En la actualidad, la práctica totalidad de los trabajos topográficos se abordan empleando estaciones totales y mediciones GPS, ya sea en modo estático con postproceso o, lo que cada vez es más habitual, en modo cinemático en tiempo real (GPS-RTK). La necesidad de incluir finalmente los trabajos en un sistema de información geográfica (SIG) o en cartografía existente, obliga inexorablemente a realizar los cálculos en el sistema de referencia geodésico oficial (ED50). A pesar de todo ello, la metodología de cálculo de las coordenadas finales sigue siendo, en muchas ocasiones, similar a la que se llevaba a cabo décadas atrás, cuando el instrumental empleado era óptico mecánico y las distancias se medían con estadía, es decir, empleando un gran número de simplificaciones y con tratamiento local de las mediciones. Este proceder afecta a los resultados finales obtenidos y puede producir serios problemas cuando las coordenadas finales son contrastadas por otros profesionales de la topografía. En la actualidad, gracias a la potencia de los ordenadores personales, es posible calcular cualquier trabajo topográfico de forma prácticamente instantánea y rigurosa, con inclusión de todos aquellos aspectos teóricos antes reservados exclusivamente a trabajos geodésicos. El presente artículo describe el estudio realizado sobre la influencia de las principales correcciones geodésicas en un trabajo topográfico tipo y muestra como, en función de la precisión y extensión del trabajo, sencillas consideraciones en el procesamiento pueden resultar una alternativa al cálculo riguroso.

I. INTRODUCCIÓN

Hace tan sólo un par de décadas el instrumental empleado en los trabajos topográficos difería sustancialmente del empleado para la observación de redes geodésicas de primer orden. Las labores topográficas de relleno estaban limitadas a algunos centenares de metros, al emplearse taquímetros óptico mecánicos de 1' y estadías. La precisión relativa alcanzada era del orden de 1000 ppm y para el trabajo de gabinete se empleaban calculadoras programables. En geodesia de primer orden, por el contrario, se empleaba observación angular de décima de segundo, distancimetría electrónica y mediciones a satélites artificiales, lo que, tras el procesamiento en ordenador, permitía alcanzar precisiones de entre 1 y 10 ppm a distancias de 40 km. Tales diferencias en el instrumental, en el alcance, en la precisión final de las coordenadas obtenidas y en la capacidad de cálculo, conllevaban, inevitablemente, diferencias notables en lo que a metodología de procesamiento se refiere.

En la actualidad, el instrumental geodésico y topográfico es prácticamente común, ya que se emplea fundamentalmente el GPS y, en caso de incluirse observación clásica, se emplean estaciones totales que per-

miten precisiones relativas de unas pocas ppm a distancias de incluso varios kilómetros. Por otra parte, los ordenadores personales son capaces de realizar millones de operaciones por segundo y superan en varios órdenes la potencia de cálculo de que disponían hace dos décadas algunos centros geodésicos. Por tanto, no existe razón para que las metodologías de procesamiento empleadas en los trabajos difiera radicalmente de la empleada en geodesia.

Por otra parte, la utilización cartográfica extensiva de los SIG, a diferencia del tradicional formato por hojas, permite una gestión continua de la misma y obliga a que la mayor parte de los trabajos topográficos de cierto alcance tengan que estar perfectamente referidos al sistema de referencia geodésico oficial ED50.

Todo ello ha supuesto para una parte del colectivo profesional la necesidad de recuperar conocimientos geodésicos, ya que se ha convertido en algo habitual trabajar con mediciones de GPS junto con mediciones obtenidas a partir de estaciones totales. El resultado de las primeras son vectores en el sistema de referencia geodésico WGS84, mientras que las segundas representan vectores en sistemas locales de coordenadas. La relación entre ambos tipos de vectores implican al campo gravitatorio y

es algo sobradamente estudiado en la literatura geodésica, así como la relación entre diferentes sistemas de referencia geodésicos y la representación de coordenadas en una proyección cartográfica.

A pesar de todo, muchos profesionales de la topografía siguen sin incorporar estas cuestiones en la metodología de procesamiento y no es raro encontrarse con diferentes formas de tratar los observables clásicos y los procedentes del GPS-RTK. Mientras que para el tratamiento de observables GPS-RTK se dispone de software propio de cada firma comercial, cargado en la controladora del instrumental, que realiza la totalidad de los cálculos de carácter geodésico, para el tratamiento de los observables clásicos normalmente el software de las estaciones totales incorpora herramientas únicamente para aplicar correcciones meteorológicas y para resolver problemas de la práctica topográfica en un sistema de referencia local, en el mejor de los casos. Saber tratar conjuntamente estos dos tipos de datos es fundamental y hacerlo erróneamente puede conducir a serias equivocaciones que afectarán a las coordenadas finalmente obtenidas. Algunas de las consideraciones geodésicas que intervienen son:

- Para observables clásicos:
 - Reducción de distancias del terreno al elipsoide y proyección del elipsoide al plano UTM.
 - Reducción de lecturas acimutales del terreno al elipsoide y proyección del elipsoide al plano UTM.
 - Error en los desniveles trigonométricos por la corrección estándar de esfericidad.
 - Restitución de superficies terreno a partir de superficies medidas en el plano UTM.
- Para observables GPS-RTK:
 - Correcciones debidas a la transformación de los vectores del sistema geodésico del GPS al sistema geodésico ED50
 - Problemas relativos a la práctica habitual de la referenciación geodésica de los mismos.

La influencia de estas correcciones geodésicas sobre un trabajo topográfico tipo es analizada a lo largo del artículo, evaluando a su vez la importancia que conlleva su exclusión en el cálculo en función del alcance del trabajo, de la precisión del instrumental y de la ubicación. En aquellos casos en que aplicar de forma sistemática una sencilla corrección permite evitar el cálculo riguroso, se proponen estrategias de procesamiento alternativas al cálculo riguroso.

En este artículo no se incluye el estudio de las correcciones de carácter meteorológico, debido a que de la experiencia se deduce la dudosa garantía de la modelización estándar, necesaria para la acotación de sus magnitudes de acuerdo a los objetivos perseguidos.

Todos los cálculos incluidos en este artículo se han realizado con un programa que está en la página web www.sitopcar.com.

2. ZONA DE EJEMPLO

La zona elegida como ejemplo corresponde a la de la obra de encauzamiento del Río Seco desde la autopista A7 hasta su desembocadura, discurriendo del noroeste al noreste de la ciudad de Castellón.

El perímetro de la zona de actuación queda definido por 14 vértices.

Los motivos que han llevado a la elección de esta zona son:

- Se participa en los trabajos topográficos de control de calidad y se han apreciado problemas en relación con lo tratado en este artículo.
- La zona de actuación presenta una forma y dimensiones adecuadas para algunos de los estudios que se van a abordar, al presentar un trazado lineal de unos 12 km y discurrir aproximadamente de este a oeste, la dirección de máxima variación de la anamorfosis lineal de la proyección UTM.
- La ubicación geográfica se sitúa entre los límites de los husos 30 y 31 de la proyección UTM, alcanzándose valores máximos para algunas correcciones de la proyección. Para todos los estudios en que interviene la proyección UTM se ha utilizado el huso 30 expandido.

El principal inconveniente de la zona ejemplo de cara a las correcciones a estudiar es su ubicación en altitud, dado que se encuentra prácticamente al nivel del mar, lo que se traduce en pequeñas magnitudes para correcciones de reducción. Esta cuestión se salvará realizando un nuevo proceso, en el que se traslada globalmente la zona a una altitud de 1.000 m.

Las características de precisión consideradas para el instrumental han sido valores cercanos al estándar:

- Instrumental clásico:
 - Precisión de lecturas acimutales y cenitales: 10 segundos centesimales.
 - Errores de centrado en instrumento y señal y de medida de altura de instrumento: 0,01 m, 0,02 m, y 0,01 m, respectivamente.
 - Distanciómetro: 0,02 m + 5 ppm.
- Instrumental GPS-RTK:
 - Centrado y medida de altura de las antenas: 0,01 m.
 - Precisión interna en el vector: 0,02 m + 5 ppm.

Se ha considerado una distancia de trabajo de 1 km tanto para observaciones clásicas como GPS-RTK, el motivo es que al ser la relación entre la magnitud de la corrección y la distancia aproximadamente lineal, así se obtiene una valoración de magnitud por kilómetro, siendo directo extrapolarla para otra distancia.

3. TRATAMIENTO DE OBSERVABLES CLÁSICOS

3.1. Consideraciones generales

En este epígrafe se analizan los errores que se cometen en un trabajo topográfico referido al sistema geodésico ED50 cuando en el proceso de

cálculo con observables clásicos se obvian o simplifican las correcciones para referirlos al sistema geodésico, considerándose la metodología de cálculo clásica, en la que se consideran las correcciones a los observables agrupadas en: operaciones de reducción y operaciones de proyección.



Se entiende por reducción de observables las operaciones de cálculo que permiten obtener los observables geodésicos sobre la superficie del elipsoide a partir de los valores en el terreno. Se entiende por proyección de observables el paso de los mismos de la superficie del elipsoide al plano de una proyección cartográfica. En este artículo se considerará el caso de la proyección UTM por su carácter oficial.

También se estudiará el error que se introduce en altimetría por obtener desniveles trigonométricos con la conocida como corrección topográfica de esfericidad.

SISTEMA GEODÉSICO ED50
 Huso global del estudio = 30.
 Coordenadas U.T.M. en el huso global de los límites de la zona, en metros.
 Coordenadas geodésicas en formato pseudo decimal sexagesimal.

Pto.	X. U.T.M.	Y. U.T.M.	HUSO	Latitud	Longitud
1	749000.0000	4431200.0000	30	39.59370364	-0.05008063
2	749200.0000	4431600.0000	30	39.59497810	-0.04518315
4	751000.0000	4431200.0000	30	39.59349066	-0.03365798
6	753000.0000	4432400.0000	30	40.00116290	-0.02106741
8	754000.0000	4433400.0000	30	40.00429394	-0.01271488
10	757200.0000	4433500.0000	30	40.00426923	0.00477837
12	758000.0000	4433100.0000	30	40.00288583	0.01209087
14	758900.0000	4432800.0000	30	40.00181504	0.01583849
13	758900.0000	4432400.0000	30	40.00051949	0.01578111
11	758000.0000	4432500.0000	30	40.00094248	0.01200509
9	757200.0000	4432900.0000	30	40.00232586	0.00469285
7	754000.0000	4432800.0000	30	40.00235051	-0.01279935
5	753000.0000	4431600.0000	30	39.59457163	-0.02117953
3	751000.0000	4430600.0000	30	39.59154716	-0.03374136

Altitud ortométrica mínima = 1.000 m.
 Altitud ortométrica máxima = 75.000 m.

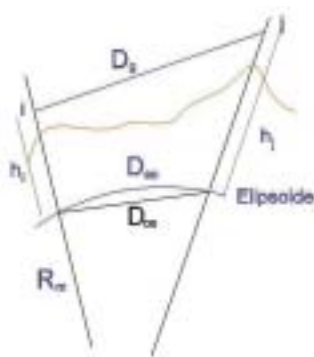
Se van a considerar los observables clásicos resultado de la observación con estación total o teodolito y distanciómetro: observación de lecturas horizontales dentro de una vuelta de horizonte, lecturas cenitales, distancias geométricas, altura de instrumento y altura de prisma.

A partir de las lecturas de una vuelta de horizonte realizada en un vértice de posición conocida, en un sistema de referencia geodésico, en la que además se incluye la visual a otro vértice conocido, se puede determinar el acimut en diferentes sistemas de coordenadas para el resto de las visuales integrantes de la vuelta de horizonte.

3.2. Reducción de observables del terreno al elipsoide

3.2.1. Reducción de distancias

Es el paso de la distancia geométrica terreno a la longitud de la línea geodésica sobre la superficie del elipsoide, definida por la proyección de los puntos extremos según sus verticales geodésicas.



La reducción de distancias se acostumbra a realizar en dos pasos:

1. Paso de la distancia geométrica, D_g , a la distancia cuerda elipsoide, D_{cei} :

$$D_{cei}^j = \frac{(Dg_i^j)^2 - (h_j - h_i)^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{h_j}{R_m}\right)\left(1 + \frac{h_i}{R_m}\right)}}$$

expresión en la que intervienen las altitudes elipsoidales de los extremos, $h = H + N$ (con H la altitud ortométrica y H la ondulación del geoide) y en la que se aproxima la línea geodésica por un arco de circunferencia. El radio adoptado para dicho arco suele ser el correspondiente al promedio del radio de Euler de las secciones normales mutuas, aunque se puede aproximar por la media aritmética del radio medio de Gauss, R_m ,

$$R_m = \frac{1}{2} (\sqrt{v_i \rho_i} + \sqrt{v_j \rho_j})$$

siendo necesario calcular los radios principales de curvatura del elipsoide en los extremos de la línea

$$v(\varphi) = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}, \quad \rho(\varphi) = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

A menudo la distancia de partida no es la geométrica, sino su reducción al plano horizonte del punto estación, correspondiendo entonces las altitudes elipsoidales a las marcas en el terreno.

Cada día más cerca de usted

Nuevo Topocenter Levante



Topocenter Levante
grupo al-top

Tlf. 618 557 128
jdelrio@al-top.com



Topocenter Galicia
grupo al-top

Topocenter País Vasco
grupo al-top

Topocenter Madrid
grupo al-top

Topocenter BCN
grupo al-top

Topocenter Balears
grupo al-top

Tlf. 660 125 100 • gtorrella@al-top.com



Topocenter BCN
grupo al-top

Tlf. 93 340 05 73 • 656 848 582
oilorens@al-top.com



Topocenter Galicia
grupo al-top

Tlf. 986 77 21 11 • 618 303 238
prodriguez@al-top.com



Topocenter Madrid
grupo al-top

Tlf. 91 371 82 98 • 629 590 874
bperez@al-top.com



Topocenter País Vasco
grupo al-top

Tlf. 945 13 10 24 • 616 012 096
ylopezdeforne@al-top.com

Red de distribución autorizada en toda la península

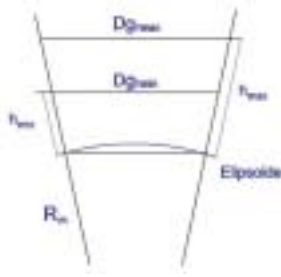
20
al-top
TOPOGRAFIA

Trimble
SERVICIO TÉCNICO OFICIAL

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

al-top
TOPOGRAFIA

A continuación se apunta una metodología que puede simplificar en gran medida el paso 1 bajo ciertas condiciones.



Considérese la figura anterior en la que se representan puntos a la máxima y mínima altitud elipsoidal en la zona de trabajo. Para puntos a igual altitud elipsoidal, se observa que el paso 1 equivale a aplicar una semejanza de triángulos. Para toda la zona de trabajo el factor de semejanza oscilará entre el obtenido para la máxima y mínima altitud elipsoidal. Si se considera un factor de escala único para resolver el paso 1 en toda la zona de trabajo, aparecerán errores tanto menores cuanto menor sea la diferencia de altitud elipsoidal en la zona. Los resultados para la zona ejemplo son:

• Con al altitud real próxima al nivel del mar:

- Paso de la distancia terreno a la cuerda elipsoide:
Calculado para una observación de las siguientes características:
 - Puntos extremos a la menor latitud de la zona
 - Distancia máxima de medida entre los puntos = 1000,000 m
 - Máxima y mínima altitud elipsoidal
 - Aproximación sección normal a arco de circunferencia con radio medio de Gauss para latitud mínima de la zona = 6374609,239
 - Ondulación máxima del geode en la zona = -19,834

hortini	hortfin	Dist.geo	Dist.red	Dist.ce	Dist.ae	f.escala
75,000	75,000	1000,0000	1000,0000	999,9913	999,9913	0,99999135 = -8,65 ppm
1,000	1,000	1000,0000	1000,0000	1000,0030	1000,0030	1,00000296 = 2,96 ppm

Resultados:

- F.Escala Red.Distancia medio = -2,85 ppm
- Mayor diferencia a F.Escala medio = 5,80 ppm
- Mayor error en dist.máxima = 0,006 m
- Precisión instrumental en d.máxima = 0,034 m

CONCLUSION: Reducir las distancias al elipsoide aplicando un factor de escala común en toda la zona introduce un error inferior a la precisión de las mismas.

El factor de escala de reducción de distancia es tan próximo a la unidad que se puede prescindir de reducción de distancias del terreno al elipsoide.

• Con una altitud de la zona incrementada en 1000 m

- Paso de la distancia terreno a la cuerda elipsoide:
Calculado para una observación de las siguientes características:
 - Puntos extremos a la menor latitud de la zona
 - Distancia máxima de medida entre los puntos = 1000,000 m
 - Máxima y mínima altitud elipsoidal
 - Aproximación sección normal a arco de circunferencia con radio medio de Gauss para latitud mínima de la zona = 6374609,239
 - Ondulación máxima del geode en la zona = -19,834

hortini	hortfin	Dist.geo	Dist.red	Dist.ce	Dist.ae	f.escala
1075,000	1075,000	1000,0000	1000,0000	999,8345	999,8345	0,99983451 = -165,49 ppm
1001,000	1001,000	1000,0000	1000,0000	999,8461	999,8461	0,99984611 = -153,89 ppm

Resultados:

- F.Escala Red.Distancia medio = -159,69 ppm
- Mayor diferencia a F.Escala medio = 5,80 ppm
- Mayor error en dist.máxima = 0,006 m
- Precisión instrumental en d.máxima = 0,034 m

CONCLUSION: Reducir las distancias la elipsoide aplicando un factor de escala común en toda la zona introduce un error inferior a la precisión de las mismas.

Se concluye que el error que se comete por kilómetro de distancia al considerar un factor de escala de reducción común para toda la zona, puede despreciarse al ser de 6 mm. El factor de escala en el caso real, al nivel del mar, es despreciable al ser de -3 ppm (-3 mm/km), mientras que para una altitud de 1000 m el factor de escala de reducción no es despreciable, al ser de -160 ppm (-16 cm/km).

2. Paso de la distancia cuerda elipsoide, D_{ce} , a la distancia arco elipsoide, D_{ae} :

$$D_{ae} = 2R_m \arcsin\left(\frac{D_{ce}}{2R_m}\right)$$

El paso 2 a menudo se puede obviar, cuando las distancias de trabajo son pequeñas, debido al alto valor que adopta el radio de curvatura. Así, para la zona ejemplo se obtiene:

• Paso de la cuerda elipsoide al arco elipsoide:

Se calcula el máximo de la expresión de corrección con:

- Distancia máxima = 1000,000
- Valor mínimo del radio medio de Gauss = 6374609,239
- Valor máximo del radio medio de Gauss = 6374627,186
- Mayor error en dist.máxima por no aplicar = 0,003 m
- Precisión instrumental en distancia máxima = 0,034 m

CONCLUSION: Despreciar la corrección por paso de la cuerda al arco en las distancias introduce un error inferior a la precisión de las mismas.

Se concluye que el error que se comete por kilómetro de distancia al no considerar esta corrección, puede despreciarse, al ser de 3 mm en el caso más desfavorable.

En teoría existe un tercer paso que permite obtener la longitud de la línea geodésica a partir de la sección normal, de expresión

$$S_{gi}^j = D_{aei}^j - \frac{\eta_i^4 \sin^2(2\theta_{gi}^j)}{360v_i^4} (S_{gi}^j)^5$$

Sin embargo, esta corrección no se considera, al adoptar valores de 0,07 mm en una distancia de 1.000 km.

Adviértase que no se han considerado en el estudio las correcciones debidas a efectos meteorológicos, que se aconseja aplicar siempre.

3.2.2. Reducción de lecturas acimutales

Con esta operación, a la lectura acimutal en el terreno, correspondiente al plano vertical definido por el eje del instrumento y el punto

observado, se le hace corresponder la dirección acimutal de la línea geodésica sobre la superficie del elipsoide, definida por la proyección de los puntos extremos según sus verticales geodésicas.

La reducción de lecturas acimutales se puede plantear en varios pasos:

1. Corrección por desviación relativa de la vertical en el terreno:

$$L_{gli}^j = L_i^j + C_{1i} + C_{2i}^j$$

Donde la ecuación completa de Laplace

$$C_{1i} + C_{2i}^j = -\eta_i \tan \varphi_i - (\xi_i \sin \theta_{gi}^j - \eta_i \cos \theta_{gi}^j) \cot V_{gi}^j$$

se considera desglosada en dos: la primera, función del punto estación e independiente de la dirección, y la segunda, función del punto estación y de la dirección en cuestión. En estas expresiones aparecen las componentes de la desviación relativa de la vertical en la dirección del meridiano y primer vertical:

$$\xi = \Phi - \varphi, \quad \eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi$$

De las que se puede deducir el valor para cualquier otra dirección en función de su acimut geodésico, θ_g ,

$$\varepsilon = \xi \cos \theta_g + \eta \sin \theta_g$$

Estas correcciones no se suelen aplicar, salvo en el cálculo y compensación de redes geodésicas de primer orden, en las que intervinían observaciones astronómicas. El motivo es que hace falta disponer de un modelo de desviaciones relativas de la vertical en el terreno de calidad, y en la geodesia española únicamente se dispone de estos datos en los Puntos Laplace.

Además, cuando se observan vueltas de horizonte en las que se termina trabajando con ángulos, al aparecer en la expresión del acimut de una dirección su lectura sumando y la lectura de la visual de orientación restando, esta corrección se hace despreciable, dado que la primera componente se elimina (por la suma y resta) y la segunda componente es muy próxima a cero, al intervenir en su expresión la cotangente del ángulo cenital multiplicando. En cualquier caso, para que el lector se haga una idea de la magnitud de la segunda corrección, a continuación se incluyen los resultados para la zona de ejemplo a partir de un modelo de desviaciones de la vertical derivado de un modelo de ondulaciones del geoido:

A. Corrección por desviación relativa de la vertical función de la dirección.

- Determinación del máximo de $(\psi \sin(\text{azig}) + \eta \cos(\text{azig})) \cot(V_g)$:
- Máximo de la componente ψ en la zona = -1,10 seg.sexagesimal
 - Máximo de la componente η en la zona = -0,11 seg.sexagesimal
 - Ángulo cenital geodésico extremo = 80,00000000 pseudo sexagesimal
 - Mayor valor de corrección en la zona = -0,21 seg.sexagesimal
 - Lineal a distancia máxima de 1000,000 m = -0,001 m
 - Precisión en lecturas 10,0000 s.cente., lineal a distancia máxima 0,016 m

Se concluye que para el modelo utilizado esta corrección se puede despreciar, al alcanzar un valor de 1 mm para un cenital extremo de 80°, que rara vez se alcanza.

2. Corrección por altitud del punto visado y por paso de la sección normal a la línea geodésica:

$$L_{gi}^j = L_{gli}^j + C_3 + C_4$$

siendo la expresión para la corrección por altitud del punto visado

$$C_3 = \frac{h_j}{2\rho_m} e^2 \cos^2 \varphi_j \sin(2\theta_{gi}^j)$$

y por paso de la sección normal a la línea geodésica

$$C_4 = -\frac{(S_{gi}^j)^2}{12v_i^2} \eta^2 \sin(2\theta_{gi}^j)$$

Estas correcciones no se aplican normalmente, debido a que son muy pequeñas.

Los resultados para la zona ejemplo son:

B. Corrección por altitud del punto visado.

Determinación del máximo de

$$e^2 h / (2 \rho_m \cos^2 \varphi) \sin(2 \theta_{gi}):$$

- Valor máximo de la expresión = 0,0109 seg.cente.
- Error lineal producido a la distancia máxima = 0,0000 m
- Precisión en lecturas 10,0000 s.cente., lineal a distancia máxima 0,016 m

CONCLUSION: El error introducido por despreciar la reducción de lecturas horizontales al terreno por altitud del punto visado es inferior a la precisión instrumental.

C. Corrección por paso de la sección normal a la línea geodésica.

Determinación del máximo de

$$e^2 \text{distmax}^2 / (12 v_i^2 \cos^2 \varphi) \eta^2 \sin(2 \theta_{gi}):$$

- Valor máximo de la expresión = 0,0000 seg.cente.
- Error lineal producido a la distancia máxima = 0,0000 m
- Precisión en lecturas 10,0000 s.cente., lineal a distancia máxima 0,016 m

CONCLUSION: El error introducido por despreciar la reducción de lecturas horizontales al terreno por paso de la sección normal a la línea geodésica es inferior a la precisión instrumental.

Para una altitud global de la zona elevada a 1000 m, la corrección por altitud del punto visado alcanzaría:

B. Corrección por altitud del punto visado.

Determinación del máximo de

$$e^2 h / (2 \rho_m \cos^2 \varphi) \sin(2 \theta_{gi}):$$

- Valor máximo de la expresión = 0,2083 seg.cente.
- Error lineal producido a la distancia máxima = 0,0003 m
- Precisión en lecturas 10,0000 s.cente., lineal a distancia máxima 0,016 m

CONCLUSION: El error introducido por despreciar la reducción de lecturas horizontales al terreno por altitud del punto visado es inferior a la precisión instrumental.

Se concluye que las dos correcciones anteriores son despreciables.

3.3. Proyección de observables del elipsoide al plano UTM

En este epígrafe se va a estudiar únicamente el caso de la proyección UTM por su carácter oficial.

3.3.1. Proyección de distancias

La proyección UTM no conserva las distancias. De acuerdo con la teoría general de deformaciones de una proyección cartográfica, al ser la proyección UTM conforme, la deformación lineal presenta un carácter puntual, la anamorfosis lineal es función de punto y no de dirección. La anamorfosis lineal es, por definición, el factor de escala para obtener la longitud, ds' , de la proyección de un elemento diferencial de línea geodésica en el elipsoide, ds :

$$k_1(\varphi, \lambda) = \frac{ds'}{ds}$$

que para el caso de la proyección UTM es

$$k_1 = k_0 \left(1 + \frac{1}{2} (\Delta\lambda)^2 \cos^2 \varphi (1 + \eta^2) + \frac{1}{24} (\Delta\lambda)^4 \cos^4 \varphi (5 - 4 t^2 + 14 \eta^2 - 28 \eta^2 t^2 + 13 \eta^4 - 48 \eta^4 t^2 + 4 \eta^6 - 24 \eta^6 t^2) \right)$$

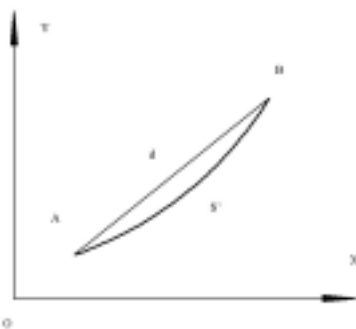
con: $k_0 = 0,9996$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$$

$$t = \tan \varphi$$

En la proyección UTM este coeficiente presenta valores que oscilan entre -400 ppm ($0,9996$) en el meridiano central de un huso y $+400$ ppm ($1,000400$) en sus extremos, presentando simetría respecto al meridiano central.

La proyección de una distancia finita S a S'



pasa por resolver la integral

$$S' = \int_A^B k_1 ds$$

a lo largo de la línea geodésica, admitiéndose como válida la integración numérica de Simpson:

$$S'_{AB} = k_1 S_{AB} \quad k_1 = 6 \left(\frac{1}{k_{1A}} + \frac{4}{k_{1M}} + \frac{1}{k_{1B}} \right)^{-1}$$

La expresión anterior exige conocer las coordenadas de ambos extremos y calcular las del punto medio sobre la línea geodésica, que se suele aproximar por el punto medio sobre la cuerda

$$\left. \begin{aligned} x_m &= \frac{1}{2} (x_i + x_j) \\ y_m &= \frac{1}{2} (y_i + y_j) \end{aligned} \right\} \rightarrow (\varphi_m, \lambda_m)$$

Cuando estos datos son inicialmente desconocidos hay que plantear un proceso iterativo.

Cuando la variación de la anamorfosis lineal es muy pequeña en una zona puede resultar válido, en función de las precisiones de un trabajo, el adoptar un valor medio para toda la zona, con lo que el paso de distancias del elipsoide al plano UTM y viceversa, pasa por multiplicar o dividir las distancias, respectivamente. Además, se puede dar el caso de que el valor medio de la anamorfosis lineal sea muy próximo a la unidad y resulte despreciable, lo que sucederá para esta proyección en zonas distanciadas en longitud del meridiano central del huso correspondiente un valor próximo a $2^\circ 15'$. En la zona de actuación se obtienen los siguientes resultados:

Análisis de la variación de la anamorfosis lineal en la zona:

Pto.	Incremento de Longitud	K	ppm
1	2,54591937	1,00036330	363,3011
2	2,55081685	1,00036453	364,5273
4	2,56234202	1,00037561	375,6143
6	2,57493259	1,00038802	388,0241
8	2,58328512	1,00039427	394,2653
10	3,00477837	1,00041441	414,4079
12	3,01209087	1,00041948	419,4837
14	3,01583849	1,00042521	425,2126
13	3,01578111	1,00042521	425,2133
11	3,01200509	1,00041948	419,4848
9	3,00469285	1,00041441	414,4089
7	2,58320065	1,00039427	394,2663
5	2,57482047	1,00038803	388,0255
3	2,56225864	1,00037562	375,6153

Incremento de longitud al meridiano central del huso en pseudo-decimal-sexagesimal.

- Mínima anamorfosis lineal: 363,3011 ppm en el punto 1
- Máxima anamorfosis lineal: 425,2133 ppm en el punto 9
- Diferencia entre máxima y mínima anamorfosis lineal 61,9122 ppm
- Anamorfosis lineal media para la zona: $k = 1,00039728$
- Mayor diferencia a la anamorfosis lineal media en la zona: 33,9740 ppm en el punto 1
- Error en la distancia máxima de trabajo por tomar anamorfosis lineal media = 0,0340 m
- Precisión instrumental en distancia máxima = 0,034 m.

CONCLUSION: Proyectar las distancias utilizando la anamorfosis lineal media en toda la zona introduce un error similar a la precisión instrumental.

Se concluye que utilizar el valor medio de anamorfosis lineal de 397,28 ppm hace que se introduzca un error de hasta 34 ppm (3,4 cm/km) que viene a coincidir con la precisión del instrumental distanciométrico.

Nuevo Servicio

Alquiler Ecosonda con GPS para batimetrías

Campoamor 65 - 67 Bajo
46022 VALENCIA

Móvil 608 067 396

ALQUILER Y VENTA DE
MATERIAL TOPOGRÁFICO

SERVICIO TÉCNICO OFICIAL LEICA
NIVELES LASER



☎ **963 711 698**



Narváez

Topografía, S.L.

La alta variación de la anamorfosis lineal en la zona se debe a su forma y ubicación geográfica. Si la zona de trabajo se divide en dos mitades en la dirección de la longitud geodésica, oriental y occidental, se obtienen los siguientes resultados:

• Zona occidental:

Análisis de la variación de la anamorfosis lineal en la zona occidental:

Pto.	Incremento de Longitud	K	ppm
1	2,54591937	1,00036330	363,3011
2	2,55081685	1,00036453	364,5273
4	2,56234202	1,00037561	375,6143
6	2,57493259	1,00038802	388,0241
8	2,58328512	1,00039427	394,2653
7	2,58320065	1,00039427	394,2663
5	2,57482047	1,00038803	388,0255
3	2,56225864	1,00037562	375,6153

Incremento de longitud al meridiano central del huso en pseudo-decimal-sexagesimal.

- Mínima anamorfosis lineal: 363,3011 ppm. en el punto 1
- Máxima anamorfosis lineal: 394,2663 ppm. en el punto 6
- Diferencia entre máxima y mínima anamorfosis lineal 30,9653 ppm
- Anamorfosis lineal media para la zona: k 1,00038045
- Mayor diferencia a la anamorfosis lineal media en la zona: 17,1538 ppm en el punto 1
- Error en la distancia máxima de trabajo por tomar anamorfosis lineal media = 0,0172 m
- Precisión instrumental en distancia máxima = 0,034 m

CONCLUSION: Proyectar las distancias utilizando la anamorfosis lineal media en toda la zona introduce un error inferior a la precisión instrumental.

• Zona oriental:

Análisis de la variación de la anamorfosis lineal en la zona oriental:

Pto.	Incremento de Longitud	K.	ppm.
8	2,58328512	1,00039427	394,2653
10	3,00477837	1,00041441	414,4079
12	3,01209087	1,00041948	419,4837
14	3,01583849	1,00042521	425,2126
13	3,01578111	1,00042521	425,2133
11	3,01200509	1,00041948	419,4848
9	3,00469285	1,00041441	414,4089
7	2,58320065	1,00039427	394,2663

Incremento de longitud al meridiano central del huso en pseudo-decimal-sexagesimal.

- Mínima anamorfosis lineal: 394,2653 ppm en el punto 1
- Máxima anamorfosis lineal: 425,2133 ppm en el punto 5
- Diferencia entre máxima y mínima anamorfosis lineal 30,9480 ppm
- Anamorfosis lineal media para la zona: k 1,00041334
- Mayor diferencia a la anamorfosis lineal media en la zona: 19,0775 ppm en el punto 1
- Error en la distancia máxima de trabajo por tomar anamorfosis lineal media = 0,0191 m
- Precisión instrumental en distancia máxima = 0,034 m

CONCLUSION: Proyectar las distancias utilizando la anamorfosis lineal media en toda la zona introduce un error inferior a la precisión instrumental.

Se concluye que tanto en la zona occidental como en la oriental, el error que introduce utilizar el valor promedio de anamorfosis lineal obtenido, 380 ppm y 413 ppm, respectivamente, introduce errores inferiores a 0,02 m, por debajo de la precisión instrumental, quedando a juicio del responsable del trabajo el decidir si son despreciables.

De acuerdo a la figura anterior, para obtener la distancia de la cuerda que une la proyección de los extremos de la línea geodésica habría que aplicar una última corrección

$$d = s' - \frac{1}{24} \left(\frac{x_m}{\rho_m v_m k_o^2} \cos \theta_{cuerda} \right)^2 s'^3$$

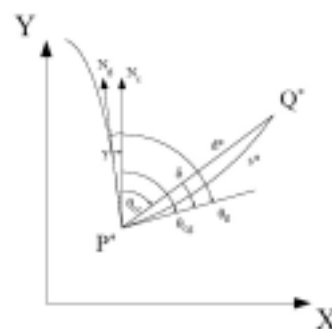
Esta corrección no se suele aplicar debido a su pequeña magnitud. Para la zona de ejemplo, el máximo valor que alcanza es de 0,001 mm.

Se concluye que carece de sentido aplicar esta corrección.

3.3.2. Proyección de lecturas horizontales

El que la proyección UTM sea conforme implica que se conserva el ángulo formado entre cualesquiera dos curvas que se consideren en el elipsoide y el formado por las curvas proyectadas correspondientes.

Sin embargo, tal y como se muestra en la siguiente figura, en general, la proyección de una línea geodésica sobre el elipsoide no es una línea geodésica sobre el plano UTM, a pesar de que el acimut geodésico origen coincide con el formado por la transformada de la geodésica y por la transformada del meridiano del punto en el que se evalúa el acimut.



En la figura anterior se observa el ángulo conocido como convergencia de meridianos, γ , que corresponde al ángulo que forma en cada punto el norte cartográfico con el norte geodésico. La convergencia de meridianos es función de punto, no dependiendo de la dirección considerada, y de ahí que cuando se trabaja con vueltas de horizonte se obtiene el acimut cartográfico de una dirección a partir de la desorientación de la vuelta con respecto al norte cartográfico, deducido de una dirección en la que es conocido dicho acimut, la convergencia

de meridianos resultante aparece sumando y restando, por lo que no se considerará en este artículo.

Una vuelta de horizonte en el terreno sometida a las operaciones de reducción al elipsoide, si dichas correcciones fueran de una magnitud que obligaran a ello de acuerdo con la zona de actuación y con las exigencias de precisión del trabajo, corresponde a lecturas acimutales de líneas geodésicas sobre el elipsoide. La proyección de la vuelta de horizonte sobre el plano UTM se traduce en obtener las lecturas acimutales correspondientes a las líneas geodésicas, a las rectas, que unen la proyección de los extremos de las líneas geodésicas en el elipsoide. De acuerdo a la teoría de cartografía matemática, la proyección de cada lectura acimutal pasa por aplicar la siguiente expresión:

$$L_{ccP^*} = L_{gP} - \delta_{P^*}^{\varphi}$$

siendo δ la denominada reducción angular de la cuerda de la dirección

$$\delta_{P^*}^{\varphi} = \frac{(y_{Q^*} - y_{P^*}) + (2x_{P^*} + x_{Q^*})}{6 \nu_m \rho_m} (1 + \eta_m^2)$$

$$y = \frac{y}{k_0}, \quad x = \frac{x - T_x}{k_0}, \quad k_0 = 0,9996, \quad T_x = 500,000, \quad \eta_m^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$$

siendo frecuente aproximar el punto medio sobre la geodésica en el elipsoide por el punto medio en la geodésica sobre el plano UTM, al igual que para el cálculo de la anamorfosis lineal a aplicar a una distancia finita.

Observando la expresión de la reducción angular de la cuerda se aprecia que, dado un punto origen i y una distancia d , variará para cada dirección, alcanzado valores máximos en la dirección del norte cartográfico y anulándose en la paralela al eje de abscisas. Considerando además la variación del signo, el ángulo crítico sería el formado por las direcciones del norte y sur cartográfico, en la que la corrección puede llegar a ser del doble de la obtenida en la acotación de esta variable.

La pregunta de nuevo es si es necesario aplicar esta corrección, lo que pasa por acotar el orden de magnitud de la misma y compararlo con las exigencias de precisión del trabajo en cuestión. El problema, al igual que en correcciones anteriores, es que es función de las dimensiones y forma del elipsoide y de la propia línea geodésica considerada. En consecuencia, el estudio de esta corrección pasa por buscar su máximo para la zona de actuación y para la distancia máxima de trabajo.

Los resultados para la zona ejemplo son:

Determinación del máximo de la reducción angular de la cuerda en la zona.

- Máximo de $(y_b - y_a)$, con y/k_0 :
 y máxima = 4435274,1096 m
 y mínima = 4432372,9492 m
 $(y_{\max} - y_{\min})$ = 2901,1605 m

- Máximo de $(2 * x_a + x_b)$, con $(x - 500000)/k_0$:
 x máxima = 259003,6014 m
 $(2 * x_{\max} + x_{\min})$ = 777010,8043 m
 - Mínimo de $6 * R_m^2$, con $R_m^2 = \text{gran_normal} * r_{c_elip_meridiana}$:
 - latitud mínima = 39,59154716 pseudo-decimal-sexagesimal.
 - mínimo gran normal = 6387260,3698 m
 - mínimo $r_{c_elip_meridiana}$ = 6361983,1663 m
 - mínimo de $6 * R_m^2$ = 243813857707622,7500 m^2 .
 - Máximo de $(1 + e^2 * (\cos(\varphi))^2)$:
 - latitud mínima = 39,59154716 pseudo-decimal-sexagesimal.
 - máximo de $(1 + e^2 * (\cos(\varphi))^2)$ = 1,00397316
 - Reducción angular de la cuerda máxima = 5,9094 seg.cente
 - Error lineal por máximo reducción angular de la cuerda a la distancia máxima = 0,009 m
 - Precisión en lecturas 10,0000 s.cente., lineal a distancia máxima 0,016 m
- CONCLUSION: El error introducido por despreciar la corrección por reducción angular de la cuerda es inferior a la precisión instrumental

Se concluye que el valor máximo para una visual en la zona es de 6 segundos centesimales, que a la distancia de 1000 m se traduce en un desplazamiento lineal de 0,01 m, del orden de la mitad de la precisión instrumental. Sin embargo, si una vuelta de horizonte se orientara con una visual en la dirección del norte cartográfico y luego se obtuviera el acimut cartográfico de una visual hacia el sur cartográfico, el error por despreciar esta corrección sería del doble, del orden de 12 segundos centesimales, de 0,02 m de desplazamiento lineal. Esta corrección tiene más importancia de la que se le acostumbra a dar y debería ser tenida en cuenta en muchos trabajos topográficos, tales como instauración de redes topográficas, apoyo fotogramétrico, etc.

3.3.3. Restitución de superficies terreno a partir de superficies medidas en el plano UTM

En topografía es frecuente obtener la superficie de un recinto a partir de un plano en la proyección UTM. Sin embargo, esto puede obligar a tener en cuenta una serie de correcciones, debido a que la superficie que normalmente interesa es la existente sobre el terreno si la precisión buscada lo exige.

La proyección UTM no conserva las superficies, no es equivalente. La anamorfosis superficial es, por definición, el factor de escala para obtener la superficie, dS' , de la proyección de un elemento diferencial de área en el elipsoide, dS :

$$k_2(\varphi, \lambda) = \frac{dS'}{dS}$$

En la proyección UTM este coeficiente puntual es, al igual que en el resto de las proyecciones conformes, el cuadrado del coeficiente de anamorfosis lineal,

$$k_2(\varphi, \lambda) = k_1^2(\varphi, \lambda)$$

La superficie de la proyección de un recinto finito se debe obtener a partir de la integración

$$S_R' = \iint_R k_1^2(\varphi, \lambda) d\varphi d\lambda$$

Cuando la variación de la anamorfosis superficial es muy pequeña en una zona puede resultar válido, en función de las precisiones de un trabajo, el adoptar un valor medio para toda la zona, con lo que el paso de superficies del elipsoide al plano UTM y viceversa pasa por multiplicar o dividir las superficies, respectivamente. Además, se puede dar el caso de que el valor medio de la anamorfosis superficial sea muy próximo a la unidad y resulte despreciable, lo que sucederá para esta proyección en zonas distanciadas en longitud del meridiano central del huso correspondiente un valor próximo a 2°15'.

Una alternativa más rigurosa consiste en obtener la proyección de los vértices del perímetro del recinto en una sencilla proyección equivalente, como, por ejemplo, la proyección cilíndrica directa equivalente de Lambert.

Si lo que se desea obtener es la superficie en el terreno, puede llegar a ser necesario considerar la oportuna operación de "reducción" del elipsoide al terreno, lo que será sencillo si se puede aproximar por un factor de escala, tal y como se analizó anteriormente.

Para todas las consideraciones anteriores, en la zona de actuación se obtienen los siguientes resultados:

Cálculos en la proyección UTM, huso = 30	
- Perímetro de la zona de actuación	= 22370,1 m
- Superficie de la zona de actuación	= 5950000,0 m ²
- Superficie sobre el elipsoide	= 5945275,2 m ²
- Calculada con anamorfosis media	= 1,00039728
- Superficie sobre el terreno	= 5945309,1 m ²
- Calculada con factor de escala medio	= 0,99999715
Cálculos en la Proyección Cilíndrica Directa Equivalente de Lambert	
- Superficie de la zona de actuación	= 5945333,4 m ²
- Superficie sobre el terreno	= 5945367,2 m ²
- Calculada con factor de escala medio	= 0,99999715
- Diferencia elipsoide-terreno	= 33,8 m ² 5.6912 ppm
Precisión en la superficie	= 202,8 m ² 34.1117 ppm
- Calculado con un error en cada punto	= 0,034 m
Errores en la superficie obtenida a partir de UTM:	
- Error sobre el elipsoide sin aplicar k media	= -4666,6 m ² -784,9169 ppm
- Error sobre el elipsoide aplicando k media	= 58,2 m ² 9,7832 ppm

La precisión *a priori* en la determinación de la superficie, bajo la consideración de un error *a priori* en cada uno de los vértices de 0,034 m (de acuerdo a la precisión instrumental), de acuerdo a la ley de propagación de errores, es aproximadamente de 200 m² evaluada sobre el plano de la proyección UTM.

En lo que se refiere a los errores de la superficie medida sobre el elipsoide, la medición directa en el plano UTM, sin aplicar la anamorfosis lineal media, presenta un error de -4666,6 m² (-784,9 ppm), y apli-

cando la anamorfosis media el error decrece a 58,2 m² (9,8 ppm), del orden de una cuarta parte de la precisión con la que se puede determinar esta variable.

En lo que se refiere a la "reducción" del elipsoide al terreno, la superficie únicamente aumenta 34 m², por el hecho de que la zona está muy próxima al nivel del mar. Sin embargo, si la altura global de la zona se incrementa en 1000 m, la disminución de la superficie en el terreno es de 1899,3 m² (319,5 ppm), tal y como muestran los siguientes resultados.

Cálculos en la proyección UTM, huso = 30	
- Perímetro de la zona de actuación	= 22370,1 m
- Superficie de la zona de actuación	= 59,50000,0 m ²
- Superficie sobre el elipsoide	= 5945275,2 m ²
- Calculada con anamorfosis media	= 1,00039728
- Superficie sobre el terreno	= 5947174,5 m ²
- Calculada con factor de escala medio	= 0,99984031
Cálculos en la Proyección Cilíndrica Directa Equivalente de Lambert	
- Superficie de la zona de actuación	= 5945333,4 m ²
- Superficie sobre el terreno	= 5947232,7 m ²
- Calculada con factor de escala medio	= 0,99984031
- Diferencia elipsoide-terreno	= 1899,3 m ² 319,4615 ppm
Precisión en la superficie	= 202,8 m ² 34,1117 ppm
- Calculado con un error en cada punto	= 0,034 m
Errores en la superficie obtenida a partir de UTM:	
- Error sobre el elipsoide sin aplicar k media	= -4666,6 m ² -784,9169 ppm
- Error sobre el elipsoide aplicando k media	= 58,2 m ² 9,7832 ppm

Se concluye que el obtener la superficie sobre el plano UTM, dividirla por el cuadrado de la anamorfosis lineal media de toda la zona y dividirla por el cuadrado del factor de escala obtenido para la reducción de distancias del terreno al elipsoide, es un método válido, aunque en ciertas condiciones puede llegar a ser inapreciable la corrección por proyección o reducción.

3.4. Error de cálculo de desniveles trigonométricos al aplicar la corrección estándar de esfericidad

En lo que se refiere al cálculo de desniveles trigonométricos procedentes de la observación de ángulos cenitales y distancias, en topografía es frecuente aplicar la conocida expresión:

$$\Delta H = D_R \cot V + i - m + 0,5 \frac{D_R^2}{6370000}$$

Sin hacer referencia a la corrección de refracción atmosférica a la que debería ser sometida la lectura cenital, en la expresión anterior se está aproximando la curvatura terrestre por la de un arco de circunferencia de un radio estándar igual a 6.370 km. Es posible evaluar la diferencia con respecto a la expresión de Jordan que contempla como superficie de referencia el elipsoide del sistema de referencia geodésico:

AHORA PAGUE SUS COMPRAS EN 6 o 12 MESES
SIN INTERESES

6 meses
12 meses

Financiamos el 85% IVA incluido
Financiamos el 75% IVA incluido
C.E. 1% - C.A. 1%



Estación Total Trimble 3306DR con ACU
Precisión angular: 10cc
Precisión en distancias: 2mm + 2ppm
Alcance: 2.500 m
Controlador ACU: con software Trimble Survey Controller
Medición sin prisma
Disponible en 10cc y 15cc

Oferta de lanzamiento Medidor de Distancia Láser
Trimble HD-360 y Nivel Automático+Trípode de Aluminio+Mira
Telescópica

Disponemos de servicio de alquiler de GPS TRIMBLE

Consulta nuestros precios y te sorprenderás

OFERTA ESTACIÓN TOTAL TRIMBLE 3306DR
+ COLECTOR DE DATOS DATA V50

5.430 € + IVA

“Alquile sus equipos en el parque de maquinaria
más actualizado y numeroso de España, en
el que dispone de GPS, estaciones totales,
colectores de datos, niveles automáticos y
láser, ...”



Trimble 3303
10cc-1.500 m - 3mm + 3ppm
Trimble 3305
15cc-1.300 m - 5mm + 3ppm
Trimble 3306
15cc-1.300 m - 5mm + 3ppm



Medidor de Distancia Láser
Trimble HD-360



Colector de datos DATA V50 bajo Psion Workabout:
Introducción y salidas de datos en formatos:
CLIP, ISTRAM, ISPOL, ficheros ASCII, asc
Taquimetría - Replanteo - Perfiles

$$\Delta h_i^j = S_{gi}^j \left(1 + \frac{h_i + h_j}{2R_m} \right) \cot V_{gli}^j + \frac{(S_{gi}^j)^2}{2R_m \sin^2 V_{gli}^j}$$

y así concluir si en la zona de actuación y para las exigencias de precisión del trabajo la aproximación es válida.

Para el ejemplo que se viene considerando se obtiene los siguientes resultados:

- Corrección topográfica de esfericidad aplicada $0,50 / 6370000,0 * D_r^2$
- Error calculado para un punto a la latitud media de la zona = $40,00063260$ segundo decimal sexagesimal
- Corrección topográfica de esfericidad para distancia máxima = $0,078$ m
- Diferencia entre desnivel geodésico y topográfico a la distancia máxima = $0,098$ mm

Se concluye que la corrección por esfericidad estándar en la zona introduce un error del orden de la décima de milímetro por kilómetro, resultando despreciable.

4. TRATAMIENTO DE OBSERVABLES GPS

4.1. Consideraciones generales

Hoy día es habitual incluir en la mayor parte de los trabajos topográficos mediciones GPS. Se emplean fundamentalmente dos métodos: método estático con postproceso y método cinemático en tiempo real (GPS-RTK). Ambos métodos producen originalmente sus resultados en el sistema geodésico de referencia WGS84.

El método estático da como resultado vectores definidos como incrementos de coordenadas en dicho sistema, con una precisión que puede ser mejor que $0,01 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$, que son posteriormente transformados al sistema de referencia geodésico oficial ED50.

El método GPS-RTK, de acuerdo al método habitual de trabajo, da como resultado un conjunto de coordenadas que en origen están referidas al sistema WGS84. La precisión relativa de las mismas es del orden de $0,02 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ y su precisión absoluta depende de la precisión de las coordenadas adoptadas para el receptor fijo o *master*. Como se suelen inicializar utilizando el método denominado *point positioning*, la precisión absoluta será en general mejor de 10 m . Es habitual efectuar la transformación al sistema de referencia local al mismo tiempo que se efectúa la medición, empleando para ello software cargado en la controladora de los equipos. Por ello, lo que finalmente se descarga al finalizar la sesión de campo es, en muchas ocasiones, un conjunto de coordenadas referidas al sistema de referencia local.

Debido a la utilización extensiva que en los últimos años se esta haciendo del GPS-RTK, en adelante nos centraremos en este último, aunque muchas cuestiones de las aquí tratadas son de aplicación general.

4.2. Estrategias empleadas en la medición GPS-RTK

A continuación se describen brevemente algunas de las estrategias que se están empleando en la práctica topográfica para llevar a cabo la transformación entre sistemas de referencia. En primer lugar, dependiendo de si el sistema de referencia del trabajo es local o geodésico, existen diferentes formas de actuación:

4.2.1. Sistema de referencia local

La referenciación de las observaciones pasa por observar un conjunto de puntos a los que se quiere referir el trabajo. A continuación se calcula, con el propio software de la controladora de los receptores, una transformación entre las coordenadas conocidas en el sistema local y las obtenidas por los receptores en el sistema WGS84. Los parámetros de transformación obtenidos se aplican al resto de los puntos medidos. En muchos manuales de instrumental GPS la operación anterior se denomina *calibración*.

No es extraño que las coordenadas conocidas de los vértices topográficos no sean otras que las medidas por GPS-RTK el primer día de trabajo, tras instaurar la red topográfica, habiendo asignado al primer punto medido unas coordenadas arbitrarias, o incluso fijar las absolutas obtenidas por el sistema de medición.

La metodología anterior es válida, siempre y cuando se tomen las precauciones adecuadas, teniendo en cuenta que la transformación obtenida vendrá afectada del error relativo de los puntos observados para determinar la transformación. Precauciones que conviene adoptar son: la correcta distribución de los puntos en toda la zona de trabajo, evitar tomar puntos cercanos y disponer de puntos adicionales de comprobación.

4.2.2. Sistema de referencia geodésico, ED50

Para evitar el acceso a los vértices geodésicos, cuyas coordenadas en el sistema ED50 tienen carácter oficial, resulta cada vez más frecuente estacionar en un único vértice para referir las observaciones GPS-RTK al sistema geodésico, e incluso a veces en ninguno. A continuación se elige en el software de la controladora de los receptores la opción de obtener los resultados de la medición en el sistema geodésico ED50 y en proyección UTM. Algunas marcas comerciales incluyen más de un modelo de transformación al sistema geodésico ED50: ED50-IGN, ED50-ICC, ED50-3 parámetros, ED50-7 parámetros, etc., e incluso permiten introducir un modelo, lo que puede resultar muy interesante teniendo en cuenta los resultados que se muestran en este artículo.

La metodología de cálculo y errores que se cometen con esta forma de trabajo son:

- Si se ha observado un punto de posición conocida y se han introducido sus coordenadas, la transformación se aplicará a los vectores. El

proceso de cálculo del software de la controladora consiste en determinar primero una traslación espacial, a partir de las diferencias encontradas entre las coordenadas del punto conocido y sus GPS-RTK medidas y transformadas con el modelo de transformación. Para cualquier otro punto observado el procedimiento es similar: primero se obtienen sus coordenadas GPS-RTK, luego se transforman con el modelo global y finalmente se trasladan.

Las causas de error de esta forma de trabajo son:

- El error en las coordenadas absolutas del vértice geodésico enlazado. Este error se pondrá en evidencia cuando se utilicen los resultados de este trabajo con los de otro en los que la referenciación geodésica se haya realizado enlazando a otros vértices geodésicos, resultando la magnitud del error la propia de los errores en las posiciones relativas de los vértices geodésicos involucrados. Para algunos trabajos este error puede ser despreciable. El enlazar a un único vértice geodésico presenta la ventaja de que en el trabajo no intervendrá el error motivado por la diferencia entre la posición espacial real de otros vértices enlazados y la definida por sus coordenadas, error que en muchos trabajos es detectado, como, por ejemplo, en apoyo fotogramétrico de vuelo bajo.
- El error debido a la diferencia entre los parámetros de transformación del modelo incluido en el software y los parámetros reales para la zona de actuación.
- Si no se ha observado un punto de posición conocida, la metodología de cálculo es similar, pero sin aplicar la traslación que antes se determinaba al enlazar a un punto conocido.

En este caso el error en el posicionamiento absoluto del trabajo será mayor, al ser debido a la composición de los errores del posicionamiento absoluto del receptor *master* del equipo GPS-RTK y a los errores del modelo de transformación.

Las prácticas expuestas, aunque muy difundidas en la actualidad, conllevan ciertos problemas cuando los trabajos requieren precisiones de orden centimétrico. Al tener las coordenadas ED50 oficiales de la Red Geodésica una precisión heterogéneamente inferior frente a la que ofrece el GPS, no es válido un modelo global de transformación entre ambos sistemas geodésicos. Teniendo en cuenta que los parámetros de transformación varían de una localización geográfica a otra, la mejor opción sería determinar los parámetros de transformación para la zona objeto de los trabajos.

La determinación de la transformación en la zona de trabajo se puede hacer de diferentes formas, siendo las más frecuentes:

- Modelo de transformación de siete parámetros para pasar puntos del sistema GPS-RTK de observación al sistema ED50. Se realiza mediante un proceso similar al de calibración descrito para trabajos referidos a sistemas locales, observando un mínimo de tres vértices de posición conocida.

- Modelo de transformación de cuatro parámetros para pasar vectores del sistema GPS-RTK de observación al sistema ED50. Se realiza mediante la observación de un mínimo de tres vectores cuyos extremos sean conocidos en el sistema ED50. Para que las posiciones queden referidas a ED50 es preciso hacer intervenir en la observación algún punto de posición conocida en ED50 y forzar sus coordenadas, determinándose la traslación que lleva de las coordenadas observadas a las conocidas.

En la actualidad, la existencia de redes geodésicas en el territorio con posición conocida en el sistema de referencia ETRS89 y ED50 (Red Regente, Red del Instituto Cartográfico Catalán, etc.), permite plantear la determinación de la transformación a partir de coordenadas de vértices de las mismas en las inmediaciones de la zona de trabajo, sin que resulte necesario incluirlos en la observación. Sin embargo, lo más aconsejable es utilizar el mismo marco de referencia geodésico ED50 en todas las fases del trabajo, debido a los problemas apuntados respecto a su precisión.

4.3. Estudio en la zona de ejemplo

A partir de las características relativas a la zona de actuación de un trabajo topográfico realizado con GPS-RTK que ha de estar referido al sistema geodésico ED50, es posible evaluar si es necesario incluir en el proceso la transformación a los vectores o si, por el contrario, la magnitud de las rotaciones y escala son lo suficientemente pequeñas como para que los errores que introduce su no consideración sean despreciables para las exigencias de precisión del mismo.

Para mostrar una forma de realizar el estudio anterior se va a recurrir a la zona de ejemplo.

El estudio comienza con la determinación de la transformación. En la siguiente figura aparecen los cuatro vértices de la Red Regente más cercanos a la zona.

Para determinar la transformación se han utilizado los tres vértices que encierran a la zona. Información de partida es: coordenadas ETRS89 y ED50 del IGN, un modelo del geoide de la DMA para ED50 y una estimación *a priori* de la precisión en la posición respecto a ETRS89 de 0,05 m y de 0,20 m para la posición respecto a ED50. Los resultados de la transformación son los que figuran en el cuadro de la página siguiente.

La magnitud de los parámetros de transformación son coherentes con los obtenidos para este tipo de trabajos.

Como las rotaciones expresadas en el sistema cartesiano general no tienen una interpretación topográfica intuitiva, es preferible expresarlas en un sistema local, de forma que puedan ser descompuestas en giros directamente relacionados con los conceptos de planimetría y altimetría habitualmente manejados.

Coordenadas en ETRS89:

Latitud y longitud en pseudo.dec.sexa., altitud elipsoidal en metros.
 Huso común para la proyección UTM: 30

Punto	X-UTM.	Y-UTM.	Huso	Latitud	Longitud	h.Elíp.
59341	752811,801	4453678,309	30	40,11435142	-0,01480612	482,368
59443	778045,815	4457048,111	30	40,13039038	0,16028155	60,033
64159	756007,327	4431931,040	30	39,59556302	-0,00040840	54,491

Coordenadas en ED50:

Latitud y longitud en pseudo.dec.sexa., altitudes en metros.
 Modelo del geode para ED50 de la DMA.
 Huso común para la proyección UTM: 30

Punto	X-UTM.	Y-UTM.	Huso	Latitud	Longitud	H.Ort.	Geoide	h.Elíp.
59341	752921,890	4453887,870	30	40,11477102	-0,01437069	431,600	-19,463	412,137
59443	778155,535	4457257,848	30	40,13080918	0,16071252	10,200	-19,354	-9,154
64159	756117,482	4432140,530	30	39,59598435	0,00002568	4,300	-19,803	-15,503

Criterio de ponderación:

- Emc en coordenadas ETRS89 = 0,05 m
- Emc en coordenadas ED50 = 0,20 m

Parámetros de error

- Estimador *a priori* de la varianza del observable de peso unidad..... 1,000
- Estimador *a posteriori* de la varianza del observable de peso unidad..... 0,588
- Media de los residuos ponderados..... 0,000

Factor de escala y rotaciones referidas a los ejes del sistema de coordenadas geocéntricas:

	Parámetro	e.m.c.
(1+L)	-16,45 ppm.	5,78 ppm
R.Eje.X.	-4,85 seg.s	1,53 seg.s.
R.Eje.Y.	5,41 seg.s	1,99 seg.s.
R.Eje.Z.	2,75 seg.s	1,65 seg.s.

Rotaciones referidas a los ejes del sistema de coordenadas ENU

Referidas al Baricentro ETRS89 de los puntos de la transformación:

- Latitud: 39,59154716 pseudo sexagesimal
- Longitud: 0,01583849 pseudo sexagesimal

	Parámetro	e.m.c.
R.Eje.E.	5,42 seg.s	1,99 seg.s.
R.Eje.N.	5,23 seg.s	1,91 seg.s.
R.Eje.U.	-1,93 seg.s	1,19 seg.s.

- Variación en la rotación por incremento de un segundo en:

Latitud	Longitud
0,000 diez.m.seg.s.	0,235 diez.m.seg.s.
0,094 diez.m.seg.s.	-0,169 diez.m.seg.s.
0,253 diez.m.seg.s.	0,201 diez.m.seg.s.

Valores extremos para la zona de actuación:

- Latitud mínima: 39,59154716 pseudo sexagesimal
 - Latitud máxima: 39,59154716 pseudo sexagesimal
 - Longitud mínima: -0,05008063 pseudo sexagesimal
 - Longitud máxima: -0,05008063 pseudo sexagesimal
- | | Valor.Mínimo. | Var.Máximo. |
|----------|---------------|---------------|
| R.Eje.E. | 5,405 seg.s. | 5,415 seg.s. |
| R.Eje.N. | 5,226 seg.s. | 5,234 seg.s. |
| R.Eje.U. | -1,947 seg.s. | -1,949 seg.s. |



Teniendo en cuenta la expresión que relaciona los incrementos de coordenadas en el sistema cartesiano geocéntrico con los incrementos en el sistema geodésico local (ENU):

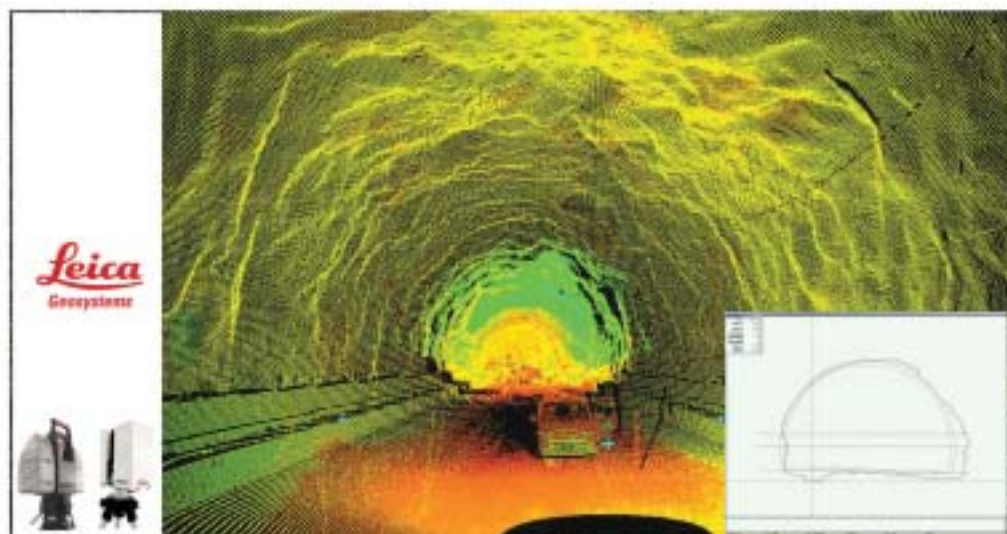
$$\begin{pmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = R_{XYZ}^{ENU}(\varphi, \lambda) \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

las rotaciones referidas a los ejes del sistema ENU y su matriz varianza-covarianza se obtienen según:

$$\begin{pmatrix} r_E \\ r_N \\ r_U \end{pmatrix} = R_{XYZ}^{ENU}(\varphi, \lambda) \begin{pmatrix} r_X \\ r_Y \\ r_Z \end{pmatrix}, \quad \Sigma_{R_{ENU}} = R_{XYZ}^{ENU}(\varphi, \lambda) \Sigma_{R_{XYZ}} (R_{XYZ}^{ENU}(\varphi, \lambda))^T$$

En los resultados mostrados anteriormente aparecen los valores de las rotaciones ENU en el baricentro ETRS89 de los puntos que intervienen

ACRE



TOPOGRAFÍA DE ALTA DEFINICIÓN CON LASER ESCANER 3D HDS™

laserescaner@acre-sl.com

TUNELES
ESTRUCTURAS
PLANTAS INDUSTRIALES
ARQUITECTURA

PERFILES TRANSVERSALES · GÁLIBO VIRTUAL · MEDICIONES · AJUSTES DE ESTADO DE ALINEACIONES

Alquiler y Venta



GPS TIEMPO REAL

Serie 1200 con X-Funtion
Serie 500

ESTACIONES TOTALES

SmartStation
Serie 1200 con X-Funtion
Serie 800 - 700 - 400

NIVELES

NA2/NAK2
DNA10/03

ACCESORIOS

Software
Material para marcado

Alquile y Compre en **ACRE**
Siempre las mejores condiciones

en la transformación, la variación en las rotaciones por una variación de un segundo en latitud y longitud geodésica y los valores máximos y mínimos para la zona de trabajo, observándose que la variación es del orden de la décima de segundo sexagesimal.

Una vez que se han acotado los valores máximo y mínimo de las rotaciones ENU y el factor de escala, se procede a evaluar el error que introduciría en el trabajo su no consideración para una distancia de trabajo con GPS-RTK fijada en 1 km. Los resultados en diferentes sistemas de coordenadas son:

Errores en componentes ENU:

	Plano Horizonte Geodésico (EN)		Vertical Geodésica (U)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Fac.Escala	0,016 m	----	0,016 m	----
R.Eje.E.	0,004 m	0,004 m	0,026 m	0,026 m
R.Eje.N.	0,004 m	0,004 m	0,025 m	0,025 m
R.Eje.U.	0,009 m	0,009 m	0,000 m	0,000 m
– Error en el Plano Horizonte Geodésico (EN) = 0,020 m				
– Error en la dirección de la vertical geodésica (U) = 0,040 m				
– Precisión del vector GPS a la distancia máxima = 0,032 m				

Errores en componentes cartesianas geocéntricas calculadas para el baricentro de la zona en ETR89:

– Latitud media de la zona = 40,00063260 seudo sexagesimal
– Longitud media de la zona = -0,01094554 seudo sexagesimal
– Error en componente X cartesiana geocéntrica = 0,018 m
– Error en componente Y cartesiana geocéntrica = 0,020 m
– Error en componente Z cartesiana geocéntrica = 0,041 m
– Precisión del vector GPS a la distancia máxima = 0,032 m

Errores en coordenadas geodésicas calculadas para el baricentro de la zona en ETRS89 altitud elipsoidal máxima:

– Latitud media de la zona = 40,00063260 seudo sexagesimal
– Longitud media de la zona = -0,01094554 seudo sexagesimal
– Altitud elipsoidal máxima = 75,000 m.
– Error en latitud geodésica = 0,0006 seg sexagesimales = 0,020 m
– Error en longitud geodésica = 0,0008 seg sexagesimales = 0,015 m
– Error en altitud elipsoidal = 0,040 m
– Precisión del vector GPS a la distancia máxima = 0,032 m

Se observa que el error en planimetría y altimetría alcanza unos valores de 0,02 m y 0,04 m, respectivamente, mientras que la precisión *a priori* del vector GPS bajo una consideración de un error de 0,01 m en el centrado y medida de altura de las antenas y un error de 0,02 m + 5 ppm en la propia observación GPS, es de 0,032 m.

Queda a criterio del responsable del trabajo el decidir si estos errores se pueden asumir, en cuyo caso bastaría con indicar a la controladora de los receptores que no se aplicará ninguna transformación a los vectores, pero que los parámetros del elipsoide empleados fueran los del Internacional 1924, elipsoide incluido como superficie de referencia en la definición del sistema de referencia geodésico ED50. Esto se conseguiría, por ejemplo, indicando a la controladora que utilizara una transformación a ED50 que únicamente incluyera parámetros de traslación, parámetros que no se aplicarían realmente, al forzar las coordenadas de un

punto enlazado. Otra opción pasaría por aplicar la siguiente metodología:

- Elegir como sistema de referencia geodésico del trabajo el sistema WGS84.
- Observar un punto de posición conocida en ED50 pero no forzar sus coordenadas.
- Descargar todo el trabajo en WGS84, en el sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas preferiblemente, para ahorrar el paso a las mismas en el proceso que sigue. Estas coordenadas absolutas estarán afectadas del error en la posición absoluta del proceso de inicialización en el receptor *master* del equipo GPS-RTK.
- Obtener los vectores WGS84, en componentes cartesianas geocéntricas, que unen cada uno de los puntos al de posición conocida, como diferencia de las coordenadas resultado de la descarga. La precisión de estos vectores será la interna del sistema GPS-RTK, desapareciendo el error en posición absoluta del trabajo al obtenerse cada componente del mismo como diferencia de las correspondientes coordenadas.
- Obtener las coordenadas cartesianas geocéntricas ED50 del punto conocido. Si no se dispone de modelo del geoide para ED50, se añadirá a cada punto el error debido a la diferencia de ondulación entre el mismo y el punto de posición conocida, error que en una zona pequeña será probablemente despreciable.
- Obtener las coordenadas cartesianas geocéntricas ED50 de cada punto a partir de sumar a las del punto conocido el vector WGS84 observado. En realidad estas coordenadas no estarían referidas ni a ED50 ni a WGS84, pero como se ha considerado que los parámetros de transformación del vector son despreciables, se asume en lo que sigue que están referidas a ED50.
- Obtener las coordenadas geodésicas y UTM de cada punto en ED50, para lo que se utilizarán los parámetros del elipsoide Internacional 1924.

Si se decide que los errores introducidos por la no consideración de estos parámetros no son despreciables, lo más aconsejable sería abordar la operación de calibración observando vértices geodésicos, o al menos definir una nueva transformación en el software de la controladora de los equipos GPS-RTK con los valores obtenidos a partir de vértices de la Red Regente o similar.

5. CONCLUSIONES

Para trabajos dentro del ámbito de la topografía se concluye que algunas correcciones pueden llegar a ser importantes en relación a las ca-

racterísticas del trabajo, aconsejándose su estudio antes de tomar la decisión de despreciarlas.

En lo que se refiere a las correcciones de reducción de observables, es probable que únicamente deba ser tenida en cuenta la reducción de distancias del terreno a la cuerda elipsoide, y además esta reducción se convierta en aplicar un factor de escala para toda la zona, o un factor de escala para las zonas resultantes de dividir la zona de trabajo en regiones con menor incremento de altitud.

En lo que se refiere a las correcciones de proyección de observables del elipsoide al plano UTM, es probable que las distancias se puedan proyectar aplicando un único factor de anamorfosis común para toda la zona, o un factor de anamorfosis para las zonas resultantes de dividir la zona de trabajo en regiones con menor incremento de longitud geodésica. Se ha observado que la corrección de proyección a las lecturas acimutales, reducción angular de la cuerda, puede llegar a ser del mismo orden que la precisión instrumental, aconsejándose aplicarla, al menos en ciertos trabajos, tales como instauración de redes topográficas, aplicación que se podría realizar en la fase de ajuste a partir de unas coordenadas aproximadas obtenidas sin su consideración. En lo que se refiere a las superficies, se ha observado que puede llegar a ser necesario tener en cuenta tanto la corrección de proyección como la de reducción al terreno.

De acuerdo con lo anterior, el tratamiento correcto de observables distanciométricas clásicas se puede convertir en aplicar un único factor de escala, resultante del producto del factor de reducción y del factor de anamorfosis lineal.

En lo que se refiere a observaciones GPS-RTK, si se comparan los resultados de los parámetros de transformación obtenidos en la zona ejemplo con la mayoría de los parámetros estándar incluidos en el software de los equipos GPS, se concluye que es preferible no aplicar parámetros a aplicar parámetros estándar, resultando para muchos trabajos imprescindible su determinación y aplicación, tal y como se apunta al final del apartado anterior.

REFERENCIAS

- Cartografía cortesía del Instituto Cartográfico Valenciano.
- CID PALACIOS, R., FERRER MARTÍNEZ, S., (1999). *Geodesia Geométrica, Física y por Satélites*. Instituto Geográfico Nacional. ISBN 84-7819-085-6.
- DRAGOMIR, V., GHITAU, D., MIHAILESCU, M., ROTARU, M., (1982). *Theory of the earth's shape*. Editorial Elsevier. ISBN 0-444-99705-9.
- FERRER TORIO, R., PIÑA PATÓN, B., NÚÑEZ-GARCÍA DEL POZO, A. VALBUENA DURÁN, J. L., (1991). *Sistema de Posicionamiento Global, G.P.S.* Servicio de Publicaciones. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria.
- FERRER TORIO, R., PIÑA PATÓN, B., NÚÑEZ-GARCÍA DEL POZO, A. VALBUENA DURÁN, J. L., MARTÍNEZ LÓPEZ, I., (1990). *Distanciometría Electrónica de Alta Precisión*. Servicio de Publicaciones. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. ISBN 84-86928-52-4.
- GARCÍA-ASENJO, L. HERNÁNDEZ LÓPEZ, D. (2004): "Geodesia". Servicio de Reprografía de la Universidad Politécnica de Valencia. Referencia 2003.647
- HEISKANEN, W. A., MORITZ, H., (1985). *Geodesia Física*. Instituto Geográfico Nacional. ISBN 84-505-1386-3.
- HERNÁNDEZ LÓPEZ, D., (1997). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Universidad Politécnica de Valencia. Referencia: SPUPV: 97.937.
- HERNÁNDEZ LÓPEZ, D., FEMENIA RIBERA, C., (1999). *Problemas de Cartografía Matemática*. Universidad Politécnica de Valencia. Referencia: SPUPV: 99.4159.
- HOFFMANN WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J., (1992). *Global Positioning System*. Ed. Springer.
- HOOIJBERG, M., (1997). *Practical Geodesy*. Ed. Springer. ISBN 3-540-61826-0.
- LAUF, G. B., (1983). *Geodesy and Map Projections*. Published by TAFE Publications Unit. ISBN: 0-7241-3539-1.
- LEICK, A., (1990). *GPS Satellite Surveying*. John Wiley. New York.
- NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY (NIMA), (2000). *World Geodetic System 1984. Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*. NIMA Technical Report. NSN: 7643-01-402-0347
- RODRÍGUEZ PUJOL, E., CATURLA SÁNCHEZ DE NEIRA, J. L., (1999). *IBERI95. Red Peninsular de Orden Cero*. Instituto Geográfico Nacional. Publicación Técnica nº 30. ISBN: 84-95172-02-X.
- RÜEGER, J. M., (1996). *Electronic Distance Measurement*. Springer. ISBN: 3-540-61159-2.
- SEEBER, G., (1993). *Satellite Geodesy*. Walter de Gruyter. ISBN: 3-11-012753-9.
- VANICEK, P., KRAKIWSKY, E., (1996). *Geodesy: The concepts*. Editorial North-Holland. ISBN 0444877770.
- ZAKATOV, P. S., (1997). *Curso de Geodesia Superior*. Editorial Rubiños. ISBN 84-8041-097-3. ■

Altimetría en el Catastro: Integración de los puntos de altitud con los límites de las parcelas

Jantien Storter y Ben Gorte

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE DELFT (HOLANDA)

Resumen

En la investigación relacionada con el Catastro Tridimensional (Stoter y al., 2002), se ha desarrollado un prototipo que mejora la visión de la dimensión vertical de los derechos registrados en un sistema de registro catastral. Esto es importante cuando diferentes propiedades se sitúan una sobre otra (túneles, tuberías, complejos de edificios). En el prototipo, los límites de las parcelas necesitan ser situados en el espacio tridimensional, dado que tienen que combinarse con objetos tridimensionales tales como túneles o tuberías. Para extender el modelo espacial de los límites de las parcelas a tres dimensiones no es suficiente con asignar una coordenada z a cada parcela. Para cumplir los requisitos de un Catastro Tridimensional tampoco es suficiente con asignar una coordenada z a los vértices que describen los límites de las parcelas. En este artículo se explica cómo los límites de las parcelas pueden integrarse con altitudes de puntos, a fin de cumplir los requisitos de un Catastro Tridimensional, es decir, obtener una superficie altimétrica en cada parcela. La superficie altimétrica de las parcelas es un modelo digital del terreno construido sobre la posición de las parcelas. Así pues, la superficie de una parcela cambia cuando cambia la superficie del terreno. Se describen y evalúan diversas posibilidades de obtener una superficie de altitudes en las parcelas basándose en una metodología de Gestión de Bases de Datos.

Abstract

In the research concerning 3D cadastre (Stoter et al., 2002) a prototype has been built that improves insight in the vertical dimension of rights registered in the cadastral registration system. This is important when different properties are located above each other (tunnels, pipelines, building complexes). In the prototype, parcel boundaries need to be located in 3D space as they have to be combined with 3D objects such as tunnels and pipelines. To extend the spatial model of parcel boundaries into 3D, simply assigning one z-coordinate to each parcel is not sufficient. Providing a z-coordinate to the vertices describing parcel boundaries does also not meet the requirements for a 3D cadastre. In this paper we elaborate on how parcel boundaries can be integrated with point heights to meet the requirements for a 3D cadastre, i.e. obtaining a height surface for parcels. A height surface of parcels is the digital terrain model (DTM) on the locations of parcels. Therefore a parcel surface changes when the terrain surface changes. We will describe and evaluate several possibilities to obtain a height surface for parcels based on a DBMS approach.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la FIG (1995) el Catastro es “un sistema de información territorial actualizado, basado en parcelas y que alberga registros de los intereses sobre los terrenos (derechos, restricciones y responsabilidades)”. Los sistemas catastrales mantienen los derechos y la limitación de los mismos, como datos de atributos de las parcelas, que además se describen geoméricamente. En estos sistemas los límites de las parcelas se mantienen en dos dimensiones.

En la investigación relacionada con el Catastro Tridimensional (Stoter y Ploeger, 2002) se ha construido un prototipo en el que los objetos físicos en tres dimensiones se integran en un modelo de Sistema de Ges-

ción de Bases de Datos. En este prototipo los derechos establecidos para los objetos físicos tridimensionales también se definen en tres dimensiones.

Una cuestión importante es la de cómo se definen las coordenadas z de estos objetos tridimensionales; mediante valores absolutos (en el marco de un sistema nacional de coordenadas de referencia) o de forma relativa, con respecto a una superficie (situada, por ejemplo, a 6 metros bajo la superficie). Las coordenadas absolutas no se dejan influenciar por los cambios en la superficie de referencia y, además, la definición del nivel de la superficie (el nivel de referencia empleado para los valores con respecto a la superficie) a veces no está claro y, finalmente, cuando se usan coordenadas z respecto a la superficie es complicado definir la

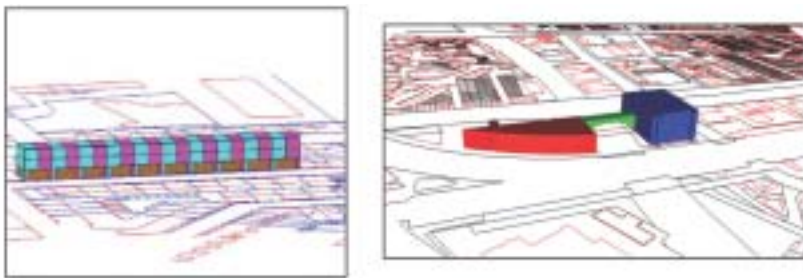


Figura 1. Las altitudes de los edificios en estas figuras, se han definido con respecto a una superficie. Dado que el nivel de la superficie en las zonas urbanas es relativamente plano, a veces es suficiente para representar una situación tridimensional.

geometría actual de los objetos tridimensionales. Así que la solución más sostenible es la de definir los objetos tridimensionales mediante coordenadas absolutas de z , sobre todo en áreas rurales. En algunas zonas urbanas parece suficiente el definir las coordenadas z con relación a la superficie, dado que los niveles de dicha superficie suelen ser bastante planos, y además porque los modelos digitales del terreno basados en datos obtenidos mediante escaneado láser son más fáciles de generar en áreas rurales que en zonas urbanas (figura 1).

En el prototipo se efectuaron dos casos de estudio en el área rural (Stoter y Ploeger, 2003): Dos tuberías de conducciones y un túnel de ferrocarril.

Se conocen las coordenadas z absolutas de estos objetos tridimensionales (en el datum del Netherlands National Ordinance-NAP). Estas descripciones tridimensionales no revelan dónde estos objetos tridimensionales se localizan con respecto a la superficie, y por tanto con respecto a las parcelas de la superficie. ¿Están los objetos tridimensionales situados sobre o bajo el terreno? ¿Cuál es la profundidad del túnel y de las tuberías de conducciones?

Para conocer la posición vertical de los objetos tridimensionales se necesita, además, la superficie de las parcelas. El tema principal de este artículo es cómo obtener la superficie altimétrica de las parcelas mediante la integración de los límites de las parcelas y de las altitudes de puntos. Lenk (2001) ya efectuó un estudio sobre la integración de datos bidimensionales de un SIG con información de altitudes.

El usar una coordenada z en cada parcela no es suficiente. El asignar altitudes a los nodos que describen los límites de las parcelas tampoco es suficiente, porque con esto sólo se conoce la altitud en la situación de los límites de las parcelas y no dentro de la propia parcela. En esta investigación se ha estado buscando una solución en la que la superficie que cubre las parcelas se modele en 2,5D.

2. INTEGRACIÓN DE DATOS DE ALTITUD CON LOS LÍMITES DE LAS PARCELAS

En el Catastro Tridimensional estamos interesados en la combinación de datos de altitud con los límites de las parcelas, a fin de obtener una superficie de las parcelas que pueda a su vez combinarse con objetos tridimensionales (tales como túneles, tuberías, cables, etc.). Esto indicará dónde se localizan los objetos tridimensionales con respecto al nivel de la superficie.

Para ilustrar esto se examina una tubería que se empleó en el caso de estudio de la investigación del Catastro Tridimensional. Para este estudio, la NAM (Nederlandse Aardolie Maatschappij, compañía que es dueña de una parte importante de la red de gas natural de Holanda) suministró información en tres dimensiones de una tubería situada en el área de estudio (figura 2).

La figura 2 es una combinación de límites de parcelas en dos dimensiones y una tubería tridimensional (definida mediante coordenadas z absolutas). No muestra dónde la tubería se sitúa con respecto a la superficie: en esta caso específico, la tubería tridimensional (que tiene unas coordenadas z absolutas de entre 5 y 10 metros) aparece sobre la superficie (los límites de la parcelas en dos dimensiones se sitúan sobre el plano $z = 0$). En la figura 2, a la derecha de la línea a trazos, se mues-

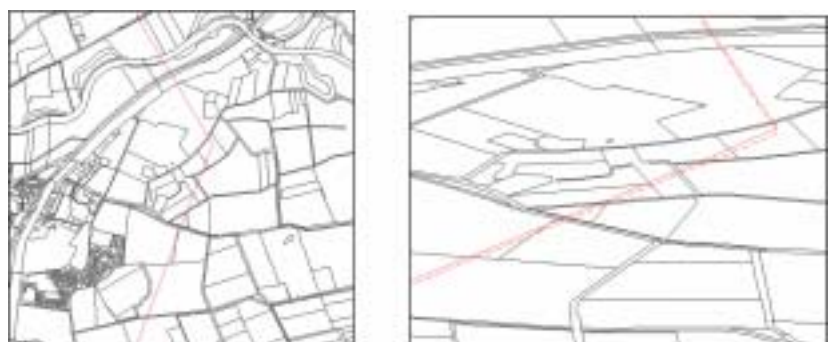


Figura 2. Una tubería definida en tres dimensiones combinada con parcelas en dos dimensiones; la línea de trazos de la figura de la derecha es la proyección de la tubería sobre el plano en el que la coordenada z vale cero (que es el plano sobre el que se sitúan los límites de las parcelas en dos dimensiones).

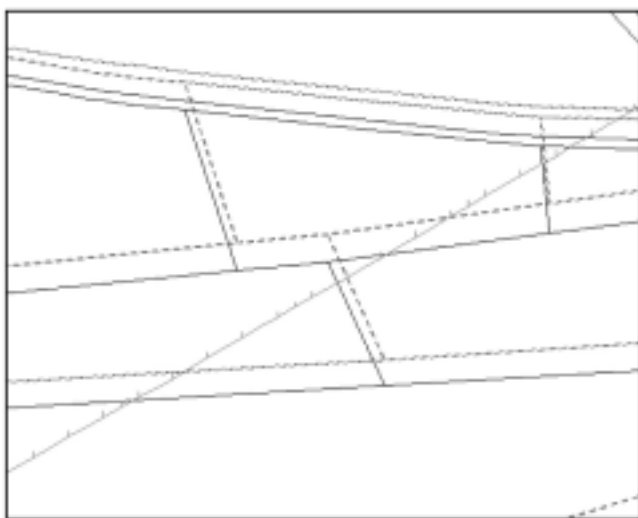


Figura 3. Límites de parcelas definidos en tres dimensiones (línea a trazos) que nos dan una visión de dónde se sitúa la tubería con respecto a la superficie. Los trazos sobre la tubería indican la distancia entre la tubería y la superficie.

tra la proyección de la tubería tridimensional sobre el plano donde las coordenadas z valen cero (el plano sobre el que se sitúan los límites en dos dimensiones de las parcelas), lo que muestra que la tubería tridimensional se sitúa (de 5 a 10 metros) por encima de los límites de las parcelas; esto no es correcto, ya que se trata de una tubería enterrada bajo suelo.

Pasemos a describir los límites de las parcelas en tres dimensiones asignando coordenadas z a los nodos de los límites de las parcelas. Para la extracción de las coordenadas z se emplea un modelo digital del terreno, representado mediante una red de triángulos irregulares sin restricciones, sobre puntos de altitud obtenida con láser. Los límites tridimensionales de las parcelas se dibujan en la figura 3 mediante línea de trazos.

Ahora ya es posible determinar a que profundidad se encuentra la tubería sobre la situación de los límites de las parcelas. Sin embargo, aun no queda claro lo que sucede dentro de la superficie de las parcelas (en lugar de sobre la superficie proyectada, que es la que está actualmente registrada en el sistema catastral).

3. DESCRIPCIÓN DE LOS CONJUNTOS DE DATOS Y DE SU ESTRUCTURA

Se emplean dos tipos de registros para la integración de los datos de altitud y los datos catastrales: los datos catastrales, mantenidos por el Netherland's Kadaster, y los datos de altitudes, mantenidos por el Rijkswaterstaat (Ministerio Holandés de Obras Públicas y Transportes). En esta investigación combinamos estos dos registros empleando una metodología de Gestión de Bases de Datos.

3.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)

Para el modelo digital del terreno se empleó un conjunto de datos que representa el MDT de Holanda, es decir el AHN (Actueel Hoogtebes-

tand Nederland) (Van Heerd y al., 2000). El AHN es un conjunto de datos de puntos con altitudes obtenidas mediante altimetría de láser y con una densidad de un punto en cada 25 metros cuadrados (con una precisión de validación de 5 cm). El conjunto de datos empleado es una selección de la cobertura de AHN sobre un área de 5 por 6 kilómetros y consistió en 1.198.029 puntos.

3.2. Límites de las parcelas

Los límites de las parcelas empleados son una selección procedente de la Base de Datos Catastral de Holanda. Esta selección incluye 2.225 parcelas (la totalidad del país tiene 6,4 millones de parcelas). En el Sistema de Gestión de Bases de Datos Catastrales, los límites de las parcelas se organizan en un modelo geométrico y las parcelas se almacenan topológicamente, de acuerdo con las reglas de la estructura de datos denominada *wing-edged* (Oosterom y Lemmen, 2001). Cada parcela contiene una referencia al primer borde de la misma. La generación de polígonos también puede efectuarse en el Sistema de Gestión de Bases de Datos (Oosterom y al., 2002).

4. GENERACIÓN DE UNA RED DE TRIÁNGULOS IRREGULARES PARA LA INTEGRACIÓN DE ALTITUDES DE PUNTOS Y DE LÍMITES DE PARCELAS

Un requisito inicial era que todos los datos se mantuvieran en un Sistema de Gestión de Bases de Datos. La razón principal de esto es que el Catastro mantiene enorme cantidad de datos, tanto geométricos (que consisten en 17.642.437 parcelas y 45.868.700 límites en los que también se mantiene su historial) y datos de atributos (derechos, restricciones, temas). Por tanto, en esta investigación se utilizó un Sistema de Gestión de Bases de Datos, el Oracle Spatial 9i (Oracle, 2001), para almacenar los conjuntos de datos. También la extracción de las superficies de parcelas fue efectuada por el Sistema de Gestión de Bases de Datos.

4.1. La red de triángulos irregulares sin restricciones

Para poder combinar los límites de las parcelas con las altitudes de los puntos, en principio se generó una red de triángulos irregulares, empleando únicamente los datos de puntos y por medio de un programa de triangulación denominado Triangle (Sewchuk, 1996). La red de triángulos irregulares se genera mediante la triangulación de Delauny (Worboys, 1995) y consiste en 2.393.676 triángulos y 1.198.029 nodos. La triangulación se efectuó fuera del Sistema de Gestión de Bases de Datos. La red de triángulos irregulares resultante (conteniendo coordenadas x , y , z de los datos de los puntos), y la red de triángulos definida mediante una referencia a esos puntos, se insertó en el Sistema de Gestión de Bases de Datos como un modelo topológico. El modelo de la red de triángulos irregulares se muestra en la figura 4.

Se almacenaron dos tablas en el modelo topológico. Una de ellas con-

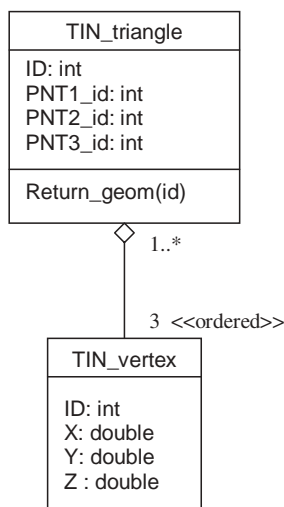


Figura 4. Diagrama del almacenamiento de la red de triángulos irregulares.

tiene referencias a los identificadores de los puntos de cada triángulo (tres referencias para cada triángulo):

```

SQL> describe tin
Name                               Null?      Type
-----
ID                                  NUMBER(8)
PNT1_ID                             NUMBER(8)
PNT2_ID                             NUMBER(8)
PNT3_ID                             NUMBER(8)
    
```

En la segunda tabla se almacenan las coordenadas de los puntos junto con sus identificadores:

```

SQL> describe tin_vertex
Name                               Null?      Type
-----
ID                                  NUMBER(8)
X                                   NUMBER(12,3)
Y                                   NUMBER(12,3)
Z                                   NUMBER(12,3)
    
```

De esta forma, cada punto sólo es almacenado una vez. Se escribió una función para generar la geometría de los triángulos (polígonos tridimensionales) basándose en las tablas topológicas. La función devuelve un polígono del tipo "mdsys.sdo_geometry" (el tipo de datos espaciales de Oracle). La geometría se almacena como una vista sobre el modelo topológico, por medio de la siguiente función:

```

create view tin_geom as select id, return_geom(id)shape from tin_c;
    
```

Una ventaja de disponer de las geometrías es que éstas son reconocidas por los programas de CAD y de SIG, que pueden conectarse al Sistema de Gestión de Bases de Datos. De esta forma, es posible visualizar los datos almacenados en el Sistema de Gestión de Bases de Datos, tal y como se ha hecho en las figuras de este artículo.

4.2. La red de triángulos irregulares con restricciones

A fin de integrar el AHN con los límites de las parcelas, se generó también un red de triángulos irregulares con restricciones, usando como tales restricciones los límites de las parcelas. De nuevo se empleó el programa Triangle (fuera del Sistema de Gestión de Bases de Datos). En Triangle se puede escoger la posibilidad de que los bordes que impongan restricciones puedan dividirse, o no, para crear más triángulos óptimos, lo que significa que los límites originales de las parcelas pueden continuar existiendo como bordes de la red de triángulos irregulares. En principio, no se dividieron los límites de las parcelas, a fin de preservar los bordes originales, en la red de triángulos irregulares. Para optimizar los triángulos, los bordes empleados en la red de triángulos irregulares con restricciones pueden dividirse siguiendo algún criterio, como, por ejemplo, evitar ángulos menores que un valor de umbral dado, o evitar que las áreas sean mayores que un valor de umbral dado. Los triángulos creados cerca de los bordes de las parcelas no dieron buen resultado (ver figura 5 a la derecha), por lo que en futuras investigaciones se experimentará con la división de los bordes de parcelas en el proceso de triangulación.

Se asignaron coordenadas **z** a los nodos de los bordes de las parcelas, proyectándolos en la red de triángulos irregulares sin restricciones. Los valores de altitud de los nodos se calcularon interpolando las coordenadas **z**.

La red de triángulos irregulares con restricciones contiene 1.500.074 triángulos y 783.415 nodos y también se almacena como modelo topológico, con una vista geométrica superpuesta.

4.3. Estructura de datos óptima

Lo ideal es almacenar las altitudes de los puntos y los límites de las parcelas en el Sistema de Gestión de Bases de Datos y generar una red de triángulos irregulares en el área de interés, a petición del usuario, sin tener que almacenar la red de triángulos irregulares en el Sistema de Gestión de Bases de Datos. Esto es lo más eficaz, ya que no se necesita ni transferencia ni conversión de datos entre el Sistema de Gestión de Bases de Datos y la red de triángulos irregulares, o viceversa. Esto será un tema a investigar en el futuro.

5. EXTRACCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS PARCELAS A PARTIR DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE BASES DE DATOS

Para poder obtener la superficie de una parcela hay que seleccionar todos los triángulos que recubren dicha parcela. Esto puede hacerse mediante una red de triángulos irregulares, con o sin restricciones (ver figura 5).

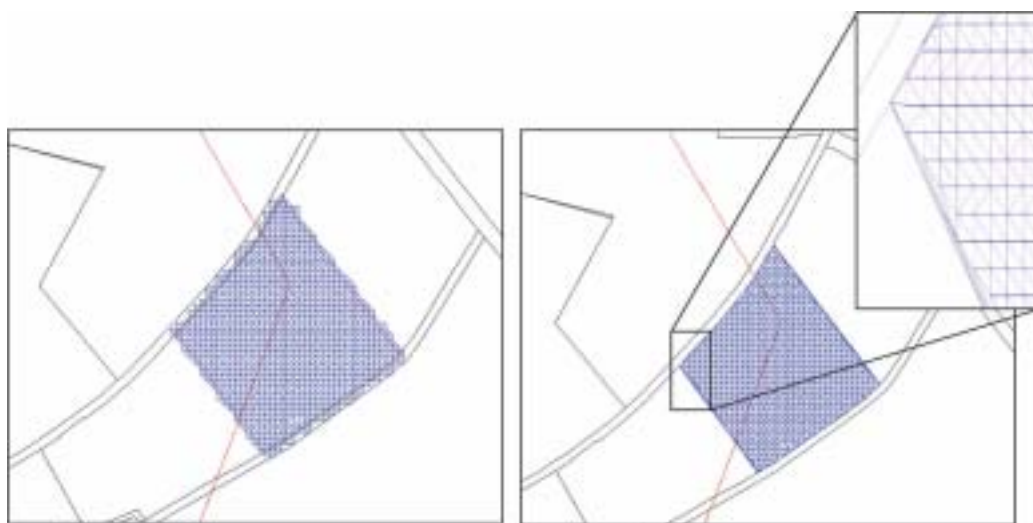


Figura 5. La superficie de una parcela extraída del Sistema de Gestión de Bases de Datos, sobre una red de triángulos irregulares sin restricciones (a la izquierda) y basándose en una red de triángulos irregulares con restricciones (a la derecha). Nótese que en el caso de red de triángulos irregulares sin restricciones, los triángulos no se ajustan a los límites de las parcelas.

En la red de triángulos irregulares sin restricciones (figura 5, a la izquierda) la selección representa un área mayor que la propia parcela, ya que los triángulos atraviesan los límites de ésta. En la red de triángulos irregulares con restricciones (figura 5, a la derecha) cada triángulo pertenece a una sola parcela y, por tanto, la selección de triángulos iguala exactamente a la superficie de la parcelas, lo que ofrece mejores resultados.

Para calcular el área actual de una parcela en el espacio tridimensional, la red de triángulos irregulares con restricciones constituye la opción mejor; como se deduce de la figura 5. El área actual de una parcela, en tres dimensiones, puede calcularse sumando las áreas de todos los triángulos que cubren dicha parcela.

Dado que la red de triángulos irregulares con restricciones ofrece mejores posibilidades, la petición de extraer la superficie de una parcela del Sistema de Gestión de Bases de Datos se realiza sobre la red de triángulos irregulares con restricciones.

x	y	z	surface
wrt_surface			
242847.22	512941.22	10.34	9.17208
242847.21	512941.25	10.38	9.172072
242847.17	512941.25	10.38	9.171944
242845.24	512942.82	10.38	9.165616
242844.80	512943.11	10.23	9.163164
242843.01	512944.55	8.89	9.165188
242841.22	512945.95	7.58	9.170208
242840.92	512946.21	7.42	9.170436
242840.47	512946.54	7.33	9.17049
242839.11	512947.64	7.32	9.170586
242835.29	512950.64	7.23	9.197065
242821.29	512962.05	7.17	9.140288
242820.76	512962.44	7.16	9.119136
242811.67	512969.86	6.93	8.96213

Tabla 1. La combinación de la tubería con la superficie de altitudes origina coordenadas “z en el nivel” de la superficie, y coordenadas “z con respecto al” nivel de la superficie. Nótese que la primera porción de la tubería se localiza sobre la superficie del terreno.

Disponiendo ya de la superficie, podemos también calcular la posición de la tubería con respecto a la misma (tabla 1). Los valores de la superficie se generaron proyectando la tubería en la red de triángulos irregulares. Los valores “con respecto a la superficie” pueden ser ahora calculados substrayendo el valor z de la tubería del valor z de la superficie.

5. INTERROGANDO AL SISTEMA

La petición de obtener los triángulos que cubren una parcela conlleva, primero la generación de la geometría de los triángulos y luego la selección de aquellos triángulos que se sitúan dentro de la parcela. Los triángulos seleccionados son los que nos interesan. Para simplificar la demanda, se almacenan explícitamente en la tabla de parcelas los polígonos obtenidos de las parcelas.

Para acelerar las demandas se construyó, en la tabla de la red de triángulos irregulares, un índice basado en diversas funciones. Un índice espacial basado en funciones facilita las demandas que emplean la información posicional (del tipo “sdo_geometry”) que es devuelta por una función. El índice espacial se crea basándose en los valores previamente calculados y que son devueltos por la función:

```
insert into user_sdo_geom_metadata values(
'TIN_C', 'stoter.return_geom(id)', mdsys.sdo_dim_array
(
mdsys.sdo_dim_element('X', 0, 254330, .5),
mdsys.sdo_dim_element('Y', 0, 503929, .5)), NULL
);
```

```
create index tin_idx on tin_c(RETURN_geom(ID)) indextype is
mdsys.spatial_index;
```

La demanda espacial de encontrar todos aquellos puntos o triángulos que se sitúan dentro de una parcela, puede efectuarse de dos formas

(según el Oracle Espacial): con el operador espacial ("sdo_relate") y con la función espacial ("sdo_geom.relate"). El operador espacial requiere y utiliza un índice espacial y es, por consiguiente, más rápido que la función espacial, que no utiliza ningún índice. Desafortunadamente, en la versión actual los operadores sólo funcionan si la dimensión de los operandos es igual entre sí. Para ilustrar la diferencia entre operador espacial y función espacial, se almacenaron los triángulos de la red de triángulos irregulares en dos dimensiones y se preguntó qué triángulos se encontraban dentro de una parcela en particular (la parcela número 461 del municipio GBG00, sección L):

```
/* query to obtain triangles covering one parcel

/* operator
select id, return_geom(id) shape from tin_c, parcels par where
parcel=' 461' and
municip='GBG00' and
section=' L' and
sdo_relate(return_geom(id),par.geom, 'mask=COVEREDBY+INSIDE,
querytype=JOIN') = 'TRUE';

/* function
select id, return_geom(id) shape from tin, parcels par
where
parcel=' 461' and
municip='GBG00' and
section=' L' and
sdo_geom.relate(par.geom,
'COVEREDBY+INSIDE',return_geom(id),1)='TRUE';
```

En ambos casos, tanto con el operador espacial como con la función espacial, el resultado fue de 1.855 triángulos

En la red de triángulos irregulares con restricciones, el número máximo de triángulos en una parcela es de 31.193, el número mínimo es de 15 y el número promedio es de 817. En la red de triángulos irregulares sin restricciones el número máximo de triángulos en una parcela es de 15.121, el número mínimo es de 1 y el número promedio es de 348.

El operador espacial ("sdo_relate") y la función espacial ("sdo_geom.relate") son la implementación en Oracle del modelo de "Egenhofer 9-intersección" (Egenhofer, 1992). Este modelo sirve para encontrar las relaciones topológicas binarias entre puntos, líneas y polígonos. Cada objeto espacial tiene un interior, un límite y un exterior. El límite consiste en los puntos o líneas que separan el interior del exterior. El límite de una línea son sus puntos extremos. El límite de un polígono es la línea que describe su perímetro. El interior consiste en los puntos que están en el objeto pero no en su límite y el exterior consiste en aquellos puntos que no son del objeto. Algunas de las relaciones topológicas del modelo de "Egenhofer 9-intersección" llevan asociadas nombres. Los siguientes nombres se usan en los ejemplos expuestos:

- INSIDE: Devuelve INSIDE si el primer objeto está totalmente dentro del segundo y los límites de los objetos no se tocan; en caso contrario devuelve FALSE.

- COVEREDBY: Devuelve COVEREDBY si el objeto primero está totalmente dentro del segundo, y los límites de los objetos se tocan en uno o más puntos; en caso contrario devuelve FALSE.

6. CONCLUSIÓN

Para poder posicionar y situar objetos tridimensionales (túneles, tuberías), definidos por sus coordenadas z absolutas, con respecto a la superficie, se necesita conocer las superficies de las parcelas. En esta investigación se han empleado dos registros: el registro de límites de parcelas del Catastro holandés, y el registro de altitud del Meetkundige Dienst of Rijkswaterstaat. La manera óptima de integrar la altitud en el Catastro es mantener ambos registros (el de límites de parcelas y el de altitudes de puntos) en un Sistema de Gestión de Bases de Datos.

El mejor proceso para la combinación de ambos registros es obtener todos los puntos de cota que se localizan en una parcela, y se puede sumar el área de todos los triángulos situados en una parcela para conseguir el área de dicha parcela en el espacio tridimensional.

En esta investigación se ha empleado un área de estudio para ver las posibilidades de esta integración. Ambos registros se introdujeron en el Sistema de Gestión de Bases de Datos. La red de triángulos irregulares, generada en esta investigación fuera del Sistema de Gestión de Bases de Datos, se almacena en el Sistema de Gestión de Bases de Datos en un modelo topológico con una vista geométrica superpuesta. La integración de los datos de altitud y los límites de parcelas hace posible posicionar objetos tridimensionales con respecto a la superficie (¿Cuál es la profundidad o altitud de un objeto tridimensional en cierta posición?). En el futuro, el cálculo de la red de triángulos irregulares deberá efectuarse dentro del Sistema de Gestión de Bases de Datos.

Una de las desventajas de emplear un conjunto denso de datos de altitud obtenida por láser, estriba en que el volumen de datos resultante es muy grande, lo que acarrea un bajo rendimiento en las demandas. Es, así pues, importante contemplar cómo podemos reducir el número de nodos de la red de triángulos irregulares, quitando aquellos que no sean significativos para dicha red, teniendo en cuenta las restricciones debidas a los bordes de las parcelas (quitando nodos basándose en parámetros tales como el ángulo máximo entre dos puntos o la diferencia entre un punto original y la red de triángulos irregulares reducida). En nuestro departamento se ha efectuado un estudio sobre la reducción de datos iterativa de una red de triángulos irregulares sin restricciones, mediante la detección de los puntos de altitud característicos (Penninga 2002). La reducción de datos de una red de triángulos irregulares con restricciones, a la vez que mantiene la calidad, mejorará considerablemente la eficacia de la red de triángulos irregulares y será, por tanto, un tema interesante para investigar en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer a la NAM y al Meetkundige Dienst of Rijkswaterstaat por facilitarnos el uso de sus datos. También nos gustaría agradecer al Catastro de Holanda por el uso de sus datos y por su ayuda. Finalmente nos gustaría agradecer a Peter van Oosterom los comentarios que hizo a una versión previa de este artículo.

REFERENCIAS

- Egenhofer, M.J. and J.R.Herring (1992). *Categorising topological relations between regions, lines and point in geographic databases*, in: The 9-intersections: formalism and its use for natural language spatial predicates, Technical report 94-I, NCGIA, University of California.
- FIG (1995). *The FIG Statement on the Cadastre*, Publication No. 11, 1995.
- Heerd, van, R.M., E.A.c. Kujilaars, M.P. Teeuw and R.J. van 't Zand (2000). *Product specificatie AHN*, March 15th 2000, Meetkundige Dienst, Rijkswaterstaat, MDTGM 2000.13.
- Lenk, U. (2001). *Strategies for integrating height information and 2D GIS data*, resented at the joint OEEPE/ISPRS workshop- From 2D to 3D, establishment and maintenance of national core spatial databases", held Oct. 8-10, 2001 at Hannover, Germany
- Oracle (2001). *Oracle Spatial User's Guide and Reference Release 9.0.1* Part Number A88805-01, June 2001.
- Oosterom, P.J.M. van, J.E. Stoter, S. Zlatanova and W.C. Quak (2002). *The balance between Geometry and Topology*, Spatial Data Handling 2002 Symposium, Ottawa, Canada, 9-12 July 2002.
- Oosterom, P.J.M. van and C.H.J. Lemmen (2001). *Spatial data management on a very large cadastral database*, Computers, Environments and Urban Systems (CEUS), volume 25, number 4-5, pp. 509-528.
- Penninga, F. (2002). *Detectie van kenmerkende hoogtepunten in TIN's voor iteratieve datareductie* (in Dutch), Geo-informatiedag Nederland 2002, February 2002, Ede, the Netherlands.
- Stoter, J.E., M.A. Salzmann, P.J.M. van Oosterom and P. van der Molen (2002). *Towards a 3D Cadastre*, FIG XXIII/ACSM-ASPRS, 19 - 26 April, 2002, Washington, USA.
- Stoter, J.E. and H.D. Ploeger (2002). *Multiple use of space: current practice of registration and development of a 3D cadastre*, UDMS 2002, Prague, Czech Republic October 1 - 4, 2002.
- Stoter, J.E. and H.D. Ploeger (2003). *Registration of 3D objects crossing parcel boundaries*, to be presented at FIG workingweek 2003, April 2003, Paris.
- Stoter, J.E. and P.J.M. van Oosterom (2002). *Incorporating 3D geo-objects into a 2D geo-DBMS*, FIG, ACSM/ASPRS, April 19-26 2002, Washington D.C. USA
- Shewchuk, J.R. (1996). *Triangle: Engineering a 2D Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator*, First Workshop on Applied Computational Geometry (Philadelphia, Pennsylvania), pages 124-133, ACM, May 1996.
- Worboys, M.F. (1995). *GIS, a computing perspective*, Taylor and Francis, London, ISBN 0-7484-0065-6. ■

Aviso

CAMBIO DE DENOMINACION DE TCP-I.T.

A partir de Enero de 2005 todos los productos y servicios que hasta ahora ha venido suministrando TCP Informática y Topografía (TCP-I.T.) serán realizados por la empresa APLITOP S.L. (Aplicaciones Topográficas), desde sus nuevas instalaciones.

La empresa continuará con el desarrollo de soluciones completas para la Topografía e Ingeniería Civil, tanto en la elaboración de proyectos en gabinetes como para la toma de datos y replanteo con dispositivos móviles.

Los datos de contacto son los siguientes:



APLITOP

Sumatra, 9
29190 MALAGA
Tel. 952 439 771 - Fax 952 431 371
Web: www.aplitop.com
e-mail: info@aplitop.com

Captura... Medición... Cartografía... GIS...



Nunca antes ha sido tan sencillo integrar información GIS. Utilizando los sistemas de flujo geoespacial de la división de GIS & Mapping de Leica Geosystems puede capturar, procesar y actualizar sus datos con la seguridad de obtener resultados precisos.

Utilice nuestros sensores digitales, LIDAR, cámaras y GPS para adquirir datos y mediciones. Extraiga mapas, ortofotos y MDT con nuestras estaciones fotogramétricas. Procese, visualice, analice y exporte la información con nuestro software de tratamiento de imagen geográfica.

Sea cual sea su flujo de trabajo, Leica Geosystems dispone de una solución integrada a la medida de sus necesidades.

Leica Geosystems GIS & Mapping, S.L. General Díaz Porlier, 18. 28001 Madrid. Tel.: 915 766 579. Fax: 915 764 408. www.gis.leica-geosystems.com



 **ERDAS**
geographic imaging made simple™

 **LH Systems**

Leica
Geosystems

Novedades Técnicas

LEICA GEOSYSTEMS MIDE EL CALOR DE LA AFICIÓN ATLÉTICA EN EL DERBY



El día 9 de enero, durante el partido de fútbol de primera división que enfrentó al Atlético de Madrid y al Real Madrid, Leica Geosystems puso a disposición del club Atlético de Madrid los más novedosos y

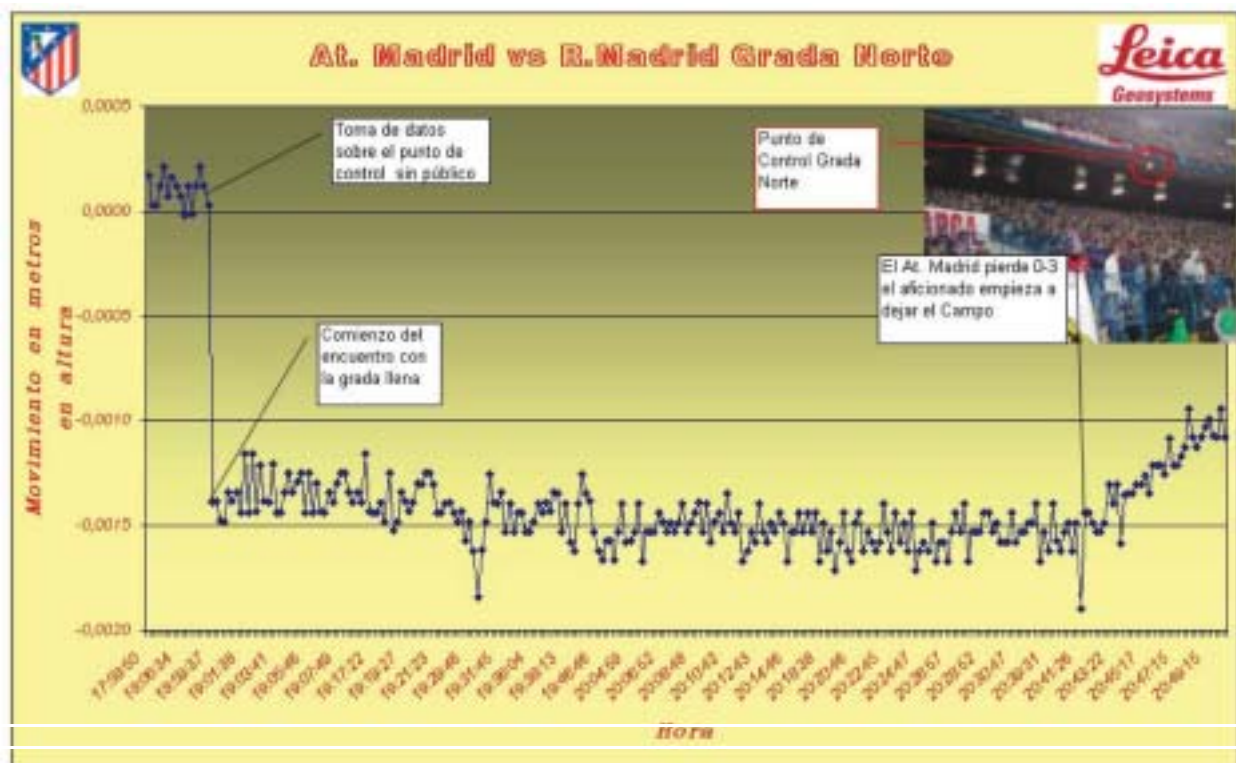
precisos instrumentos de medición topográfica de esta empresa Suiza para realizar un control dimensional de las gradas del Estadio Vicente Calderón. Así pudimos descubrir, según los momentos más emocionantes del partido, cuánto y cuándo se movieron la grada Norte del estadio rojiblanco durante el derby de Madrid.

La iniciativa tenía como objetivo comprobar cuánto se movió la grada norte del Estadio Vicente Calderón. El proyecto, puesto en marcha por primera vez en un estadio español, fue ideado por los ingenieros de

Leica Geosystems en colaboración con el club Atlético de Madrid. En concreto, el trabajo de los ingenieros de Leica Geosystems consistió en realizar unas medidas continuas de 2 puntos, elegidos estratégicamente en las gradas del Vicente Calderón, y medirlos con precisiones mejores de 0,5 milímetros. Junto a estas medidas se asoció una lectura de tiempo, con el fin de correlacionar las mediciones con los momentos clave del partido.

Se pudo observar el movimiento de la grada antes del partido y durante el partido. La grada bajó 1,8 mm con el público sentado ya en la grada y se pudo observar una mayor actividad del público durante la primera parte (de ahí los picos en la gráfica durante los primeros 45 minutos), cuando las opciones del Atlético de Madrid y Real Madrid estaban todavía abiertas.

Después del segundo gol del Real Madrid el movimiento de la grada es casi imperceptible, ya que la afición del Atlético perdió las esperanzas de remontar el encuentro, y sólo se empezó a mover para abandonar el campo después del tercer gol de Ronaldo.



EL SISTEMA DE VIGILANCIA VOLCÁNICA DEL IGN

El día 1 de marzo, en la sede central del Instituto Geográfico Nacional, se realizó la presentación a la comunidad científica nacional del Proyecto Básico de Sistema de Vigilancia Volcánica para Canarias, elaborado por técnicos del IGN. A esta reunión también asistieron expertos en vulcanología y sistemas de vigilancia volcánica de Italia y Méjico.

El objetivo de esta presentación era recabar las opiniones técnicas de estos expertos sobre el mencionado sistema, a fin de optimizarlo en la medida que se considerase oportuno y adecuarlo a las mejores posibilidades técnicas y financieras. Ha de señalarse, ya en este punto, que el sistema propuesto fue valorado muy positivamente en su conjunto; se propuso incorporar al mismo algunas técnicas de vigilancia de la actividad volcánica de las que todavía no dispone el IGN, como son las técnicas geoquímicas. Por otra parte, muchos de los expertos asistentes a la reunión mostraron su interés y disposición a colaborar, tanto a nivel personal como institucional, en la puesta en marcha, funcionamiento y utilización científico-técnica de los medios instrumentales que constituirán el sistema de vigilancia volcánica propuesto.

La elaboración de este Proyecto Básico de Sistema de Vigilancia Volcánica para Canarias se lleva a cabo para dar cumplimiento a lo establecido en el Real Decreto 1476/2004, de 18 de junio (BOE de 19 de junio), en el que se encomienda al IGN la "observación, vigilancia y comunicación de la actividad volcánica en el territorio nacional y determinación de los riesgos asociados". Esta encomienda viene a cubrir la inexistencia hasta entonces, en España, de una institución pública encargada de esa misión de vigilancia y alerta, tal y como ocurre en los países desarrollados sujetos a ese tipo de riesgo natural. Y, obviamente, para dar cumplimiento a esa misión de vigilancia y alerta, lo primero que hay que hacer es dotarse de los correspondientes equipos instrumentales utilizados en la detección y medida de los fenómenos sísmicos, geodésicos y geofísicos, precursores y descriptores de la actividad volcánica. Equipos instrumentales que deben ser definidos en su funcionalidad para, posteriormente, ser diseñados, instalados y puestos en marcha de la manera más productiva y eficiente posible.

Pues bien, durante los últimos meses, los técnicos del IGN han estado recabando información técnica, proyectando y planificando, en todos sus aspectos, el sistema instrumental con el que deberá dotarse a las Islas Canarias (inicialmente a Tenerife) para la vigilancia y estudio de su actividad volcánica. El resultado ha sido la elaboración de un Proyecto Básico, en el que se consideran los subsistemas sísmicos, geodésicos, geofísicos y de transmisión, tratamiento y análisis de los datos generados, que habrán de conformar, junto con otros que posteriormente pudieran añadirse (por ejemplo, geoquímicos), el sistema instrumental de observación y diagnóstico de los fenómenos ligados a la actividad volcánica que puedan producirse.

En la figura 1 se muestran esquemáticamente el tipo de infraestructuras, instrumentación e instalaciones sísmicas, geodésicas y geofísicas que se ha proyectado adquirir, instalar y poner en funcionamiento durante los próximos dos años y que, como puede observarse, incluyen nuevas líneas de nivelación de alta precisión, estaciones GPS permanentes, mareógrafos, inclinómetros, redes sísmicas permanentes y portátiles, redes geomagné-



Figura 1. Proyecto Básico de Sistema de Vigilancia Volcánica en la isla de Tenerife

cas y gravimétricas, cámaras visual e infrarroja, sistemas de transmisión y comunicación, etc. La descripción detallada de estas instalaciones y equipos desborda, obviamente, la extensión de esta nota informativa.

Todos estos medios observacionales, cuyo diseño, instalación, mantenimiento y operatividad funcional es responsabilidad del IGN, constituyen el Área Técnica-Instrumental que, junto con una Área Científica y otra denominada Área Pública de Servicio, conformarían el sistema global de vigilancia propuesto por el IGN, en el que, además de los aspectos instrumentales, se tienen en cuenta los mecanismos de evaluación y seguimiento vulcanológico de los fenómenos detectados, su comunicación a los comités de decisión que se considere y, llegado el caso, la adopción de las medidas precautorias que hubiesen de tomarse. Un esquema posible de dicho sistema marco global es el que se muestra en la figura 2.

En el momento de redactar estas líneas ya han dado comienzo los trabajos de búsqueda y evaluación (sísmica, geológica, etc.) de los posibles emplazamientos para las distintas instalaciones y se han puesto en marcha los trámites administrativos para la adquisición de algunos de los equipos y sistemas a instalar (estaciones sísmicas, estaciones GPS, niveles de alta precisión, etc.).

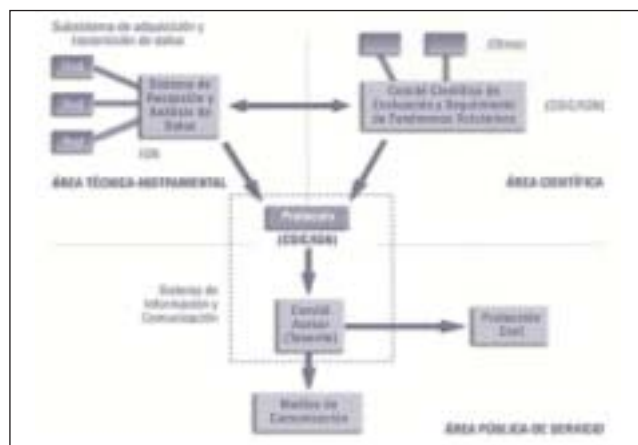
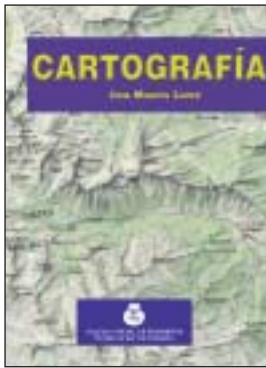


Figura 2. Sistema Marco Global de Vigilancia y Alerta Volcánica

Libros Técnicos



Título: Cartografía
Autor: José Martín López

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



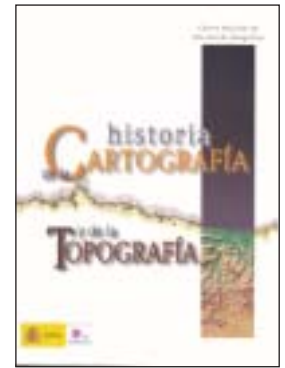
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

21,03 € Ref.: 038



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

27,10 € Ref.: 021



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

41,60 € Ref. 039



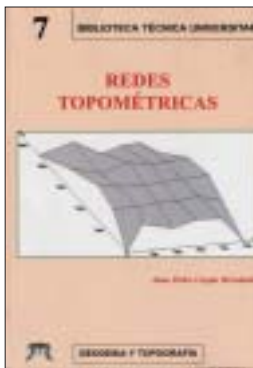
Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital
Autor: José Luis Lerma García

43,34 € Ref. 5006



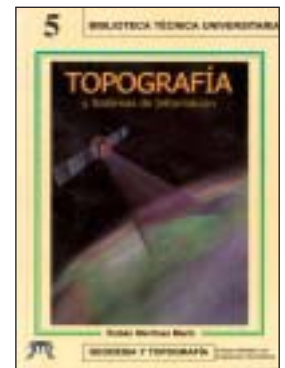
Título: Fotogrametría analítica
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

11,54 € Ref.: 804



Título: Redes Topométricas
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

22,83 € Ref. 6008



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

18,10 € Ref.: 6006



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

10,20 € Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

11,75 € Ref.: 5003



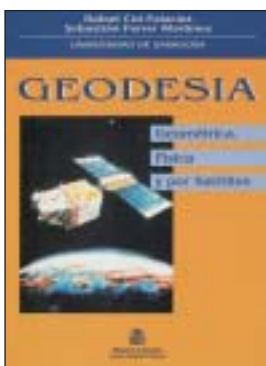
Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

8,70 € Ref.: 5002



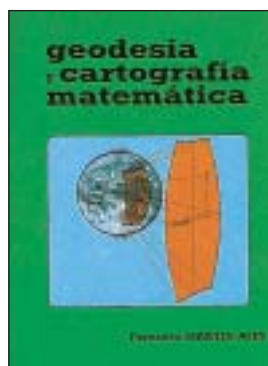
Título: Aerotriangulación: Cálculo y Compensación de un bloque fotogramétrico
Autor: José Lerma García

18,54 € Ref.: 5004



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

24,10 € Ref.: 030



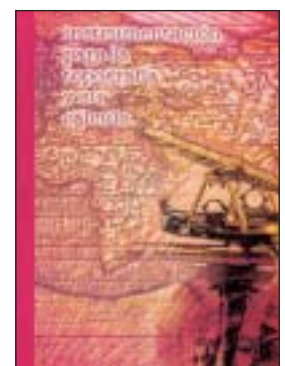
Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

32 € Ref. 205



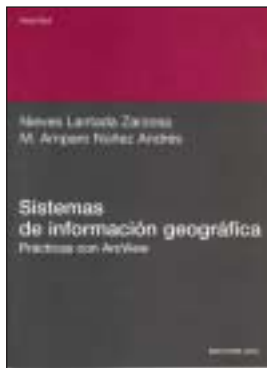
Título: Transformaciones de coordenadas
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

18 € Ref.: 6007



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

26,75 € (+CD por 33,70 €)
Ref. 7001



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



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



Título: **Topografía subterránea para minería y obras**
 Autores: Miguel Estruch Serra y Ana Tapia Gómez
30,00 € Ref. 804



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



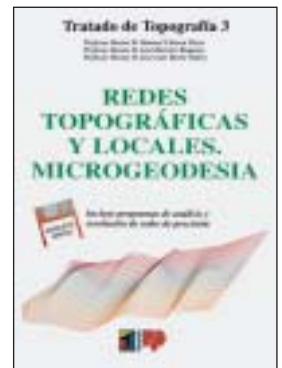
Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
15,70 € Ref. 6003



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

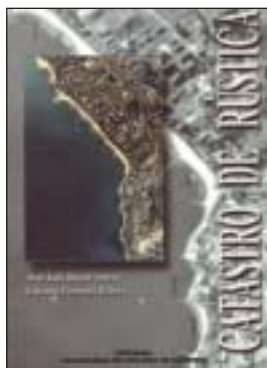


Título: **Tratado de Topografía 2**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
51,10 € (42,10 € coleg.) Ref. 2002

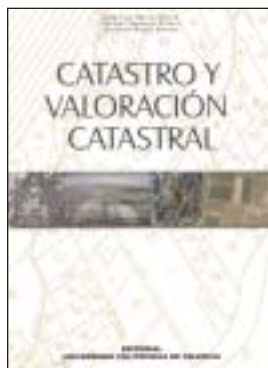


Título: **Tratado de Topografía 3**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
36,10 € (30,10 € coleg.) Ref. 2003

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



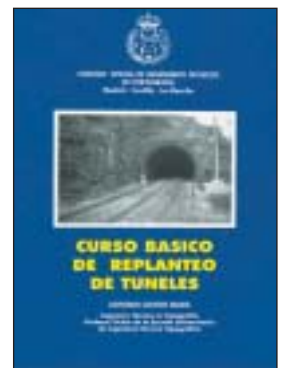
Título: **Catastro de Rústica**
 Autores: José Luis Berné Valero y Carmen Femenia Ribera
31,68 € Ref. 5005



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



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



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

Boletín de Pedido a la Revista TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA

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

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

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

Nombre
 Dirección Tel.
 Ciudad..... Provincia C.P.

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

Remitir justificante de giro o transferencia.

NOTA: Estos precios son con IVA incluido.

Vida Profesional

FESTIVIDAD DE SAN ISIDORO DE SEVILLA



D. Pedro J. Cavero Abad, Decano del COITT, haciendo entrega de la placa al colegiado jubilado D. Ángel Rivero Martínez

El pasado 23 de abril tuvo lugar en Madrid la celebración de los tradicionales actos conmemorativos de la festividad de San Isidoro de Sevilla, patrón de los Ingenieros Técnicos en Topografía, organizados por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía y la Delegación Territorial en Madrid del mismo.

Los actos comenzaron a las 10:30 horas con la celebración de la tradicional misa en memoria de los colegiados fallecidos durante el último año, en la iglesia de San Bruno, próxima a la sede de la Junta de Gobierno del COITT.

El decano del COITT. D. Pedro J. Cavero Abad, y el Delegado Territorial en Madrid del COITT, D. Pedro Alcázar Tejedor, haciendo entrega de la placa al colegiado D. Carlos García Riera



A continuación, los asistentes se desplazaron al Palacio de Congresos de Madrid, en cuyo Salón de Banquetes, el Decano del COITT, D. Pedro J. Cavero Abad, dirigió unas palabras a los asistentes, procediendo después a hacer entrega de una placa, como homenaje y reconocimientos a sus muchos años de dedicación profesional, a cada uno de los siguientes Ingenieros Técnicos en Topografía colegiados que se han jubilado en este último año o han alcanzado en activo la edad de 69 años:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| D. José María Meca Pérez | D. Valentín Oreja Pedraza |
| D. Manuel Chiroso Valor | D. Jose Antonio Pastor Rodado |
| D. Francisco Morgado Caleyá | D. Santiago Sánchez Sánchez |
| D. Antonio Ruiz Morales | D. Francisco Morales Hernández |
| D. Manuel Macía Herranz | D. Alfredo Ramos Alonso |
| D. Vicente Gallardo Ibáñez | D. Esteban Viciano Aráez |
| D. Antonio Requena Cano | D. José Carlos Fernández Pampillón |
| D. Rafael Álvarez Torres | D. Alfonso Ortuño Caballero |
| D. Ángel Rivero Martínez | D. José González García-Estrada |
| D. Jesús Rodríguez Fernández | D. Ricardo Tejedor Sanz |
| D. Adolfo Merás Perelló | D. Jesús Fraile Jiménez |
| D. Enrique Inglés Saura | D. Carlos García Riera |

En el acto de entrega se hizo una especial mención a la jubilación de D. Ángel Rivero Martínez, miembro fundador del COITT, Secretario que fue de su Junta de Gobierno y, durante el período de 1995 a 1999, Decano del mismo, así como Colegiado de Honor, que recogió su placa. Igualmente se hizo con D. Carlos García Riera, actualmente Secretario de la Delegación en Madrid del COITT, puesto que ha desempeñado durante muchos años, y Presidente del Comité Organizador de varios TOP-CART, quien recogió su placa por haber cumplido en activo los 69 años.

Prosiguió el acto con la entrega a sus ganadores del IV Premio San Isidoro para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica, que concede la Junta de Gobierno del COITT.

Como conclusión, se sirvió un cóctel a los asistentes, que fue amenizado por nuestro compañero Julio Diéguez, quien hizo un alarde de sus dotes como tenor interpretando varias piezas del repertorio lírico español.

IV PREMIO SAN ISIDORO PARA PROYECTOS FIN DE CARRERA DE I. T. TOPOGRÁFICA



El ganador del IV Premio San Isidoro, D. Antonio García Benloch, recibiendo su placa de manos del Decano del COITT

El pasado 18 de abril, el jurado nombrado por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, organizador del IV Premio San Isidoro para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica presentados durante el año 2003, y constituido por D. Mario Ruiz Morales (Profesor de la Universidad de Granada), D. Antonio M. Luján Díaz (Profesor de la UPM), D. José Antonio Sánchez Sobrino (IGN), D. Javier González Matesanz (IGN) y D. Carlos Barrueso Gómez (Director de *Topografía y Cartografía*), decidió por unanimidad conceder los siguientes premios:



Los ganadores del 2º premio del IV Premio San Isidoro, Dña. Arantxa Tamarit Belenguer y D. Juan José Valero Fernández, junto a su tutor, el Decano del COITT y el Delegado Territorial en Madrid el COITT

Primer Premio, dotado con 1.500 € y diploma acreditativo, para el trabajo titulado "*Modelización Tridimensional del entorno de la Torre de Paterna*", de **D. Antonio García Benloch**, siendo tutor del mismo D. José Luis Lerma García, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingeniería Geodésica, Cartografía y Topografía de Valencia.

Segundo Premio, dotado con 900 € y diploma acreditativo, para el trabajo titulado "*Control Microgeodésico de la Lonja de Mercaderes de Valencia*", de **Dña. Arantxa Tamarit Belenguer** y **D. Juan José Valero Fernández**, siendo tutores del mismo D. Sergio Balsega Moreno y D. Pascual Garrigues Talens, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingeniería Geodésica, Cartografía y Topografía de Valencia.

Tercer Premio, dotado con 450 € y diploma acreditativo, para el trabajo titulado "*Seguimiento de Cetáceos*" de **D. Gerardo Hernández Jiménez**, siendo tutor del mismo D. Emilio Forcén Tárrega, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingeniería Geodésica, Cartografía y Topografía de Valencia.

El acto de entrega de los premios a los autores de los proyectos declarados ganadores, así como a los tutores de los mismos, se realizó en los actos que con motivo de la celebración de San Isidoro organizó la Junta de Gobierno del COITT y que tuvieron lugar en Madrid el pasado 23 de abril.

El jurado quiere felicitar a los ganadores, haciendo dicha felicitación extensiva a todos los participantes en esta cuarta edición del Premio San Isidoro, ya que la alta calidad, en todos los aspectos, de los trabajos presentados a hecho muy difícil su elección.



El Decano del COITT haciendo entrega del 3º Premio del IV Premio San Isidoro a su ganador, D. Gerardo Hernández Jiménez

Relación de Altas y Bajas habidas en el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía en el año 2004

Debido a los numerosos errores, ajenos a la redacción de esta revista, de que adolecía la relación de Altas y Bajas publicada en el número 126, procedemos a la publicación de la relación definitiva, ya depurada de dichos errores, de Altas y Bajas acaecidas en el COITT en el año 2004.

ALTAS DE COLEGIADOS

Aspano Gamero, Juan Miguel	Andalucía	Soler Florit, M ^a Nieves	Baleares
Jarrín Herrera, Manuel Fernando	Andalucía	Solís Pericas, Ricardo	Baleares
Ramos Martín, Francisco Javier	Andalucía	Ginard López, Santiago	Baleares
Castillo Olmo, Pablo	Andalucía	García López, Javier	C. Valenciana
Mancera Arcos, Rubén	Andalucía	Acosta Matarredona, Pablo	C. Valenciana
Rojas Parra, Félix	Andalucía	Ros Valiente, Luis	C. Valenciana
Rafael Cruz, Francisco Javier	Andalucía	Monzón Pérez, Esther	C. Valenciana
García Ramos, José Carlos	Andalucía	Moya Bañuls, Oscar	C. Valenciana
Fernández Fernández, Aníbal	Andalucía	Cabo Fabuel, Marta	C. Valenciana
Ciudad Barchino, Gema	Andalucía	Martínez Alfonso, Miguel	C. Valenciana
Sánchez Garzón, Matías José	Andalucía	Jarque Cobo, Ramón	C. Valenciana
Rivero González, María Del Pilar	Andalucía	Saiz Juan, Rafael	C. Valenciana
Morillas Sánchez, Tomas Martín	Andalucía	Monzo Beltrán, Vicent Lluís	C. Valenciana
Moral Moral, Pedro Jesús	Andalucía	Carrión Margos, Natalia	C. Valenciana
Rivillas Molina, Antonio	Andalucía	Zanón Segarra, Pablo	C. Valenciana
López Mata, Luis Fernando	Andalucía	Sendra Cardona, Fernando Raúl	C. Valenciana
Ramos Ramírez, Celia	Andalucía	Sierra Martín, Antonio	C. Valenciana
García Fernández, Ezequiel	Andalucía	Villacreces Morillas, M ^a Isabel	C. Valenciana
Guindos Rodríguez, M ^a Ángeles	Andalucía	Yagüe Giménez, Silvia	C. Valenciana
Martínez Moreno, Miguel Ángel	Andalucía	Díaz Blanco, Alberto	C. Valenciana
Delgado Romero, Lorenzo	Andalucía	Sebastián Laparra, Luis Pablo	C. Valenciana
González González, Juana M ^a	Andalucía	Santamaría Pérez, Eduardo	C. Valenciana
Gamarro Jiménez, Javier	Andalucía	Pérez Monzo, Enrique	C. Valenciana
Velasco Muñoz, María Del Carmen	Andalucía	Castillo Gualda, José	C. Valenciana
Fernández Romero, Noelia	Andalucía	David Baño, Vicente Luis	C. Valenciana
Yáñez Collado, M ^a Isabel	Andalucía	Pardo Carrión, Cristina	C. Valenciana
Moris Arrazola, Juan	Andalucía	Herrero Muñoz, Fernando	C. Valenciana
Lorente Muñoz, Avelino	Andalucía	Jiménez Vaquero, Caridad	C. Valenciana
Montes Aceituno, José Gabriel	Andalucía	Nuevalos Ejarque, Sandra	C. Valenciana
Rodríguez Bulnes, Álvaro	Andalucía	Gómez Huertas, Juan	C. Valenciana
Tiburcio Porras, Juan Carlos	Andalucía	Ayuso Arroyo, Antonio	C. Valenciana
Ramo Maicas, Tomas	Aragón	Sánchez Muñoz, Manuel Dionisio	C. Valenciana
Garrido García, Diana	Asturias	Esquerdo Zaragoza, Felisa	C. Valenciana
González Faza, Mónica	Asturias	Escoto Peiró, M ^a Dolores	C. Valenciana
Barrios Llano, María	Asturias	García Solaz, Ramón	C. Valenciana
Fernández Berceuelo, Pablo	Asturias	Díaz Deltoro, Paula	C. Valenciana
Álvarez Suárez, Carlos	Asturias	Alfonso Caamaño, Ana	C. Valenciana
Lueje Iglesias, Pablo	Asturias	Celda Montalar, Héctor	C. Valenciana
Castro García, Fernando	Asturias	González Rubio, Montserrat	C. Valenciana
Shaw Molina, M ^a Belén	Asturias	Iñan Urain, Igor	C. Valenciana
Suárez Prieto, Ana Isabel	Asturias	Villalba Cabello, Sara	C. Valenciana
Huerta Huerta, Miguel	Asturias	Ballester Bernal, M ^a Del Carmen	C. Valenciana
López de Castro, Daniel	Asturias	Martorell Guijarro, Raúl	C. Valenciana
Manzano Lorenzo, Tamara Natividad	Asturias	Montero Collado, Francisco José	C. Valenciana
Prieto García, Pablo Cesar	Asturias	Chulia Ferrandis, Ana Isabel	C. Valenciana
Álvarez Rodríguez, María Almudena	Asturias	Pardo Muñoz, David	C. Valenciana
Alfaro Rodríguez, Carlos	Asturias	Ros Gil, Neus	C. Valenciana
Álvarez Álvarez, Héctor	Asturias	Herrerías García, Alejandro	C. Valenciana
Álvarez Fuertes, David	Asturias	Gómez Moya, Ángela	C. Valenciana
Moran González, Marco L.	Asturias	Martínez Martínez, Mercedes	C. Valenciana
Belmar Flórez, Iván	Asturias	Robaina Suárez, Rosa Delia	Canarias
López Herrero, Carlos	Asturias	Moreno Herrera, Antonio David	Canarias
Díaz Argul, Iván	Asturias	Vallejo Benítez, Roberto	Canarias
López Fernández, Olga	Asturias	García Sánchez, Vanessa	Canarias
Sánchez Martínez, Pablo	Asturias	Martín González, Ana María	Canarias
González Artime, Jonatan	Asturias	Cedres Guerra, Julio David	Canarias
Valerio Moris, Pedro Pablo	Asturias	Morales Perera, Carmen Gloria	Canarias
Vázquez González, Noelia	Asturias	Santana de la Cruz, Antonia	Canarias
Torre González, Mónica	Asturias	Lorenzo Carmona, Yaiza	Canarias
Quirós Carretero, Francisco	Asturias	Estupiñán Sánchez, Josefa Del Carmen	Canarias
Salord Verd, Secundino	Baleares	Rodríguez García, Miguel Ángel	Canarias
		Álamo Martín, Manuel Gonzalo	Canarias
		Mesa Moreno, María	Canarias
		Deniz Castellano, Benigno	Canarias

Ales Tirado, Roberto	Cantabria	Cano Nieto, Javier	Madrid
Navascues Fraile, Santiago	Castilla-La Mancha	Sierra Mendoza, Antonio Javier	Madrid
Masa Sánchez, Ana	Castilla-La Mancha	Moreno Parrizas, Hugo Alberto	Madrid
Azuela Pérez, Julio	Castilla-La Mancha	Vilumbrales Arroyo, Luis	Madrid
Alonso Asenjo, Mariano	Castilla-La Mancha	Sacristán Castejón, Miguel Ángel	Madrid
González Vega, Esmeralda	Castilla-La Mancha	Pérez Fernández, Ruth	Madrid
Álvarez Gómez, Carlos Javier	Castilla-La Mancha	Encinar López, Jesús Antonio	Madrid
Pérez Cogolludo, David	Castilla-La Mancha	Plasencia Martín, Felipe	Madrid
García Pernia, Pablo	Castilla-La Mancha	Gómez Colmenarejo, Lucia	Madrid
Moreno Sánchez, Ángel Alberto	Castilla-La Mancha	Prieto Llanos, Fernando	Madrid
Velasco Gallardo, Mario Oscar	Castilla-La Mancha	Camarero Rodríguez, Alberto	Madrid
Jiménez Jiménez, Rubén	Castilla y León	Montero Torrejón, Javier	Madrid
De Dios Hernansanz, David	Castilla y León	López Barreiro, Ramón Fernando	Madrid
García Cebrián, Francisco José	Castilla y León	Gutiérrez Pérez, Ignacio	Madrid
Fernández Sáez, Jorge	Castilla y León	González Velasco, Marina Roció	Madrid
Gigosos Gorgojo, José Cesar	Castilla y León	Garro del Cid, Olga M ^a	Madrid
Rubio Rodríguez, Ismael	Castilla y León	Valcarce Graciani, Juan Ignacio	Madrid
Parrilla Huertas, Juan Antonio	Castilla y León	Rubio Carretero, Ana Isabel	Madrid
Oteo Ovejero, Raquel	Castilla y León	Calvo Soto, Iñigo	Madrid
García Bernal, Mario	Castilla y León	Pareja Duro, Pilar	Madrid
Sanz Gutiérrez, Almudena	Castilla y León	Del Mazo Roquero, Daniel	Madrid
Muñoz Grau, Alejandro	Cataluña	Sáenz Cano, Oscar	Madrid
Ledo Fernández, Raúl	Cataluña	González Jiménez, Alicia	Madrid
Gailhajanet Bota, Eduard	Cataluña	Fernández Carrasco, Francisca	Madrid
Iglesias Molina, José Amador	Cataluña	Plaza Medina, Nuria	Madrid
Coll Domínguez, Enric	Cataluña	Jiménez Herranz, M ^a Del Carmen	Madrid
Rosal Vidal, Jaume	Cataluña	Rodríguez Herrero, Rubén	Madrid
Luis Gol, Roger	Cataluña	Molina Sánchez, Iñigo	Madrid
González Maseda, Anna	Cataluña	Hernández Gutiérrez, Juan Jesús	Madrid
Cacho Cebollada, Julio	Cataluña	García García, Elisa	Madrid
Alonso García, Raquel	Cataluña	Grajera Expósito, José Antonio	Madrid
Trubat Pontí, Judit	Cataluña	Trigo Gambaro-Espuig, Patricia	Madrid
Fargas Larrosa, Oscar	Cataluña	Tenorio Ruiz, Paloma	Madrid
Serrano Monje, Ana	Cataluña	Rodríguez Caneiro, Daniel	Madrid
Veciana Orpinell, Jordi	Cataluña	Cazón Martí, Ignacio	Madrid
Vieco Sánchez, Jorge	Cataluña	Hernández Lloreda, Agustín Borja	Madrid
Corzo Suárez, Susana	Cataluña	Vergara España, Mario	Madrid
Fernando Trabucco, Martín	Cataluña	Temprado Romero, Álvaro	Madrid
Gil Cejudo, Leandro Rafael	Extremadura	Madrid Bellón, Juan Antonio	Madrid
Martínez Bautista, Alonso	Extremadura	Saiz Marcilla, Cándido	Madrid
Malpartida Rodríguez, Alicia	Extremadura	Moreno Díaz, Ángel	Madrid
López Masot, Celso M.	Extremadura	Picado Loiro, Jesús	Madrid
Oreja Carreño, Eduardo	Extremadura	Gómez Sánchez, Roció	Madrid
Travado Llanos, Rosa Maria	Extremadura	Casado Domínguez, Manuel	Madrid
Flores Vélez, Luis	Extremadura	Monge Cortes, Juana M ^a	Madrid
Martín Nogales, Emiliano	Extremadura	Gil Hofmann, Javier	Madrid
Salgado Domínguez, Luis Javier	Extremadura	Rodríguez Moraleda, David	Madrid
Martín Castaño, Rosalía	Extremadura	García Caballero, José Ignacio	Madrid
Caballo Moreno, Marco Antonio	Extremadura	Torresano Aguilar, José A.	Madrid
Martín Zarallo, Francisco José	Extremadura	Bodas García, Ángel Luis	Madrid
Pulgarín Blázquez, Fernando	Extremadura	Escanero Izuel, Julio	Madrid
Pazos Hernández, Fátima	Galicia	Horriño Lozano, Rosa Maria	Madrid
Negreira Lens, José Maria	Galicia	Ceballos Arias, Ana Victoria	Madrid
Fariña Mendoza, Paula	Galicia	Eglicerio Román, Javier	Madrid
Cuenca Muñoz, Raúl	La Rioja	Oñate Pizarro, Esther	Madrid
López Arrebola, M ^a Del Carmen	La Rioja	Rodríguez Berrocal, Emilio José	Madrid
Ronzero Rehkoff, Luis Leonardo	Madrid	Alarcón Tárraga, Pilar	Murcia
De La Torre Pablo, Guillermo José	Madrid	Muñoz López, Inmaculada	Murcia
Benítez Sánchez, Ángel Luis	Madrid	Conesa Navarro, Francisco Silvestre	Murcia
Sánchez Rielo, Marcos	Madrid	Egea Buendía, Maria José	Murcia
Rodríguez Chavarro, Milton	Madrid	Egea de Esteban, Gerardo	Navarra
Bisbal Martín, Javier	Madrid	Muguruza Palacios, Sergio	País Vasco
Santamaría Fernández, Fernando	Madrid	Rubio Sánchez, Antonio	País Vasco
Encinas García, Raquel	Madrid	Novella Linaje, Alberto	País Vasco
Cárdenas Durillo, Pedro	Madrid	Urcola Amundarain, Olatz	País Vasco
Illescas Díaz, Raúl	Madrid	Bilbao Ibarra, Iñaki	País Vasco
Delgado López, Eduardo	Madrid	Vicente García, Maite	País Vasco
Villarejo Serrano, Diego	Madrid	Oleaga Gorriño, Oier	País Vasco
Murillo Estévez, Guadalupe	Madrid	Arrieta Rojas, Ignacio	País Vasco
Berjano Torrado, Francisco Javier	Madrid	Astobiza Olabarría, Eunáte	País Vasco
Ascasibar Allona, Pablo	Madrid	Mendía Huertos, Javier	País Vasco
Cuesta Muñoz, Roberto	Madrid	Leturia Nabaroa, Aitor	País Vasco
Sena de Haro, María Belén	Madrid	Manjón Olmedo, Ana Belén	País Vasco
Sánchez Castillo, José Antonio	Madrid	Ramos Macaya, Itziar	País Vasco

Sanz Azaguirre, Aimar	País Vasco
Blanco Diez, Alberto	País Vasco
Udabe Astigarraga, Andoni	País Vasco

JUBILADOS

Morgado Caleyá, Francisco	Andalucía
Llanes Rocha, Pedro	Andalucía
González Jiménez, Francisco	Aragón
Sánchez Guillermo, José Luis	C. Valenciana
Faustino Granados, Julio	C. Valenciana
Esteve Mico, José Ramón	C. Valenciana
Fraile Vacas, Ángel	Galicia
Requena Cano, Antonio	Madrid
Rivero Martínez, Ángel	Madrid
Rodríguez Fernández, Jesús	Madrid
Sanz Vargas, Jesús	Madrid
Vallejo Ayllón, José Manuel	Madrid
Ingles Saura, Enrique	Madrid
Pastor Rodado, José A.	Madrid
Oreja Pedraza, Valentín	Madrid
Meras Perelli, Adolfo	Madrid
Amor Zapata, Olegario De	Murcia

FALLECIDOS

Rosales Linde, José	Andalucía
García Hernández, Carlos J.	Andalucía
Menéndez Fernández, José Luis	Asturias
Bonet Casarico, Vicente	C. Valenciana
Artal Giménez, J. Javier	C. Valenciana
Yera Ramírez, Ildefonso	C. Valenciana
Díaz García, Luis	Cantabria
Tourón Acevedo, Alejandro	Galicia
Valbuena Vera, Luis	Madrid

BAJAS VOLUNTARIAS

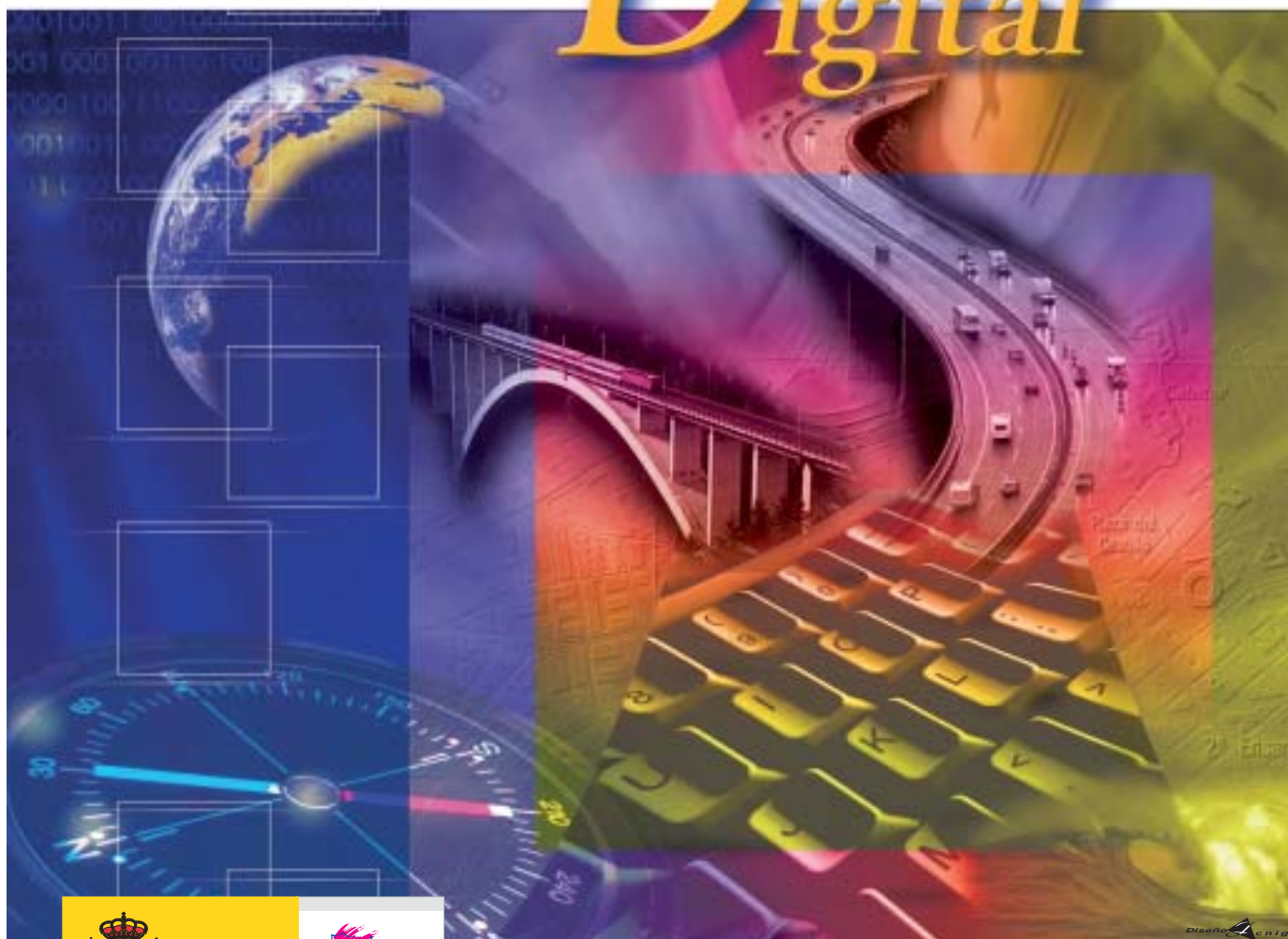
Muñoz Pancorbo, Faustino	Andalucía
Delgado Montosa, Inmaculada	Andalucía
Vargas López, Juan Rogelio	Andalucía
Rincón Pancorbo, Tomas	Andalucía
Méndez Caballero, Elena Maria	Andalucía
Peón Aguas, Rebeca	Asturias
Martínez Colao, M ^a Manuela	Asturias
Puertas Cano, Andrés	Asturias
Martínez Menéndez, Patricia	Asturias
Blanco González, José Ramón	Asturias
Rodes Hurtado, Francisco	C. Valenciana
Dura Soler, M ^a Marlen	C. Valenciana
Carsi Vela, Eugenio	C. Valenciana
Sebastián Rubio, Jorge	C. Valenciana
Gómez Secaduras, M ^a José	C. Valenciana
Moya Sánchez, Juan Pablo	C. Valenciana
Pruñonosa Casado, Raquel	C. Valenciana
Cardo Cañizares, Alfredo	C. Valenciana
Dura Sanz, Yolanda	C. Valenciana
Ibars Cister, Silvia	C. Valenciana
Pozo Fernández-Freire, Laura	C. Valenciana
Navarro García, Javier	C. Valenciana
Yerro Fernández, Javier	C. Valenciana
Pérez Piera, Alejandro	C. Valenciana
Salcedo Fernández, Juan José	C. Valenciana
Broseta Sáez, Jorge	C. Valenciana

Arnedo Ribes, Alberto Gonzalo	C. Valenciana
Martín García, Bernardo	C. Valenciana
Reig Sarrio, Jorge	C. Valenciana
Altaberri Ferri, Aurelio	C. Valenciana
López Suárez, Fátima	Canarias
López Marrero, Patricia	Canarias
Rodríguez Franco, Pilar	Canarias
Sosa Montesdeoca, M ^a José	Canarias
Fernández Martínez, Raquel	Cantabria
Tordesillas García Lillo, José Manuel	Castilla-La Mancha
García Miguel, M ^a Cristina	Castilla y León
González García, M ^a Luisa	Castilla y León
González Domínguez, Marcos	Cataluña
Cañas Alonso, Alberto	Cataluña
Morraya García, Andréu	Cataluña
Molina Ontiveros, M ^a José	Cataluña
Abelló Sala, Xavier	Cataluña
Pérez Díaz, Fco. Javier	Cataluña
Nogales Galán, José Manuel	Extremadura
García García, Fátima	Extremadura
Mancha Cortes, Antonio	Extremadura
Valle Pastelero, José Luis	Extremadura
Fernández del Val, Rodrigo	Madrid
Cid Martín, Alicia	Madrid
Santos Mora, Antonio	Madrid
Aparicio Delgado, Benito	Madrid
Pacheco Esteban, Juan Manuel	Madrid
Diéguez García, Mario	Madrid
Moreno Muñoz, Roberto	Madrid
Jiménez Prieto, Miguel Ángel	Madrid
Casal Vázquez, Nuria	Madrid
Mate Encinas, Francisco	Madrid
Acosta Sánchez, Sonia	Madrid
Sánchez Díaz, Ángel	Madrid
Ortiz Arjona, María E.	Madrid
Roncero Pacheco, Elías	Madrid
García Núñez, Ana M ^a	Madrid
Cabrera Ramírez, Juan	Madrid
Redondo Martínez, Nuria	Madrid
López López, Sergio	Madrid
Del Cerro Herrera, Luis	Madrid
Lobo Martínez, Ricardo	Madrid
Lara Fernández, Francisco	Navarra
González Langarica Quintana, Miguel	País Vasco
Hermosa Madinabeitia, Juncal	País Vasco
Pinedo Marín, M ^a Angosto	País Vasco
Areta Martínez de Marañón, Alberto	País Vasco
Gómez de Segura Iriarte, Mercedes	País Vasco
Sánchez Sánchez, Antonio	País Vasco
Peña Goitia, Inmaculada	País Vasco

BAJAS POR APLICACIÓN DEL ARTÍCULO 48.2

Ojeda Moral, Andrés	Andalucía
Guillen Buendía, Miguel A.	Andalucía
Lamonedá Aranda, Miguel A.	Andalucía
González González, J. Octavio	Aragón
Gálvez Linares, Rosa Maria	Baleares
Felipe García, Beatriz	C. Valenciana
Martínez Rubio, Juan	Cataluña
Rodríguez Gallego, Fco. Javier	Cataluña
Gil Jiménez, Diego	Cataluña
Bonet Vilela, Fidel	Cataluña
Rivero González, M ^a Aranzazu	Extremadura
Acevedo López, Alberto	Galicia
Fernández de Villalta Compagni, María	Madrid
Rota Gil, Ana Maria	Madrid
Galán García, Oscar	Madrid
Mendoza Cuenda, Fernando	Madrid

Cartografía Digital



BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCNI 1000, 500, 200, 25),
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT 1000, 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: Monte Esquinza, 41 - 28010 MADRID
Comercialización: General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es • <http://www.cnig.es>

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., suscríbese

El precio de la suscripción para el año 2005 es de:

	Correo ordinario	Correo certificado
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 2004-2005) 27 €

NOMBRE Y APELLIDOS.....

DIRECCIÓN....., POBLACIÓN.....

PROVINCIA....., CÓDIGO POSTAL....., PAÍS....., TEL. CONTACTO.....

Adjunto cheque o justificante de giro transferencia para la suscripción del año 2005.

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

Índice 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



TOPCON ESPAÑA, S.A.
Instrumentos Topográficos

Frederic Mompou, 5 - Ed. EURO-3
08860 S. JUST DESVERN (Barcelona)
Tel. 93 473 40 57 - Fax 93 473 39 32

Avenida de Burgos, 16 E, 1.º
28036 MADRID
Tel. 91 302 41 29 - Fax 91 383 38 90

ATICSA
— Distribuidor Oficial —



INTERGRAPH TCP-IT

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



Distribuidor 

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



Distribuidor en España

PENTAX•ASHTech•THALES•ROLLEI
Topografía, GPS, Fotogrametría, Hidrografía
Avda. Filipinas, 46 - 28003 MADRID
Tel. 91 553 72 07 - Fax 91 533 62 82
E-mail: grafinta@grafinta.com
<http://www.grafinta.com>

ACRE

Alquiler y venta G.P.S.
Instrumentos Topográficos

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




TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA, S.L.
ALQUILER Y VENTA DE GPS
ESTACIONES TOTALES Y ACCESORIOS

 Cristóbal Bordiú, 35
Tel. 91 535 33 72
Fax 91 535 33 84
28003 Madrid
datum@arrakis.es

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

Sistemas G.P.S.
Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

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



construcción

topografía

control de maquinaria



Sede central:

AV. DE LA INDUSTRIA, 35 • 28760 TRES CANTOS (MADRID) • APARTADO DE CORREOS 63 • TEL: 902 103 930