

Nuestra portada:
IBERGEO 2006

Vol. XXIII - N.º 135

Julio-Agosto

2006

DIRECTOR

Carlos Barrueso Gómez

*

CONSEJO DE REDACCION:

Junta de Gobierno del Colegio
Oficial de Ingenieros Técnicos
en Topografía

*

DIRECCION, REDACCION,
ADMINISTRACION Y
PUBLICIDAD

Avenida de la Reina

Victoria, 66, 2.º C

28003 Madrid

Teléfono 91 553 89 65

Fax: 91 533 46 32

topografiaycartografia@top-cart.com

Depósito Legal: M-12.002-1984

ISSN: 0212-9280

Título clave: TOPCART

Topografía y Cartografía

Fotocomposición e impresión:

ALBADALEJO, S.L.

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

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

Esta revista ha sido impresa en papel
ecológico

TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE
INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

Sumario

IBERGEO 2006: Nuevo Geoide centimétrico de la Península Ibérica	3
Miguel J. Sevilla	
La Topografía en los Túneles de Guadarrama para el Tren de Alta Velocidad (y III)	12
Pedro Arranz Chacón	
La tecnología LIDAR: Una visión general	28
José Balsa Barreiro y José Luis Lerma García	
Modelizado 3D de la Iglesia de San Benito Abad (Barajas de Gredos, Ávila)	34
Mariano Veneros Gómez	
Uso de una Infraestructura de Datos Espaciales en el estado alemán de Renania-Palatinado para e-gobierno	58
Volker Emmel y Hartmut Müller	
Novedades Técnicas	66
Vida Profesional	74
Índice Comercial	79

TCP-MDT

Levantamientos

Proyectos

Replanteos

Carreteras

Urbanizaciones

Canteras



Topografía

Construcción

Urbanismo

Ingeniería

Aplicaciones para Dispositivos Móviles

Gestión de Dibujos
con potente CAD



Replanteo y Toma de Datos
con GPS y Estación Total

Control de Obras de Túneles

Nueva versión de MDT para IntelliCAD

Solución completa para
proyectos con CAD integrado



bricscad

Orto3D

Presentaciones realistas
de alta calidad



aplitop

Aplicaciones de
Topografía e Ingeniería Civil

C/ Sumatra nº 9, 29190 - Málaga

Tlf: 952-439771

Fax: 952-431371

www.aplitop.com

info@aplitop.com

IBERGEO_2006: Nuevo Geoide centimétrico de la Península Ibérica

Miguel J. Sevilla

INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y GEODESIA

FACULTAD DE MATEMÁTICAS (UNIVERSIDAD COMPLUTENSE)

Resumen

El geoide ibérico Ibergeo95 fue publicado en 1995. Desde entonces han aparecido nuevos datos gravimétricos y nuevos modelos de geopotencial y del terreno. Con todos estos datos hemos determinado un nuevo geoide, el IBERGEO_2006, más preciso que el anterior, aunque se ha utilizado la misma metodología, que resultó ser extremadamente útil. En este nuevo cálculo se han usado los siguientes datos: a) El modelo de geopotencial EIGEN-CG03C completo hasta grado y orden 360 b) 209.725 anomalías aire libre de la gravedad validadas que cubren la Península Ibérica y regiones circundantes c) un modelo digital del terreno de 200x200 metros y e) datos GPS en puntos de nivelación proporcionados por los Institutos Geográficos de España y Portugal. La comparación con datos GPS de la superficie de referencia de altitudes final da una desviación típica de 1,3 centímetros (6 cm en interpolación) y una precisión relativa de 0,62 ppm.

Abstract

The Ibergeo95 geoid was published in 1995. From then on have appeared new geopotential models, new digital terrain models and new and precise data of gravity anomalies. With all these resources has been proceeded to calculate a new geoid, IBERGEO_2006, more precise than the previous one, although it has been used the same methodology that demonstrated to be extremely useful. In this new geoid computation has been used the following data types: a) the Combined Gravity Field model EIGEN-CG03C complete to degree and order 360, b) a set of 209.752 validated free air gravity anomalies covering the Iberian Peninsula and surrounding regions, c) a digital terrain model of mesh side 200x200 meters and e) GPS data in levelling points provided by the Geographical Institutes of Spain and Portugal. The final reference heights surface have been compared with those data GPS points resulting a standard deviation of 1.3 centimeters (6 cm. in interpolation) and a relative precision of 0.62 ppm.

I. INTRODUCCIÓN

Recientemente están apareciendo publicados en *Topografía y Cartografía* diversos artículos relacionados con el problema de nivelación con GPS (Arozarena y Villa, 2005; Sánchez et al., 2005; Roman, 2006) o bien con modelos de geopotencial en la Península Ibérica (Martín y Lara, 2006). En estos trabajos suele utilizarse el geoide ibérico Ibergeo95 determinado hace más de diez años. Sin embargo, en la actualidad disponemos de un nuevo geoide ibérico, el IBERGEO_2006, presentado en la 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica (Sevilla, 2006), mucho más preciso que el anterior y que desde ahora debe sustituirlo. Por esta razón, y por el interés creciente que está teniendo el uso del geoide en muchos campos de la Geodesia y Topografía, en el presente artículo informamos de la metodología utilizada para la preparación del IBERGEO_2006 y los resultados obtenidos. Creemos que esto puede ser de interés para los usuarios.

En 1995 se publicó el geoide Ibergeo95 (Sevilla, 1995) que fue el primer geoide gravimétrico de la Península Ibérica; una versión preliminar puede verse en (Sevilla 1994b). Desde entonces han aparecido nuevos modelos de geopotencial mucho más precisos que los utilizados entonces, también se ha dispuesto de un nuevo modelo digital del terreno, de nuevos y precisos datos de anomalías de la gravedad de España y de Portugal y de datos de altimetría de satélites en las zonas marinas. Con todos estos nuevos recursos se ha procedido a calcular un nuevo geoide IBERGEO_2006 con la misma metodología empleada en 1995, que demostró ser extremadamente útil.

El método usado en los cálculos ha sido el mismo que en el Ibergeo95: la integral de Stokes. Después de eliminar una corrección de Helmert, se ha aplicado colocación para obtener una superficie de referencia de altitudes ajustada a puntos GPS/Nivelación. Los resultados se han comparado con los obtenidos en 410 puntos, resultando una desviación típica de 13 milímetros y una precisión relativa de 0,62 ppm.

2. ANTECEDENTES Y MEJORAS

El nuevo geoide que ahora se presenta es una actualización del geoide IBERGEO95 determinado en 1995. Los parámetros geodésicos de la zona de trabajo son: Sistema de referencia WGS84, un área de 10 grados en latitud, de $35 < \varphi < 45$, y 16 grados en longitud, de $-10,5 < \lambda < 5,5$. En la zona central la longitud de un arco de meridiano de 1 grado es de 111,035 km ($10^\circ = 1.110,346$ Km) y la de un arco de paralelo de 1 grado 85,394 km ($16^\circ = 1.366,312$ km) con una relación entre arcos de 1,300. Los intervalos de las mallas resultantes son de 2,17 km x 2,67 km teniéndose en total 262.144 puntos de geoide.

Las mejoras del presente geoide han sido posibles por las siguientes razones:

1. Disponer de un nuevo modelo de geopotencial, el CG03C que ha sido publicado en 2005 por el GeoForschungsZentrum (GFZ) de Potsdam.
2. Disponer de valores absolutos de la gravedad (aunque de momento no se han utilizado).
3. Disponer de nuevos datos gravimétricos en España y Portugal y nuevos datos marinos. 22.909 datos más que en 1995.
4. Nuevo cálculo de anomalías aire libre a partir de gravedades medidas con los nuevos programas REDGRA con fórmulas precisas y todo referido al sistema WGS84 (Sevilla, 1994a).
5. Nueva validación de anomalías con gráficos parciales y otros métodos avanzados.
6. Utilizar un modelo digital del terreno más denso que el de 1995, sobre todo en zonas montañosas (MDT200).

7. Utilizar para comparación anomalías obtenidas a partir de datos de satélites ERS1-2 y TOPEX/POSEIDON en zonas marinas (Calvaio y Sevilla, 2000).
8. Obtener la malla de anomalías reducidas con anomalías Bouguer completas y después pasar a anomalías Helmert añadiendo la corrección por lámina Bouguer tomando las altitudes de una malla previamente calculada.
9. Disponer de una red de puntos de control GPS en el sistema ETRF89 y de nuevos parámetros de transformación de coordenadas del ED50 al WGS84 proporcionados por los Institutos Geográficos de España y Portugal, a quienes se agradece su colaboración

3. MODELO DE GEOPOTENCIAL

El modelo de geopotencial utilizado es el EIGEN-CG03C publicado en 2005 por el GeoForschungsZentrum (GFZ) de Potsdam. Este modelo del campo de gravedad combinado es una mejora del EIGEN-CG01C. El modelo se basa en la misma misión CHAMP y en datos de superficie (0,5 x 0,5, gravimetría y altimetría), pero tiene en cuenta casi dos veces más datos que la misión GRACE. En vez de 200 días ahora se han utilizado 376 días: febrero a mayo de 2003, julio a diciembre de 2003 y febrero a julio de 2004.

EIGEN-CG03C es completo hasta grado y orden 360 en términos de coeficientes armónicos esféricos y resuelve longitudes de onda de la anomalía del geoide y de la gravedad de 110 kilómetros. Un método especial de combinación de banda limitada se ha aplicado para preservar la alta exactitud de los datos basados en los satélites en la banda de frecuencia más baja del geopotencial y formar una transición suave a la in-

EIGEN-CG03C Gravity Anomalies (mgal)

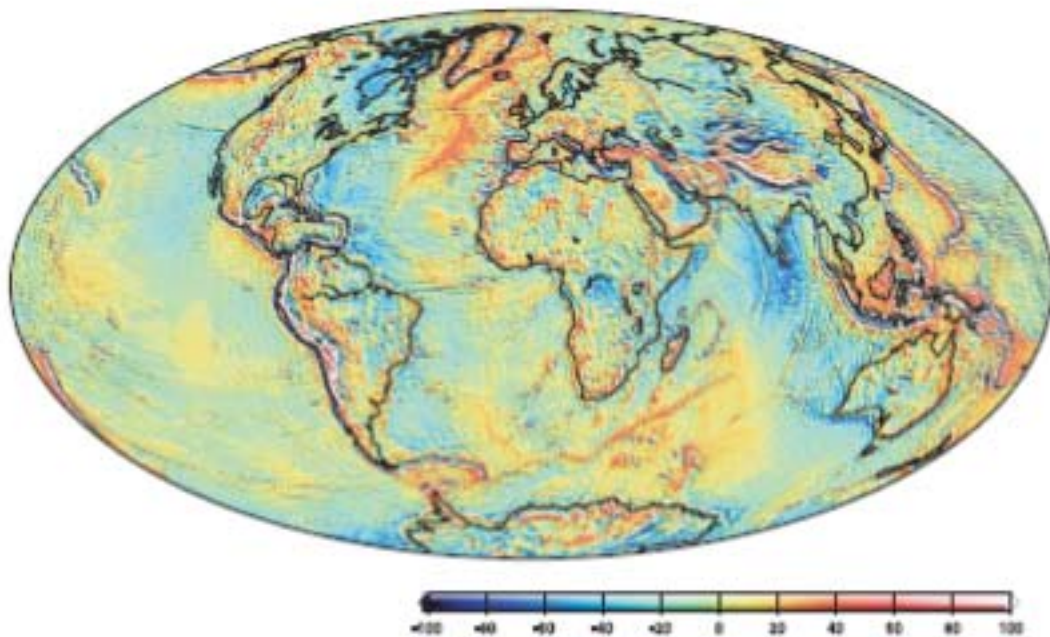


Figura 1 – Mapa de anomalías gravimétricas CG03C (Förste et al. 2005)

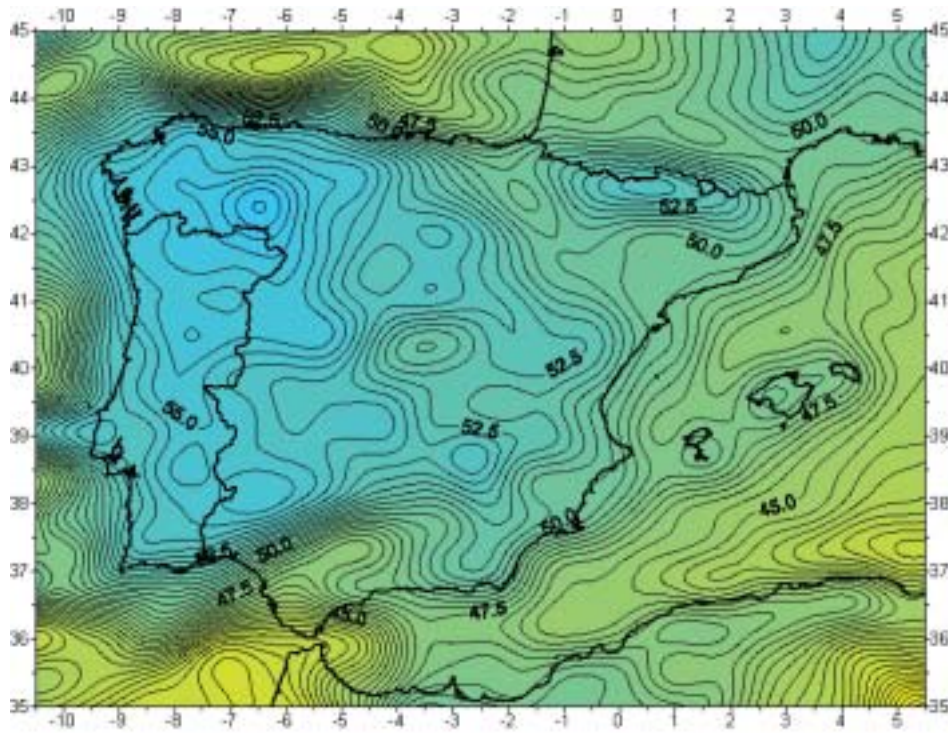


Figura 2 – Ondulaciones del geoido modelo CG03C en la Península Ibérica

formación de alta frecuencia que venía de los datos de superficie. Comparado con los modelos de gravedad de alta resolución globales pre-CHAMP/GRACE, la exactitud en longitud de onda de 400 kilómetros se podía mejorar en un orden de magnitud a 3 centímetros y 0,4 mGal en términos de ondulaciones del geoido y anomalías de la gravedad, res-

pectivamente. La exactitud total del modelo completo 360 a características espaciales de 100 kilómetros se estima en 30 centímetros y 8 mGal, respectivamente. La exactitud sobre los océanos es generalmente mejor que sobre los continentes que reflejan la calidad de los datos superficiales disponibles. (Förste *et al.* 2005) (figuras 1 y 2)

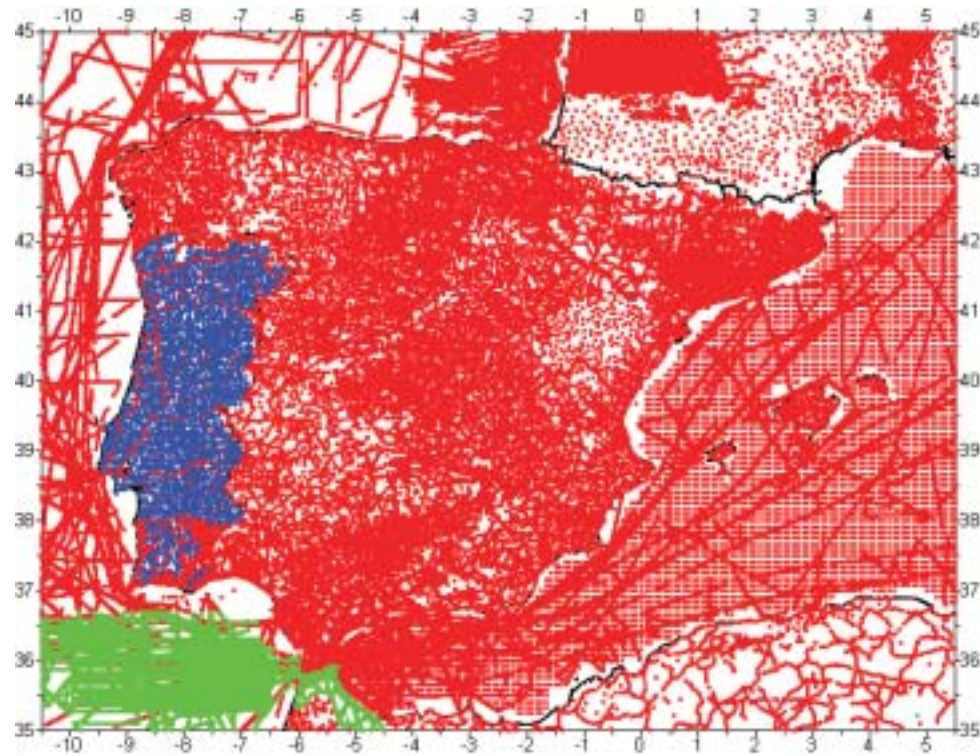


Figura 3 – Distribución de datos gravimétricos en la Península Ibérica

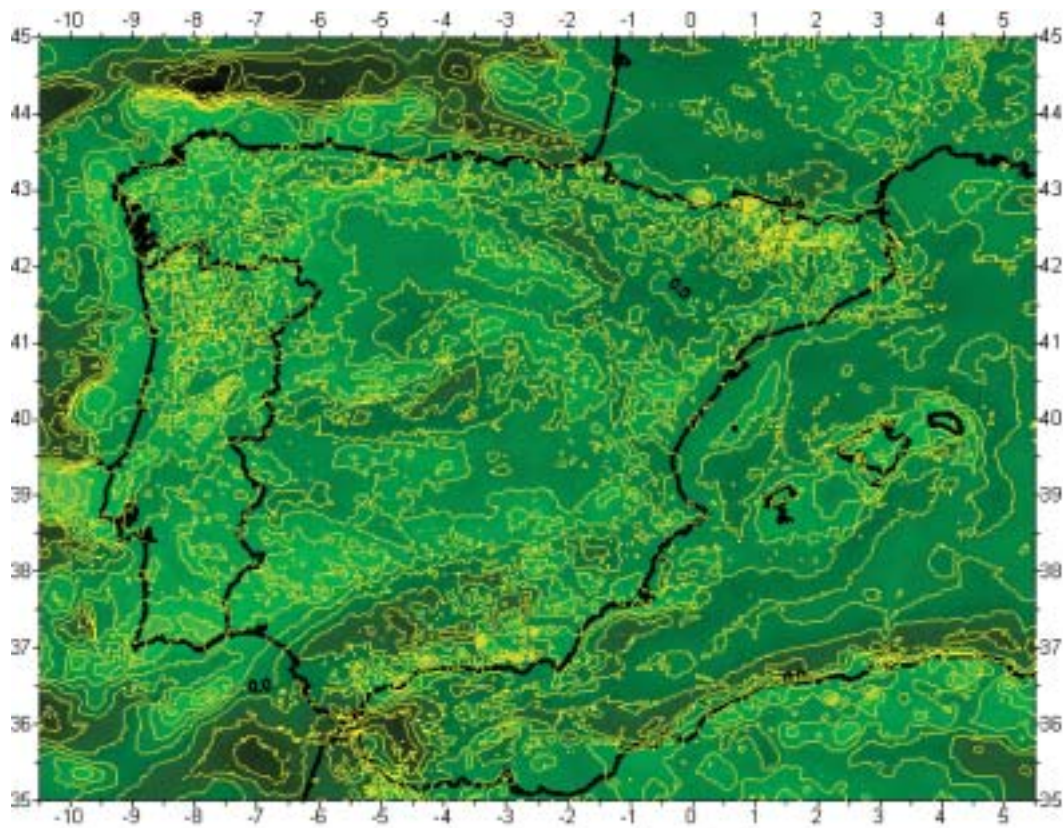


Figura 4 – Anomalías aire libre en la Península Ibérica

Con este modelo se han calculado las siguientes cantidades:

Anomalías modelo por

$$\Delta g_{\text{modelo}}(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta)$$

Ondulaciones modelo por

$$N_{\text{modelo}}(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r\gamma} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta)$$

4. DATOS GRAVIMÉTRICOS

La zona de datos es la comprendida entre $35 < \varphi < 45$ (10 grados en latitud) y $-10,5 < \lambda < 5,5$ (16 grados en longitud) y el banco de datos gravimétricos para el cálculo del IBERGEO_2006 está constituido por (figura 3):

- 186.813 datos validados de 1995 corregidos en 1996 (puntos rojos),
- 3.005 datos nuevos de Portugal hasta 1997 (puntos azules) y
- 19.934 datos nuevos obtenidos en 2002 al calcular el geoido del norte de África (puntos verdes) (Sevilla y Sánchez, 2002 y 2004)
- En total se dispone de 209.752 datos.

Como los diferentes datos iniciales estaban referidos a diferentes datum, en una primera etapa se realizaron las transformaciones de datum para estandarizar todos los datos. Los datos estandarizados se refieren

al WGS84 para la gravedad teórica y a la IGSN71 para la gravedad medida (queda pendiente transformar las gravedades medidas al sistema de gravedades absolutas, pero eso lo dejaremos para cuando dispongamos de resultados definitivos de la IAGBN (International Absolute Gravity Basestation Network)). Se ha aplicado la corrección atmosférica.

Todos los datos han sido cuidadosamente analizados para eliminar puntos repetidos y han sido validados para eliminar errores groseros, utilizando diferentes procedimientos. La validación es una de las operaciones más importantes en el tratamiento de datos gravimétricos, sobre todo cuando proceden de diversas fuentes y son de diferentes tipos. En validación se trata de detectar valores con errores groseros, es decir, valores erróneos debidos principalmente a equivocaciones en el manejo de números o en el cálculo de correcciones o en no haber realizado alguna de las correcciones necesarias en el proceso inicial de observación. Cuando se detecta un dato con error grosero no se elimina del fichero, sino que se le asigna un valor 1 a un índice de validación, es decir, se pone IVA = 1, estos puntos rechazados pueden analizarse posterior e independientemente por si aportaran información geofísica local (Sevilla et al. 1997). Ver tabla 1 y figura 4.

	Media	D.T.	Mínimo	Máximo	Rango
Observadas	-8,19	38,57	-179,97	189,33	369,30
Modelo CG03C	12,95	37,53	-150,95	127,60	278,55
Diferencias	-4,76	20,99	-153,11	182,70	335,81

Tabla 1. Estadísticas de anomalías aire libre (mGal)

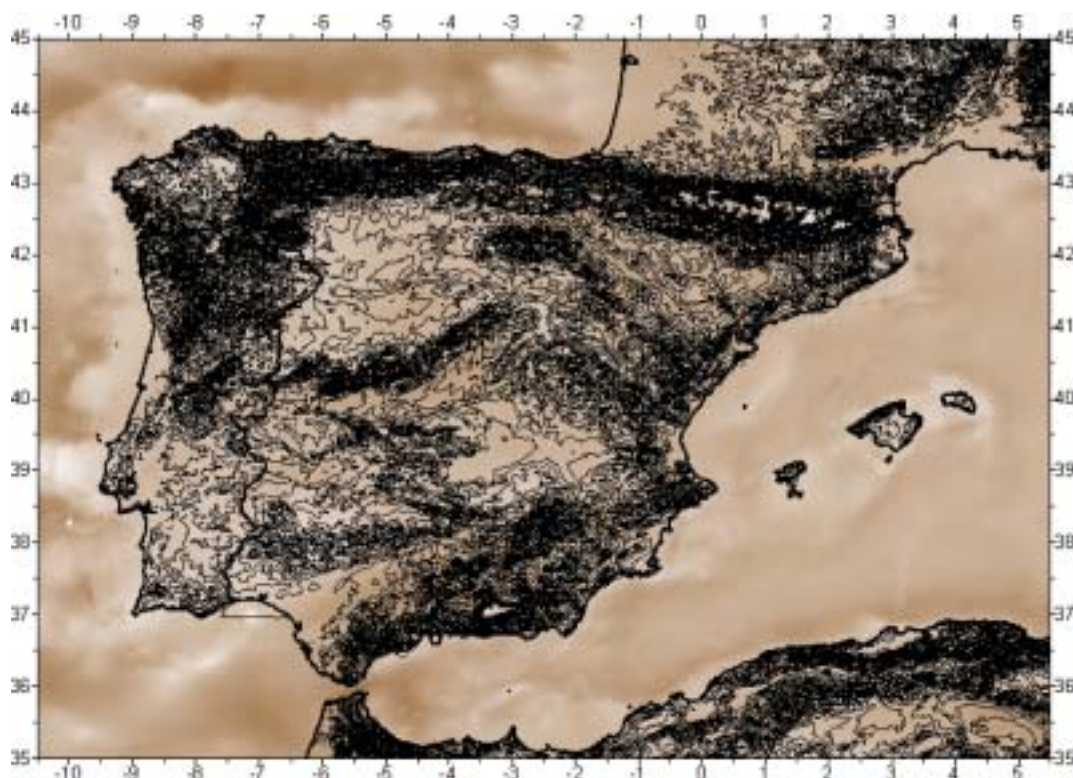


Figura 5 – Modelo Digital del Terreno en la Península Ibérica

5. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Para las correcciones de terreno y efecto indirecto se ha construido un Modelo Digital del Terreno de la zona de trabajo a partir del MDT200 del Instituto Geográfico Nacional para España, de un modelo también a escala 1/200.000 de Portugal para Portugal, del modelo GLOBE para el resto del territorio y del modelo topo_8.2 para la batimetría. Este modelo, denominado IBHGEO200 (figura 5), está dado en el sistema WGS84 en una malla continua de límites $34 < \phi < 45,5$ $-11 < \lambda < 6$. Tiene 6.390 filas y 7.084 columnas orientadas de O a E y de N a S. Los intervalos de la malla son $6,48''$ (199,864 metros) en latitud y $8,64''$ (204,946 metros) en longitud. Tiene 45.266.760 puntos. (Sevilla, 2002)

Con este MDT se han calculado las siguientes cantidades:

Corrección de terreno

$$c_p = G\rho \int \int \int \frac{z - h_p}{[(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 + (z - z_p)^2]^{3/2}} dx dy dz$$

Efecto indirecto

$$N_{ind} = -\frac{\pi G\rho}{7} h^2(x_p, y_p) - \frac{G\rho}{6\gamma} \int \int \frac{h^3(x, y) - h^3(x_p, y_p)}{[(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2]^{3/2}} dx dy$$

También se ha calculado, con fines de validación, la **corrección de terreno residual** (rtm). Los parámetros estadísticos de estas correcciones se muestran en la tabla 2

Los parámetros estadísticos de estas correcciones se muestran en la tabla 2

	Media	D.T.	Mínimo	Máximo
c_p	0,46	1,32	0	40,35
rtm	-2,80	18,52	-126,57	153,40
Validación	-1,97	18,23	-154,77	199,46
N_{ind}	-0,02	0,03	-0,41	0

Tabla 2. Estadísticas de correcciones

6. ANOMALÍAS REDUCIDAS

Las anomalías reducidas que van a entrar en la fórmula de Stokes se calculan en cada punto por medio de

$$\Delta g_{red} = \Delta g_{AL} - \Delta g_{mod} - 2\pi G\rho h + c + \delta\Delta g$$

Es decir, a las anomalías aire libre Δg_{AL} se le quitan las anomalías modelo Δg_{mod} , se corrigen por lámina Bouguer $-2\mu G\rho h$, se aplica la corrección de terreno c y se añade el segundo efecto indirecto sobre la gravedad.

$$\delta\Delta g = \frac{2\pi G\rho h^2}{R}$$

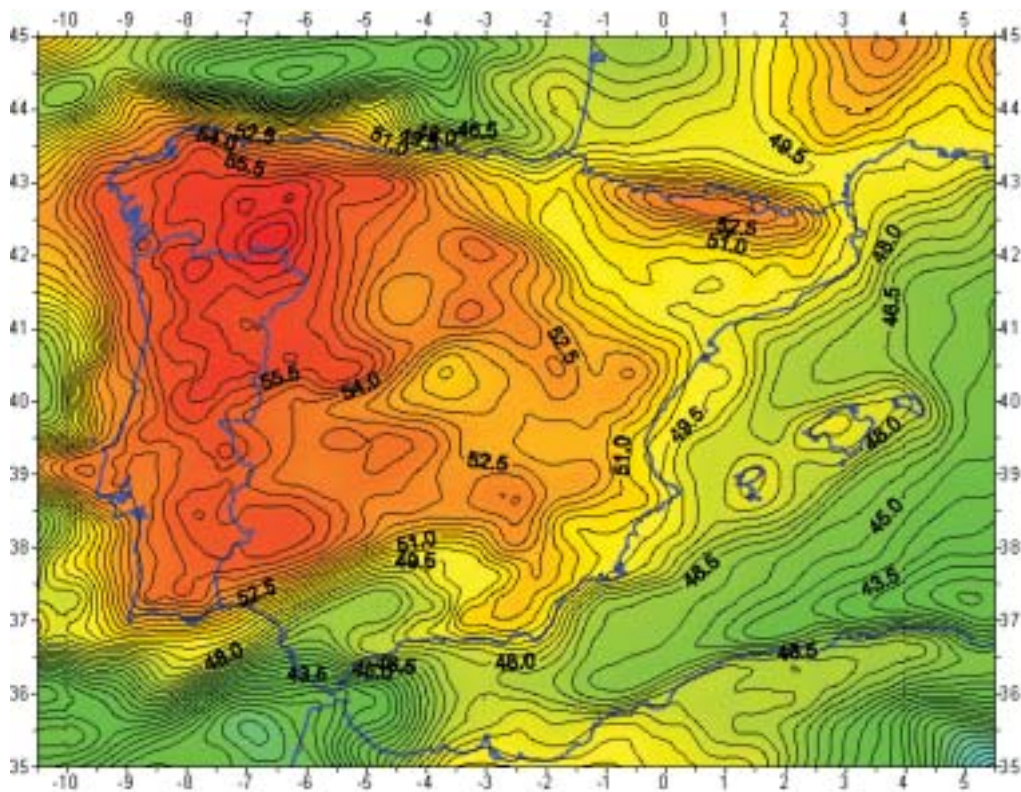


Figura 6 – IBERGEO_2006

Con estas anomalías reducidas, que son muy suaves, se construye una malla por colocación y se obtiene Δg_{red}^{gri} . En esta malla se restituye la lámina Bouguer y resultan las anomalías reducidas definitivas para el cálculo

$$\Delta g = g_{red}^{gri} + 2\pi G \rho h^{gri}$$

7. LA FÓRMULA DE STOKES

Las ondulaciones del geoido han sido determinadas usando la técnica clásica del quita y pon. Las ondulaciones predichas se obtienen por la fórmula

$$N = N_{mod} + N_{ind} + N_{gra}$$

donde N_{mod} es la contribución del modelo EIGEN-CG03C, N_{ind} es el efecto indirecto del terreno y N_{gra} es la contribución de las observaciones del campo de gravedad: anomalías aire libre corregidas de modelo y de topografía

El método utilizado para el cálculo de la contribución gravimétrica local al geoido ha sido la fórmula de Stokes.

$$N_{gra} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint \Delta g(\varphi, \lambda) S(\psi) d\sigma$$

donde R es el radio medio terrestre, γ la gravedad normal, σ la esfera de integración, Δg las anomalías de la gravedad reducidas al geoido y $S(\psi)$ la función de Stokes dada por

$$S(\psi) = \frac{1}{t} - 4 - 6t + 10t^2 - (3 - 6t^2) \ln(t + t^2), \quad t = \sin \frac{\psi}{2}$$

Para evaluar la fórmula de Stokes se usa la técnica de la FFT 1D esférica, que permite la evaluación de la integral esférica discreta de Stokes sin ninguna aproximación, paralelo por paralelo. En los cálculos se ha usado un espectro discreto de la función núcleo. Un orlado de ceros del 100 % fue añadido alrededor de la matriz señal para reducir la distorsión espectral y evitar efectos de convolución circular. La fórmula de evaluación puede escribirse en la forma

$$N_{\varphi_j}(\lambda_j) = \frac{R\Delta\varphi\Delta\lambda}{4\pi\gamma} F_1^{-1} \left[\sum_{m=1}^{\varphi_1} F_1[S_{\varphi_j m}] F_1[\Delta g_m(\lambda) \cos \varphi] \right], \quad \varphi_j = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_M$$

donde F_1 y F_1^{-1} son los operadores transformada de Fourier y su inverso. Con esta fórmula obtenemos la ondulación del geoido en todos los puntos de un paralelo. El resultado obtenido por este método es el mismo que el que se obtiene por integración numérica directa, pero sólo necesita tratar con una matriz compleja 1D cada vez, así resulta un considerable ahorro de memoria de ordenador comparada con otras técnicas (referencias bibliográficas pueden encontrarse en Sevilla, 1995). Ver tabla 3 y figura 6.

	Media	D.T.	Mínimo	Máximo	Rango
Modelo CG03C	49,42	4,02	35,64	58,05	22,41
Stokes	0,08	0,30	-1,19	1,07	2,26
IBERGEO_2006	49,48	3,89	36,13	57,98	21,85

Tabla 3. Estadísticas de modelos y geoides (m)



Figura 7 – Puntos GPS/Niv de control del geoido

8. PUNTOS GPS

La aplicación de la fórmula de Stokes a la determinación gravimétrica del geoido no da la escala del geoido, las ondulaciones resultantes N_{gra} se refieren a un elipsoide ideal que tiene las constantes del geoido pero cuyas dimensiones no se conocen en términos de valores numéricos. Por consiguiente, el geoido así determinado necesita de un control externo. Este control podemos establecerlo a partir de las ondulaciones calculadas con la fórmula

$$N_{GPS} = h_{GPS} - H$$

como las diferencias entre las altitudes elipsóidicas obtenidas por GPS (h_{GPS}) y las altitudes ortométricas obtenidas por nivelación de precisión (H).

Las altitudes ortométricas (H) se refieren, en la práctica de la nivelación, al nivel medio del mar determinado por algún mareógrafo. Esta operación es independiente del geoido, existiendo en general una diferencia casi constante desconocida entre el geoido y la superficie de referencia de las altitudes ortométricas.

La comparación de N_{GPS} (que podríamos llamar geoido físico) con N_{gra} nos permite estudiar las diferencias entre ondulaciones del geoido obtenidas con GPS, y ondulaciones obtenidas con el geoido gravimétrico

$$\Delta N = N_{GPS} - N_{gra}$$

En estas condiciones, las altitudes elipsóidicas obtenidas con el geoido gravimétrico $h_{gra} = H + N_{gra}$ se refieren a un elipsoide desconocido mientras que las altitudes obtenidas por GPS (h_{GPS}) se refieren a un elipsoide de referencia determinado (WGS84). Es pues necesario, o corregir N_{gra} teóricamente o corregir N_{gra} a través de las diferencias ΔN . Si se corrige a través de las diferencias el geoido resultante ya no será geocéntrico ni equipotencial, pero se ajustará bien al geoido real en la zona.

Los datos necesarios para efectuar estos cálculos son un conjunto de puntos de una red de nivelación de precisión, o perfectamente enlazados con ella, en los que se conozcan las altitudes ortométricas junto a las coordenadas elipsóidicas, obtenidas por GPS de alta precisión φ, λ, h . En estos puntos se calcularán las ondulaciones de un geoido gravimétrico.

Las diferencias entre el geoido calculado con datos gravimétricos y la superficie de referencia de las altitudes obtenidas por nivelación pueden minimizarse ajustando ambas superficies, es decir, mediante un cambio de datum. Con esta transformación se pasaría del geoido gravimétrico a otro geoido ajustado a la red de nivelación mediante las observaciones GPS.

En las diferencias $\Delta N = N_{GPS} - N_{gra}$ están incluidos, además del cambio de datum, los posibles errores, tanto en coordenadas GPS como en

ondulaciones del geoid, y los errores propios de la nivelación. Todos estos errores son absorbidos por un cambio de datum convencional mediante un modelo de Helmert de cuatro parámetros

$$N_{gra}^{H} = N_{gra} + c_1 + c_2 \cos \varphi \cos \lambda + c_3 \cos \varphi \sin \lambda + c_4 \sin \varphi$$

Una vez realizada esta transformación y suponiendo que las nuevas diferencias $e = N_{GPS} - N_{gra}^{H}$ están afectadas de errores aleatorios, se determina una nueva superficie correctora por colocación en los puntos de una malla.

$$\hat{s} = C_{ra} (C_{ra} + C_{ra})^{-1} e$$

de manera que la superficie de referencia de altitudes finalmente obtenida viene dada por

$$N_{gr}^{H} = N_{gra}^{H} + \hat{s}$$

Este último ajuste puede realizarse por otras técnicas numéricas como, por ejemplo, por spline bicúbico o por una superficie de mínima curvatura en tensión. Las diferencias que hemos obtenido con estos otros procedimientos respecto a la colocación son muy pequeñas.

Los puntos GPS/NIV utilizados pertenecen a las redes de nivelación de alta precisión de España y Portugal, se muestran en la figura 7 y los resultados de estos ajustes en la Tabla 4.

	Diferencias (m)	Intervalos	Puntos	%
Media	0,001	> 2 sigma	11	2,7
D.T.	0,013	< 1 sigma	392	95,7
Max	0,131	>1 y <2 sigma	7	1,6
Min	-0,184	TOTAL	410	100

Tabla 4. Resultados del ajuste en puntos GPS/NIV

Si estamos interesados en una superficie ajustada a un territorio particular, donde dispongamos de puntos GPS/NIV con una densidad suficiente, que por el motivo que sea nos parezcan más adecuados que los puntos de las redes de nivelación antes utilizadas, sólo tenemos que repetir el ajuste tomando los nuevos datos como referencias para el cambio de datum y el suavizado posterior, de esta forma obtendremos una superficie local de referencia de altitudes.

El cálculo de altitudes ortométricas con datos GPS y datos de geoid es la aplicación más corriente de una superficie de referencia de altitudes. Este cálculo consiste en aplicar la sencilla relación

$$H_i = H_o + (h_i - h_o) - (N_i - N_o)$$

donde H_o , h_o y N_o son las altitudes ortométrica y elipsoidal y la ondulación del geoid respectivamente en un punto inicial y H_i , h_i y N_i son las mismas cantidades en el punto de cálculo. Si en vez de utilizar un único punto inicial, utilizamos varios puntos, y en vez de interpolar en un

solo punto lo hacemos en varios, podremos considerar la relación anterior como una ecuación de observación y determinar las nuevas altitudes por medio de una compensación mínimo cuadrática.

REFERENCIAS

- Arozarena, A. y G. Villa (2006): "Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA)". Topografía y Cartografía, Vol XXII N° 127, pp. 30-40.
- Calvao, J. and M. J. Sevilla (2000): "Generation of a High Resolution Grid of Gravity Anomalies by Inversion of Altimetric Data from TOPEX/Poseidon, ERS-1 and ERS-2 Satellites in the North-East Atlantic Region". EGS XXV General Assembly, Nice, France, April 2000. G2.06 Evolving geodesy: from static to kinematics: Observation of the gravity field.
- Förste, C., F. Flechtner, R. Schmidt, U. Meyer, R. Stubenvoll, F. Barthelmes, R. König, K. H. Neumayer, M. Rothacher, Ch. Reigber, R. Biancale, S. Bruinsma, J.-M. Lemoine, J. C. Raimondo (2005): "A New High Resolution Global Gravity Field Model Derived From Combination of GRACE and CHAMP Mission and Altimetry/Gravimetry Surface Gravity Data". Poster g004_EGU05-A-04561.pdf (316 KB) presented at EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, 24-29, April 2005
- Martin, J. y J. M. Lara (2006): "Modelos Geopotenciales en la Península Ibérica: IBERGEO95 y EGM96". Topografía y Cartografía, Vol XXIII N° 132, pp. 54-60.
- Roman, O (2006): Métodos de determinación de las altitudes ortométricas empleando la tecnología GPS. Topografía y Cartografía, Vol XXIII N° 132, pp. 43-47.
- Sánchez, J. I., A. Palacios e I. Gutiérrez (2005): "Estudio comparativo de nivelaciones: Obtención de Altitudes Ortométricas mediante técnicas GPS". Topografía y Cartografía, Vol XXII N° 131, pp. 59-64.
- Sevilla, M. J. (1994a): "Análisis de observaciones gravimétricas y cálculo de anomalías". Publicaciones del Instituto de Astronomía y Geodesia. N° 188, (64 páginas). Instituto de Astronomía y Geodesia (UCM-CSIC). Madrid.
- Sevilla M. J. (1994b): IBERGEO 1994A. "Determinación del geoid ibérico". Topografía y Cartografía, Vol. XI, N° 61 pp. 9-25.
- Sevilla, M. J. (1995): "A New gravimetric geoid in the Iberian Peninsula". Bureau Gravimétrique International, BGI Bulletin D'information N° 77 and International Geoid Service, IGeS Bulletin N° 4 (IAG special issue "New Geoids in the World"), pp.163-180. Toulouse (Francia).
- Sevilla, M. J., D. Ramírez y F. Sánchez (1997): "Metodología para la creación de bases de datos gravimétricos fiables. Métodos clásicos, gráficos y digitales" (I). Topografía y Cartografía, Vol. XIV N° 79, pp. 2-19. y (II). Topografía y Cartografía, Vol. XIV N° 80, pp. 2-18.
- Sevilla, M. J. (2002): "Modelos digitales del terreno 1:200.000 y modelos de transformación en la Península Ibérica". 3ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Valencia 4-8 de febrero de 2002.
- Sevilla, M. J. y F. SÁNCHEZ (2002). "Gravimetría, altimetría y nivel medio del mar en el norte de África". 3ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Valencia 4-8 de febrero de 2002.
- Sevilla M. J. y F. SÁNCHEZ (2004): "Geoid gravimétrico del Norte de África". 4ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Figueira da Foz 3-7 de febrero de 2004.
- Sevilla, M. J. (2006): "IBERGEO_2006". 5ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Sevilla 30 enero a 3 febrero de 2006. CD en edición ■

Tecnología Leica GNSS Por encima de lo habitual



Presentamos la tecnología Leica GNSS (GPS and GLONASS)

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



Leica GX1230 GG/ATX1230 GG GPS y tecnología GLONASS GNSS

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

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

La Topografía en los Túneles de Guadarrama para el Tren de Alta Velocidad (y III)

Pedro Arranz Chacón
I. T. EN TOPOGRAFÍA

Resumen

En el presente artículo se va a tratar de explicar “cómo se hizo” la topografía de los Túneles de Guadarrama para el ferrocarril de alta velocidad desde un punto de vista técnico y práctico. Se verán los antecedentes del proyecto, las cartografías usadas para el desarrollo del mismo y los aparatos utilizados. Desde cómo se diseñó la red GPS de vértices, su observación y cálculo, hasta los detalles más técnicos en cuanto a la calibración del Gyro, pasando por los métodos de observaciones angulares y de distancias en el interior y exterior de los túneles, nivelaciones geométricas y ortométricas, igualmente en el interior y exterior del túnel, y los detalles del cálculo de la red de bases de replanteo.

En definitiva, se pretende que este documento sirva un poco como guía para la ejecución de los próximos túneles de largo recorrido para T.A.V. que han de acometerse en un futuro próximo en un país tan movido orográficamente como es España.

Una apuesta por la tecnología y el método casi nunca trae malos resultados.

(Continuación) 

8. EL GIRÓSCOPO, SU CALIBRACIÓN Y APLICACIÓN

Como ya se señaló en anteriores capítulos, uno de los aparatos fundamentales en este tipo de túneles de gran longitud es el giróscopo. Las dos misiones fundamentales de este aparato son, paliar los efectos del arrastre de azimutes a lo largo del túnel y evitar los efectos no deseados de la refracción horizontal en las mediciones angulares.

En el mercado hay giróscopos de muy diversas precisiones; desde los que montan aviones y misiles para la navegación, de gran precisión, hasta las tarjetas gyro usadas en competiciones de automóviles y motos para calcular la trayectoria de éstos en los circuitos. En el caso de la topografía de túneles de gran longitud, como era de esperar, se usan los de máxima precisión.

En la visita al túnel de San Gotardo entre Suiza e Italia, se puso de manifiesto la necesidad de adquirir uno de última generación para esta obra. Viendo los giróscopos que hay en el mercado, se decidió la compra del Gyromat 2000 de la marca DMT (Alemania), montado sobre una estación total Leica TCA 2003 (Suiza) para la medición de los ángulos.

La alta precisión de las mediciones del GYROMAT 2000 puede lograrse principalmente por medio de un desplazamiento mecánico del giróscopo. El giróscopo está, para la determinación del norte, suspendido de su centro de gravedad. Como consecuencia de la gravedad terrestre, los ejes del giróscopo se colocan horizontalmente. El giro del giróscopo, dada su inercia dinámica, intentará mantener su posición en el espacio. Ahora, si los ejes del giróscopo muestran alguna variación de dirección respecto del norte geográfico, la rotación terrestre hace que los ejes del giróscopo se muevan de su posición horizontal. Como el centro de gravedad del giróscopo ha sido bajado, se genera un momento de gravedad que hace reaccionar al giróscopo con una rotación de precisión alrededor de su eje vertical. GYROMAT 2000 tiene un alojamiento que, vía control master-esclavo, sigue la acomodación del giróscopo hacia el norte. Al final de la medición, el instrumento, excepto por una desviación residual mínima, será orientado hacia el norte geográfico. Dicha desviación residual del norte queda entonces determinada con exactitud por una fase final de alta precisión e indicada en la pantalla del panel de usuario.

Por lo tanto, lo primero que se desprende es que el gyro, como se denominará de aquí en adelante, se orienta siempre en dirección del

norte geográfico (físico), esto quiere decir que los azimutes que se van a medir con él serán astronómicos.

El gyro es un aparato sumamente pesado y delicado. Esto, junto con los métodos de medición, que requieren calibraciones antes y después de cada medida, hacen de su uso una tarea ardua y penosa. Es fundamental hacer una buena planificación de los trabajos para evitar pérdidas de tiempo y maniobras arriesgadas, tanto en el transporte como en la medición.

El GYROMAT 2000 cuenta con tres programas de medición en función de la precisión y la rapidez en la medida. El programa de alta precisión consigue que ésta sea de 1 mgon (10 segundos centesimales) después de una serie de seis mediciones de una duración aproximada de 10 minutos cada una. El programa de alta rapidez consigue precisiones de 10 mgon (un minuto centesimal), tardando en cada medición unos 2 minutos. Y por último, cuenta con un programa mixto precisión/rapidez que consigue precisiones de 5 mgon (50 segundos centesimales) después de una serie de 6 mediciones de aproximadamente 5 minutos.

Ni que decir tiene que se usará el programa más preciso de medición.

El programa de medición 1 ofrece la máxima precisión en la medición y consta de cuatro fases, procesadas automáticamente y correlativamente por la unidad de procesamiento:

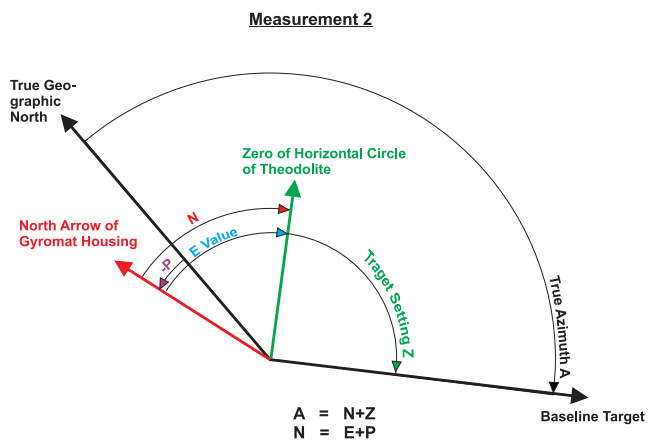
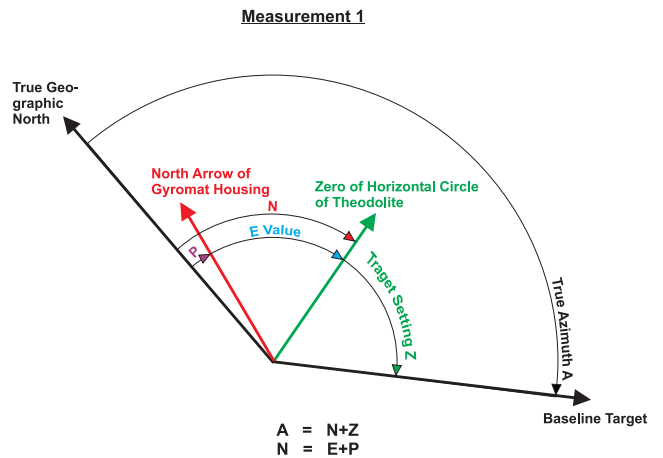
- Ajuste aproximado al Norte de la unidad desde su posición inicial
- Medición de calibración, para determinar la posición cero efectiva de la cinta de suspensión
- Medición para la orientación preliminar del instrumento con una desviación $\leq 0,05$ gon
- Medición precisa, para determinar y mostrar el residuo de la desviación.

Para cumplir con las severas especificaciones de precisión, se requieren al menos dos punterías en las dos posiciones del anteojo.

Cuenta con baterías internas y un registro en una memoria, también interna, de todos los datos y variables que intervienen en la medición. Estos datos se descargan fácilmente a través de una interface al PC.

Dada la complejidad del gyro, éste ha de ser usado bajo unos estrictos controles. El propio aparato cuenta con dos indicadores internos a lo largo de la medición, que se describirán más adelante. Además, el gyro ha de ser calibrado, en una base-línea al efecto, antes y después de cada medición en el interior de los túneles. El objeto de la calibración es determinar el valor **P** del ángulo que forma el norte geográfico con el norte que calcula el gyro.

Como se puede apreciar en la figura, el valor del azimut verdadero **A** es la suma algebraica (con su signo) de dos ángulos: **N**, formado por las direcciones del norte del gyro con el cero del taquímetro, y **Z**, formado



por las direcciones del cero del teodolito con la dirección de la base-línea.

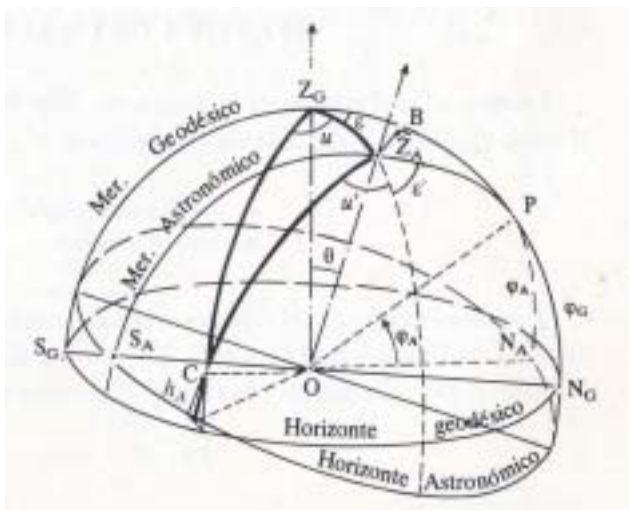
En los dos casos posibles de medición, norte del gyro a la izquierda o derecha del norte geográfico, se puede ver cómo el ángulo **N** tiene dos componentes:

- **E-Value** es el ángulo formado por la dirección norte del gyro y la dirección del cero del teodolito; este valor se determina en laboratorio y va en función del montaje del taquímetro con respecto al gyro. Esta constante queda registrada en el interior del aparato y será aplicada a todas las mediciones.
- **P** es la constante de calibración, que se debe determinar antes y después de cada medición en los túneles. Como se ve en la figura, en definitiva es el ángulo que forma el norte geográfico con el norte que determina el gyro.

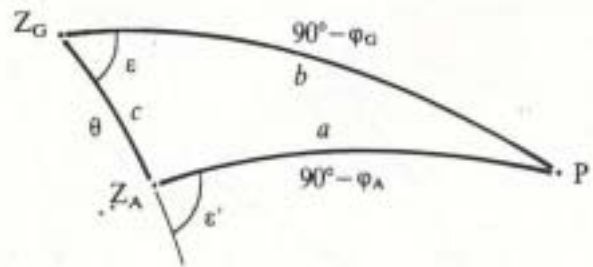
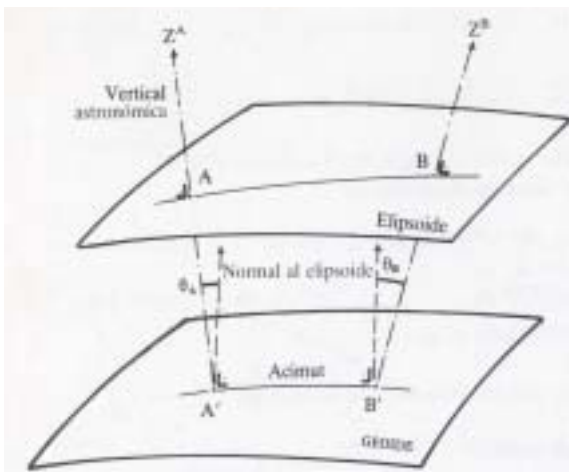
Esta determinación en principio parece sencilla, ya que bastaría con estacionar el aparato en un punto de coordenadas conocidas y hacer una serie de observaciones a una referencia, también de coordenadas conocidas. Por diferencia de coordenadas se puede determinar el azimut en proyección UTM de la base-línea; si se le aplica la convergencia de meridianos, se obtendrá el azimut geodésico (sobre el elipsoide de la proyección) y haciendo la diferencia entre este azimut y la lectura media de la serie del gyro se obtendría sin dificultad el valor de **P**.

Esta calibración sería real si el ámbito de trabajo del gyro fuera local, es decir, en un entorno cercano al punto de calibración. Pero, como ya se ha mencionado anteriormente, cuando se describió el *modus operandi* del gyro se hizo notar que éste indicará la dirección del norte geográfico o Polo Norte (en este hemisferio) del eje de rotación de la Tierra (geoide), por lo tanto los azimutes que resultan son **astronómicos**, es decir, sobre el geoide. Lamentablemente, para la geodesia la Tierra no es esférica, ni siquiera tiene forma de elipsoide de revolución, sino que su forma viene determinada por la superficie media de los mares en calma, lo que denominamos **geoide**. Esto hace que la constante **P** de calibración del gyro tenga dos componentes, una por la propia construcción del aparato y otra debida al ángulo que forman, desde el punto de observación, el cenit del geoide con el cenit del elipsoide de la proyección utilizada.

Esta parte variable está en función de lo que se denomina *desviación relativa de la vertical*, representada en la siguiente figura como θ .



Esta corrección se puso de manifiesto al calibrar el mismo gyro en dos base-líneas diferentes, ubicadas en cada una de las dos bocas del túnel, y ver que el resultado de **P** era diferente en 20 cc de una boca a otra. En la siguiente figura se puede apreciar los efectos de la desviación de la vertical en función de la ondulación local del geoide (distancia entre geoide y elipsoide) en dos puntos diferentes.



Como se aprecia en la figura, considerando que nos encontramos en el punto **P** de estación, el valor de la corrección vendría determinado por la diferencia entre los ángulos ϵ y ϵ' .

ϕ_G sería la latitud geodesia del punto **P**, ϕ_A la latitud astronómica del punto **P**, θ el valor de la desviación relativa de la vertical, Z_G el polo geodésico y Z_A el polo astronómico.

Si consideramos el triángulo esférico **P-Z_A-Z_G** y aplicando la formula de las cotangentes, tendremos:

$$\text{cotg } b \text{ sen } c = \text{cotg } B \text{ sen } A + \text{cos } c \text{ cos } A$$

Sustituyendo los valores de la figura

$$\text{cotg } (90^\circ - \phi_G) \text{ sen } \theta = \text{cotg } (180^\circ - \epsilon') \text{ sen } \epsilon + \text{cos } \theta \text{ cos } \epsilon$$

Despejando

$$\theta \text{ tg } \phi_G = \text{cos } \epsilon - \text{cotg } \epsilon' \text{ sen } \epsilon = \frac{\text{sen } \epsilon' \text{ cos } \epsilon - \text{sen } \epsilon \text{ cos } \epsilon'}{\text{sen } \epsilon'}$$

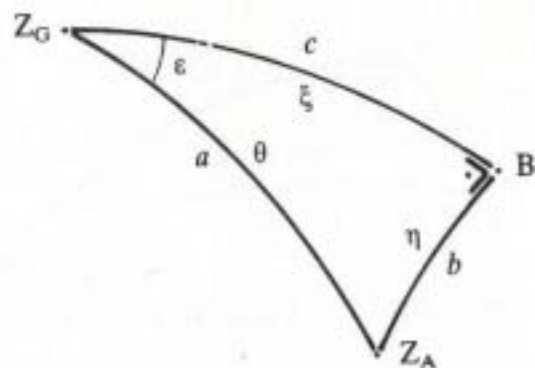
$$\theta \text{ tg } \phi_G = \frac{\text{sen } (\epsilon' - \epsilon)}{\text{sen } \epsilon'}$$

Prescindiendo de los vértices próximos al polo, en los que $\text{tg } \phi_G$ es muy grande, el segundo miembro es de primer orden por serlo θ , luego

$$\text{sen } (\epsilon' - \epsilon) = \theta \text{ sen } \epsilon' \text{ tg } \phi_G$$

Podemos escribir

$$\epsilon' - \epsilon = \theta \text{ sen } \epsilon' \text{ tg } \phi_G = \theta \text{ sen } \epsilon \text{ tg } \phi_G$$



En este triángulo, donde el punto **B** es la intersección de las dos componentes (longitud y latitud) de la desviación de la vertical θ , se puede deducir con facilidad, por el teorema del seno, la expresión de la componente en longitud de la desviación de la vertical η

$$\eta = \theta \cdot \text{sen } \epsilon$$

Si se sustituye este valor en la fórmula anterior, se tendrá como expresión de la corrección entre azimutes astronómicos y geodésicos en función de la componente en longitud de la desviación de la vertical η y la latitud geodésica del punto de observación

$$\epsilon' - \epsilon = \eta \cdot \text{tg } \phi_G$$

primera aproximación de la ecuación de Laplace.

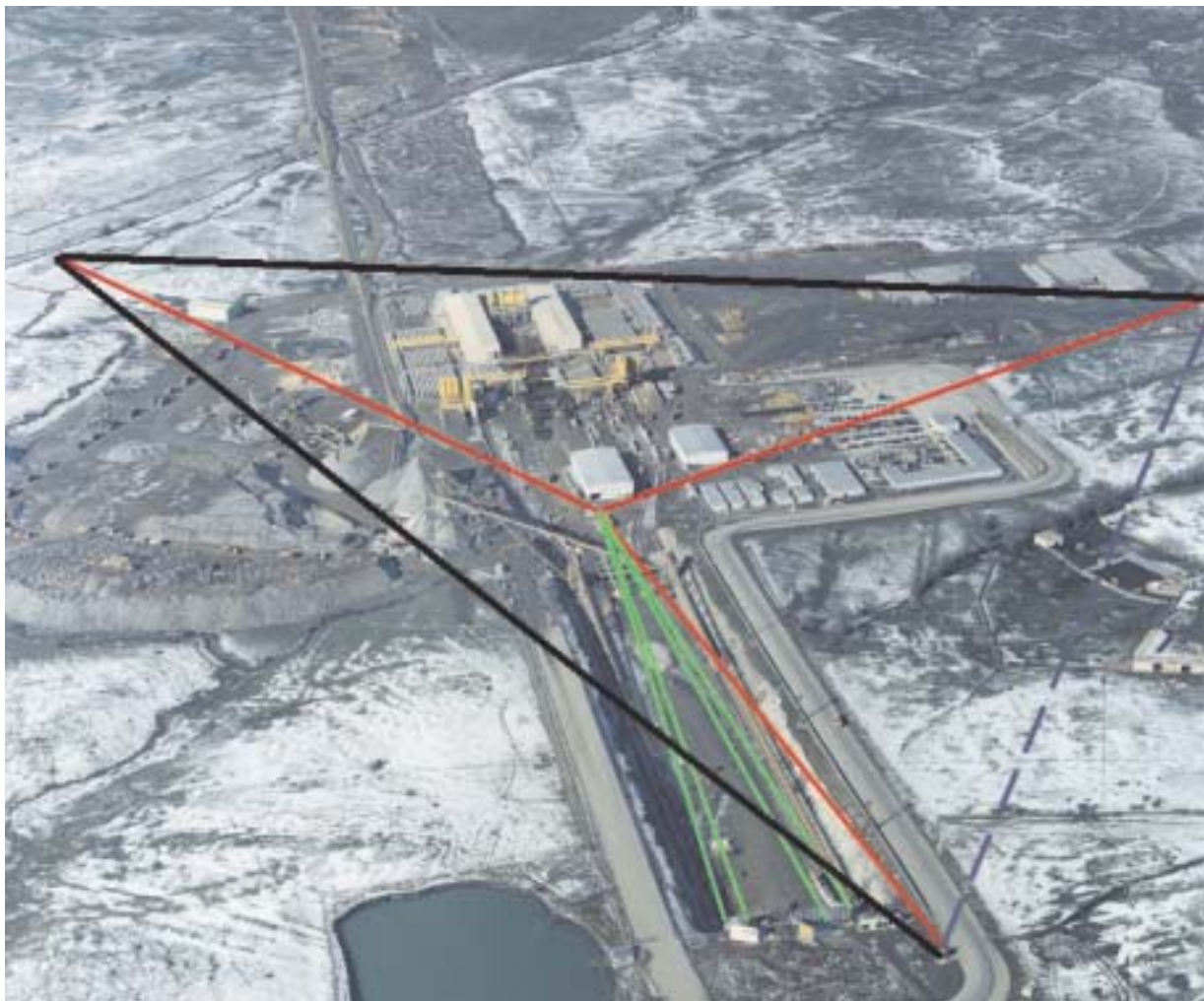
Con el fin de poner de manifiesto el valor de esta corrección en las dos bocas, se decidió hacer sendas observaciones a la estrella Polar en las dos base-líneas de cada obra. Como es sabido, esta observación determinará el azimut astronómico de la línea por un método absoluto, totalmente independiente de la cartografía y coordenadas usadas y con una precisión por debajo del segundo centesimal.

Para ello se seleccionaron las base-líneas más favorables dentro de cada obra, teniendo en cuenta las posibles afecciones por polvo provenientes de las bocas de los túneles. En la figura se representa a trazos azules la base-línea utilizada en la boca norte, comprendida entre el **H1** y el **H2**, observados con GPS en la campaña inicial.

Para este trabajo se contrató a D. Fernando de la Cruz, del Instituto Geográfico Nacional, persona acostumbrada a este tipo de observaciones de alta precisión, que utilizó un teodolito astronómico KERN DKM3 de 0,1" sexagesimal de apreciación y un reloj de cuarzo capaz de medir la milésima de segundo, con posibilidad de corrección del estado y de la marcha al conectarse con las señales horarias radiofónicas.

La observación se realizó en tres noches en cada boca. Cada noche se realizaron doce series de medidas en círculo directo e inverso, con lo que al final se completaron 36 series, suficientes para tener una desviación estándar inferior al segundo centesimal.

Como era de esperar, se puso de manifiesto las diferencias entre azimutes astronómicos (por observación a la polar) y geodésicos (por diferencia de coordenadas UTM, aplicándoles la convergencia de meridianos), pudiéndose verificar así la teoría anteriormente descrita.





Teodolito astronómico Kern DKM 3 y reloj utilizados



Dada la diferencia de calibraciones del gyro entre la boca sur y la norte (unos 20 cc), se decidió tenerla en cuenta a la hora de calcular las correcciones del gyro en cada boca.

Dirigidos por nuestro asesor en Cálculo, Don Jesús Velasco, Matemático e Ingeniero Técnico en Topografía, profesor de la Escuela Superior de

Ingeniería Topográfica, Geodesia y Cartografía de Madrid, se estableció entre las dos bocas un protocolo de calibración del gyro.

Como sólo se conocía los valores de la desviación de la vertical en las dos bocas a través de las observaciones a la Polar, se decidió utilizar el modelo de geoide oficial del Instituto Geográfico Nacional para interpolar estos valores a lo largo de la traza de los túneles.

$$A_{Geod} = A_{UTM} + CONVERGENCIA \quad \dots \quad A_{UTM} = A_{Geod} + CONVERGENCIA$$

$$A_{Astro} = A_{Geod} + \text{ETA} * \text{TAN}(\text{FI}) \quad \dots \quad A_{ASTRO} = A_{Geod} + \text{ETA} * \text{TAN}(\text{FI})$$

$$A_{Astro} = A_{UTM} + CONVERGENCIA + \text{ETA} * \text{TAN}(\text{FI})$$

Partiendo de estas sencillas formulas, se creó el protocolo de calibración, donde los valores de **ETA*TAN(FI)** están tabulados en función de las coordenadas UTM de la traza de los túneles. Por ejemplo, en la boca norte la determinación de la constante **P** del gyro viene determinada por los siguientes valores:

AZIMUT UTM H1-H2	374,6699
CONVERGENCIA H1	-0,7752
AZIMUT GEODESICO H1-H2	373,8947
ETA * TAN (FI) EN H1	-0,0011
AZIMUT ASTRONOMICO H1-H2	373,8936

Si se compara el azimut astronómico de **H1-H2** con los valores obtenidos del gyro, se tendrá la constante de calibración del gyro para **H1**. Es decir, se conoce la desviación del gyro aislada de la influencia de la desviación de la vertical.

Lógicamente, cuando se mide en el interior del túnel la lectura del gyro habrá que corregirla de la constante calculada en la calibración, obteniendo así el azimut astronómico de la dirección observada. Siguiendo los pasos inversos a los anteriores, a este azimut astronómico hay que corregirle de **ETA*TAN(FI)** de la base de observación, obteniendo el azimut geodésico. Si a este azimut geodésico se le aplica la convergencia de meridianos de la proyección UTM, se tendrá el azimut UTM buscado.

La decisión de utilizar este tipo de corrección astronómico-geodésica fue porque las diferencias entre las calibraciones en las dos bocas eran superiores a la apreciación del propio gyro. En caso de que las diferencias estuvieran por debajo de la apreciación del aparato, sería absurdo aplicarlas, ya que en la propia medición se cometería más error que en la propia corrección.

A continuación se describirá la utilización práctica del gyro. Ya se ha dicho que al ser un aparato bastante delicado y sensible se debe calibrarlo en una base-línea conocida antes y después de cada campaña de medición en el interior del túnel.



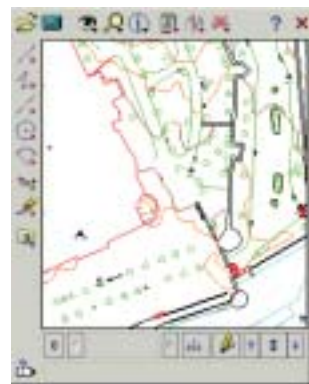
POCKET & CARTOMAP 5.5

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

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

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

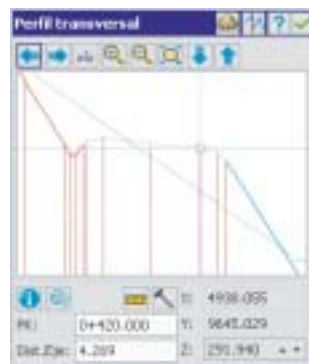
Captura de datos · Topografía analítica de campo · Modelo del Terreno · Curvado · Completo CAD 2D/3D · Croquis automático asociativo · Perfiles longitudinales · Perfiles transversales · Rasantes · Replanteo · Control de calidad · Secciones tipo · Ficheros shapefiles · y mucho más...



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



Se pueden incorporar ortofotos junto con cartografía en formato DXF.



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



POCKET & CARTOMAP

¡Desde 600€!

El gyro tiene dos luces de alarma en su panel frontal: Luz de aviso de temperatura (TEMP) y luz de aviso de variaciones (DRIFT)



Luz de aviso de temperatura (TEMP)

Esta luz de aviso es encendida por el procesador siempre que la temperatura del dispositivo cambia en más de 0,25°C durante la calibración o la precisión de la medición de GYROMAT 2000. La unidad estará entonces en su fase preliminar o de apagado, donde la precisión de las mediciones es perjudicada. Para llegar a la precisión de las mediciones indicada, la temperatura de la unidad tiene que encontrarse a temperatura ambiente con $\leq 5^\circ\text{C}$ de tolerancia.

En caso de desviaciones del norte de ≤ 1 mgon, la temperatura del instrumento necesita ser adaptada a la temperatura ambiente con una tolerancia de $\leq 5^\circ\text{C}$. Si las mediciones son hechas con divergencias de temperatura mayores, se encenderá la luz de aviso de temperatura. Para reconocer mediciones con temperaturas a las que el instrumento no se puede adaptar, el procesador realiza un chequeo de temperaturas una vez hecha la medición y determina la diferencia entre la temperatura con la que se inició la medición y la temperatura al terminarla. Para cambios de temperatura $\leq 0.25^\circ\text{C}/\text{min}$ se enciende la luz de aviso de temperatura. El gradiente de temperatura es dado por la función BITE, READ VALUE. Para estimar el tiempo de adaptación de temperatura, la tabla que sigue contiene una lista de tiempos mínimos de adaptación con aire calmado. No es recomendable usar el primer dato de medición después del periodo de aclimatación o después de un largo tiempo sin ser usado, para la interpretación.

Dif. temp. en [°C]	Tiempo de espera [tw] en minutos	Dif. temp. en [°C]	Tiempo de espera [tw] en minutos
7	25	14	65
8	30	16	75
9	35	18	85
10	45	20	95
12	55	22	105

Los valores expuestos son derivados de mediciones.

Luz de aviso de variaciones (DRIFT)

Esta luz de aviso es encendida por el procesador siempre que la posición del centro de oscilación del flujo del GYROMAT 2000 sea mayor que 0,3 mgon durante la calibración o la medida de precisión del GYROMAT 2000. La tendencia efectiva es leída por la función READ VALUE o INT.RECORD del BITE. Un requisito para conseguir mediciones de alta precisión es una posición constante del centro de oscilación del GYROMAT 2000. La tendencia representa, por lo tanto, una unidad de valoración de la precisión de medición interna. Si es necesario, habrá que repetir la medición. Entre las razones para la tendencia a la oscilación del centro de posición se podría mencionar las siguientes:

- Efectos elásticos producidos en el transporte después de su uso
- Adaptación inadecuada a la temperatura
- Cambio de posición del anillo de soporte o de la unidad durante la medición
- Interferencias por movimientos terrestres
- Desalineación del GYROMAT.

Como se ha visto, las mediciones han de realizarse con unas condiciones un poco especiales de estabilidad atmosférica y de vibraciones. En el interior del túnel las condiciones atmosféricas (temperatura) son bastante estables, no siendo así las vibraciones, ya que es inevitable que a lo largo de alguna medición pase un tren cerca del aparato. En ese caso, se deberá interrumpir la medición y comenzar de nuevo, ya que no se garantizan los resultados.

Esto no es tan favorable en el caso de las calibraciones en el exterior, en las que el aparato esta expuesto a cambios bruscos de temperatura. Uno de los factores que más hacen variar la temperatura es la luz del sol, por lo que no se debe usar el gyro expuesto directamente a los rayos del sol. Para ello sólo hay dos soluciones, o medir de noche, que es la mejor opción, o proteger el aparato de la exposición directa por medio de mamparas, como se ve en la figura.





A continuación se pasa a describir el método de observación utilizado en estos túneles.

En primer lugar hay que considerar cada qué distancia se va a observar un aspa de la red con gyro. Hay que tener en cuenta que la precisión del gyro después de una serie de 6 lecturas es de aproximadamente 10 cc; por otro lado, hay que tener en cuenta que se está trabajando con un aparato para medir la red, TCA 2003, con una precisión nominal de 1,5 cc. Es decir, no se puede empeorar la red haciendo demasiadas mediciones con el gyro, ya que el aparato TCA es capaz de transmitir el azimut con bastante más precisión. Por esto se decidió medir un aspa de gyro por cada tres tramos de 375 m de medición convencional.

Una vez determinadas las bases que se van a medir, la noche anterior se hace una calibración en la base-línea de la obra de por lo menos 6 lecturas, lo que representa una duración de aproximadamente dos horas. Por supuesto, esto descargará las baterías del gyro en un 40%, por lo tanto lo siguiente es poner a cargar el gyro por la noche.

A la mañana siguiente se introduce el gyro en el túnel para hacer la medición. Se ha de reseñar que el aparato, con su caja de transporte, pesa alrededor de unos 35 kg. El tren nos dejará cerca de las bases a medir, pero es inevitable tener que transportar el equipo de una base a

su homologa, es decir, recorrer como mínimo una distancia de 375 m, por ello se recomienda la utilización de un carro de transporte que circule por los carriles del túnel.

Cuando se esté cerca de la base, se colocará en ésta el acoplamiento para recibir el aparato. Este acoplamiento ha sido fabricado por nosotros, ya que el gyro viene con un trípode especial. Hay que tener sumo cuidado en esta maniobra, debido al peso del aparato (12 kg aproximadamente) y la posición de las bases, siempre con mal acceso en los túneles.

Como siempre que se va a medir una distancia de aproximadamente 375 m con un dispositivo ATR de puntería automática, se ha de estar seguro de que la polución del túnel no impedirá la realización de nuestro trabajo por falta de visibilidad.

Para no correr este tipo de riesgos, siempre se ha medido con gyro cuando la máquina está parada y ha pasado un tiempo prudencial con la ventilación limpiando el ambiente.

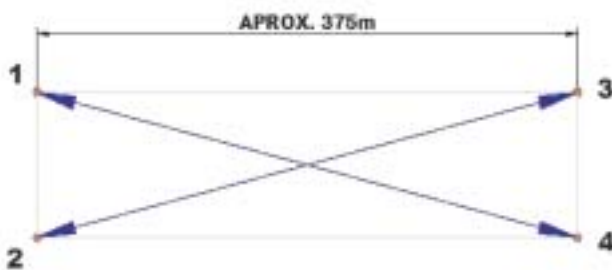
Con el gyro estacionado en la base 1 se medirá una serie de seis lecturas a la base 4 en el hastial opuesto. Recordar que nunca se debe medir





paralelamente a los hastiales, ya que es en este tipo de visuales donde la refracción horizontal tiene su máxima expresión.

MEDICION ASPA CON GYRO



Después de esta serie, se trasladará el equipo a la base 4 y se medirá la serie sobre la base 1. Siempre que se quiera determinar el azimut de una dirección se ha de observar en los dos sentidos, precisamente para evitar de nuevo los efectos de la posible refracción de la visual.

Con estas dos series las baterías del gyro estarán aproximadamente al 50% de su capacidad. Se reservará esta energía para efectuar una nueva calibración en el exterior; cuando se salga del túnel.

Al día siguiente se volverá a entrar para observar la dirección 2-3 y 3-2 con la misma rutina y al volver a salir al exterior se deberá volver a calibrar el aparato en la base-línea de la obra.

Si durante las observaciones pasa algún tren cerca el aparato, seguramente lo acusará encendiéndose la luz de DRIFT; se debe suspender la observación y comenzar de nuevo, ya que no se garantizan los resultados y haría perder el tiempo y la energía de las baterías del gyro.

Siguiendo esta rutina de trabajo se garantizan los resultados pero, como se ve, para medir las dos direcciones del aspa en directo y reciproco se invertirán dos jornadas.

Con las producciones medias de las maquinas tuneladoras, esta operación se realiza aproximadamente cada dos meses en cada tubo.

Por ultimo, reseñar que este tipo de aparatos se fabrican sobre pedido y tienen una demora de ocho meses desde que se adelanta el 50% de su valor, bastante alto por cierto.



9. EL CÁLCULO DE LAS POLIGONALES Y LAS REDES INTERIORES

En un principio, el cálculo de las coordenadas de las bases de replanteo en el interior del túnel se efectuaba por dos poligonales independientes de ida y vuelta en cada tubo. Como ya se vio en el apartado de mediciones en el interior; se había creado una base de datos con todas las líneas de observación. Esto facilita la confección de itinerarios de poligonal, ya que bastará con indicarle el camino que ha de seguir a una macro de EXCEL para que confeccione la lista de observaciones que van a intervenir:

Para familiarizarnos con la nomenclatura de las bases, diremos que el nombre de ésta viene determinado por:

- 1º - La inicial de la boca a la que corresponde
- 2º - Inicial de la maquina de ese lote
- 3º - El numero del anillo en el que está instalada
- 4º - El lado del túnel en el que está emplazada en dirección del avance de PK

Por ejemplo, NH789D seria una base de la boca norte, Lote 4 HK, en el anillo 789 y en el hastial derecho del tubo.

Como se vio en las observaciones, las distancias son geométricas, sin ningún tipo de reducción ni al nivel del mar ni por anamorfosis. Por ello, para calcular las poligonales lo primero que se hará será reducirlas a la proyección UTM.

Un pequeño "bulto" en la tecnología,
y un gigantesco salto para los topógrafos.



Sistema Trimble R8 GNSS

Optimizado. Avanzado. Perfecto...
Diseñado para maximizar la flexibilidad y minimizar el tiempo de inicialización, el sistema Trimble R8 GNSS le mantiene al día con los últimos avances en señales para brindar mayor precisión y productividad en el campo de trabajo. Combinando un diseño de sistema con una probada trayectoria y que brinda una avanzada tecnología, el Trimble R8 GNSS es un importante paso hacia adelante en la industria de la topografía. En otras palabras, lo mejor acaba de mejorarse.

Soporte GNSS

La tecnología Trimble *R-Track* le permite utilizar ambas señales GPS modernizadas: L2C y L5 y GLONASS L1/L2. Más capacidad de seguimiento de satélites se traduce en un incremento en la productividad tanto ahora como en el futuro.

Sistema de probado diseño

Es de Trimble, así que usted siempre tendrá la última tecnología – peso liviano, comunicaciones flexibles y construcción robusta. Pudiendo ser utilizada como una base o como una unidad móvil, ofrece un funcionamiento simple e inalámbrico.

Conéctese

Puede crear una solución completa Trimble I.S. Móvil, agregando un prisma al bastón de su móvil GPS. Y, como todo producto Trimble, el sistema R8 GNSS se adapta sin problemas al "Trimble Connected Survey Site".

Para descubrir lo lejos que hemos llegado y lo lejos que usted puede llegar, visite: www.trimble.com/gnss





En cuanto a la altimetría, y como comprobación de la nivelación geométrica, también se calculaba la nivelación trigonométrica de la poligonal, pero con una salvedad; aprovechando que los desniveles en el túnel son muy suaves y las condiciones ambientales muy parecidas, se decidió calcular el desnivel por la fórmula de visuales recíprocas y simultáneas, llegando a unos resultados francamente espectaculares.

Se está hablando de nivelaciones trigonométricas de unas longitudes superiores a los 20 km y con unos cierres de alrededor del centímetro.

Es importante calcular la nivelación trigonométrica (taquímetro), aunque se esté llevando también la geométrica (nivel), para detectar posibles errores de bulto de ésta.

Las poligonales que se empezaron a calcular al principio, consistían en itinerarios de ida y vuelta cruzadas con una longitud entre bases de 375 m; el cierre en punta se realizaba, como ya se explicó, con un trípode auxiliar.

Estas poligonales dieron muy buenos resultados hasta aproximadamente los primeros cuatro kilómetros. Se controlaba el cierre angular por medio de la fórmula de la tolerancia $1,5 \text{ cc}\sqrt{2n}$, donde 1,5 cc es la apreciación del aparato y n el número de estaciones que forman parte del itinerario. El multiplicar por dos el número de estaciones viene porque para medir un ángulo es necesario medir dos direcciones.

La tolerancia en cierre azimutal se cumplía, como ya se ha comentado, hasta el kilómetro cuatro. A partir de ahí, por efectos de la refracción este valor se superaba, por lo que se recurrió a otra estrategia de cálculo.

En túneles no se deben compensar las poligonales, ya que es una maniobra extremadamente peligrosa el repartir en toda la poligonal los errores que seguramente se estén produciendo en el cambio de lado en la punta. Por ello, se calculaban dos itinerarios por cada túnel, uno, el directo, saliendo por la trayectoria azul de la figura y volviendo por la

roja, y otro, el inverso, entrando por la línea roja y saliendo por la azul. Se controlaba el error de cierre angular de los dos itinerarios, pero sólo se utilizaban para dar coordenadas a las bases la ida del itinerario directo y la ida del itinerario inverso, comprobando cual era la diferencia de coordenadas en el trípode auxiliar. De esta forma no se afectaba a las bases de la vuelta de los errores de las puntas de las poligonales. En el capítulo de observaciones se vio como el punto débil de una poligonal en el túnel es precisamente el cambio de lado en la punta.

Cuando se superó esta distancia crítica de 4 km se comenzaron a realizar las galerías de emergencia y se presentó la necesidad de unir esas poligonales de cada túnel, que hasta entonces eran independientes, a través de las observaciones de las galerías.

En aquella época también se recibió el gyro y se comenzó a medir azimutes absolutos dentro del túnel. Por otra parte, se disponía de observaciones superabundantes de las poligonales que no se estaban utilizando, es decir, las de la densificación de bases y la medida de distancias paralelas a los hastiales, ya que si bien se despreciarían los ángulos, la medición de las distancias era perfectamente correcta.

Por todo ello y por empezar a ajustar los resultados de alguna forma, se vio la necesidad de empezar a trabajar en red, uniendo las dos poligonales e integrando las medidas del gyro.

Como siempre dirigidos por nuestro asesor de cálculo D. Jesús Velasco, se emprendió la búsqueda del programa más adecuado a nuestros propósitos. Después de ver algunos programas de redes, se eligió GEOLAB. Es un programa canadiense de cálculo de redes geodésicas de todo tipo, tiene la garantía de ser el programa utilizado por el Instituto Geográfico Nacional y la E.T.S. de I. Topográfica, Geodesia y Cartografía de Madrid, por lo que los cursos de formación y la asistencia técnica estaban garantizados.

El programa tiene la posibilidad de importar todo tipo de observaciones, tanto angulares como de distancias, coordenadas fijas UTM, vectores GPS, azimutes giroscópicos, etc., que es precisamente lo que se necesitaba. Por otro lado, la entrada de datos es en formato ASCII, lo que facilitaba muchísimo el traslado de la información de la base de datos de las observaciones al programa.

Al ser un programa de ajuste de redes por mínimos cuadrados, necesita tener unas coordenadas aproximadas de los puntos a calcular, por lo que se han seguido calculando las poligonales.

Los datos de que se dispone para alimentar el programa son los siguientes:

- Coordenadas fijas de los hitos de las bocas
- Coordenadas aproximadas de las bases del túnel
- Azimutes geodésicos (sobre el elipsoide) medidos con gyro
- Observaciones angulares
- Medida de distancias.

El programa trabaja sobre un guión que confecciona el usuario, llamado con un nombre cualquiera y extensión .JOB

```
TITL TUNELES GUADARRAMA BOCA NORTE CON GYRO CORREGIDO

* SISTEMA DE REFERENCIA Y SISTEMA DE PROYECCION
* ELIP Internacional  6378388.0000  6356511.0461
  0.0000  0.0000  0.0000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000
  QM00  0 00  0 00  0 00  0 00  0 00
  XPR0 UTM 30  N  0  0  0.000000  0  0  0.000000
  0.0000  0.0000  0.0000  0.000000  0.0000  0.0000

* OPCIONES DE AJUSTE
  MAXI  10

* CRITERIO DE CONVERGENCIA
  COVY  0.0001

* NIVEL DE CONFIANZA PARA ELIPSES
  CONF NO YES NO YES CON  =
  CLAV  00  00  00  00
  VARF YES YES NO

* TIPO UNIDADES ANGULARES
  ANG0  GR0

* FORMATO SALIDA DE DATOS
  PMIS YES YES  10  10
  PACT NO YES NO NO NO YES NO
  P001 YES NO

  YES YES NO
  S20C 4
  ADEC 1
```

Cada línea del guión va precedida de una clave de cuatro dígitos que indica qué contiene, el * en el inicio de una línea la desactiva para el programa, pero servirá como etiqueta recordatorio de lo que va más adelante.

En primer lugar se puede leer TITL, que quiere decir que lo que sigue es el título del proyecto.

Después se ve cómo se le indica el sistema de referencia y la proyección usada, con las claves correspondientes indicativas del elipsoide con sus parámetros, en qué cuadrante se está situado y qué tipo de proyección

se está usando y en qué huso de la misma están referidas las coordenadas.

En la siguiente línea se le dicen las opciones de ajuste, limitándole las iteraciones a un máximo de 10; si una red no convergiera al llegar a la décima iteración, el programa se pararía automáticamente y caería inmerso en un bucle sin salida.

Después se le fija el criterio de convergencia en una décima de milímetro, es decir, todo lo contrario del caso anterior; cuando las sucesivas iteraciones no modifican las coordenadas en más de una décima de milímetro el programa parará y será inútil seguir el cálculo.

El siguiente grupo indica el nivel de confianza de las elipses de error; en este caso se ha fijado en un 95% de probabilidad.

Más abajo se le indica que los ángulos van a ir expresados en grados centesimales.

Y finalmente, en qué formato y qué tipo de resultados se quieren obtener; la expresión LDEC 4 significa que las unidades lineales van a venir con cuatro decimales y ADEC 1 que los valores angulares saldrán con décimas de segundo sexagesimal.

En las siguientes líneas de comando se puede ver como se le introducen las coordenadas fijas y aproximadas de los puntos, así como las observaciones de azimutes geodésicos obtenidos con el gyro.

```
* COORDENADAS DE PUNTOS
#include "C:\TUNELPOLIGONALES\DATOS\GBELAFNORTE.D00"

LIST NEW

* AZIMUTES GIROSCOPICOS (GEODESICOS)
  VISA  0.00
#include "C:\TUNELPOLIGONALES\DATOS\GBELAFNORTE.A01"
LIST GEN AZIMUTES GEODESICOS GYRO
```

La orden #include hace referencia a la ubicación del fichero de coordenadas, tanto fijas como aproximadas, que tendrá el siguiente aspecto:

NEO	111	080	4520666.510	409878.145	1115.692	UTM	30	m
NEO	111	082	4529284.395	409916.232	1114.496	UTM	30	m
NEO	111	083	4528623.199	409188.357	1120.476	UTM	30	m
NEO	001	0810350	4527748.328	411873.554	1118.984	UTM	30	m
NEO	001	0810351	4527742.533	411670.851	1119.021	UTM	30	m
NEO	001	0810540	4527729.430	411698.316	1119.033	UTM	30	m
NEO	001	0811130	4527694.269	411766.354	1119.171	UTM	30	m
NEO	001	0811131	4527688.883	411763.513	1119.383	UTM	30	m
NEO	001	0811910	4527640.312	411899.006	1119.369	UTM	30	m
NEO	001	0811911	4527634.969	411896.302	1119.360	UTM	30	m
NEO	001	0812030	4527627.040	411912.450	1120.393	UTM	30	m
NEO	001	0812090	4527580.329	412011.640	1119.550	UTM	30	m
NEO	001	0812091	4527580.711	412008.920	1119.593	UTM	30	m
NEO	001	0812400	4527532.510	412124.291	1119.997	UTM	30	m
NEO	001	0812401	4527526.588	412121.542	1119.939	UTM	30	m
NEO	001	0816230	4527478.256	412226.880	1120.168	UTM	30	m
NEO	001	0816251	4527472.586	412344.161	1120.171	UTM	30	m
NEO	001	0815000	4527420.632	412342.455	1120.381	UTM	30	m
NEO	001	0815001	4527424.259	412349.522	1120.313	UTM	30	m
NEO	001	0815030	4527418.579	412346.750	1120.288	UTM	30	m
NEO	001	081510	4528356.674	410393.633	1116.214	UTM	30	m
NEO	001	081311	4528350.811	410390.947	1116.289	UTM	30	m

Como se puede ver, el encabezado de las líneas está precedido por el código NEO, que significa que las coordenadas van a venir expresadas por Norte, Este y Altura Ortométrica (recordar que es un programa canadiense e invierten el orden de las coordenadas); a continuación aparecen 111 ó 001, que indica que en el caso de las tres primeras filas las tres coordenadas están fijadas, es decir, el programa respetará la posición

exacta de estos puntos (como puede comprobarse, son los hitos de la boca norte), no siendo el caso de las demás filas, en las que sólo esta fijada la altura ortométrica, dejando libres la X y la Y para su ajuste. A continuación viene el nombre del punto, tal y como se describió con anterioridad, y seguidamente los valores de las coordenadas Norte, Este y Altura Ortométrica de los puntos. Se completa la línea indicando qué tipo de proyección se está utilizando, su huso y la unidad de medida.

Veamos a continuación el aspecto que tiene el fichero de azimutes geodésicos:

SIGM	gyr	15		0.002	0.001	#
AZIM	gyr	NW782Z	NW035D	N126 05 13		
AZIM	gyr	NW782Z	NW035D	N126 05 13		
AZIM	gyr	NW035D	NW792I	N326 05 40		
AZIM	gyr	NW035D	NW792I	N326 05 52		
AZIM	gyr	NW792D	NW035D	N126 72 06		
AZIM	gyr	NW792D	NW035D	N126 72 03		
AZIM	gyr	NW035I	NW792D	N126 73 21		
AZIM	gyr	NW035I	NW792D	N126 75 57		
AZIM	gyr	NW792I	NW035D	N126 61 06		
AZIM	gyr	NW792D	NW035I	N126 61 55		
AZIM	gyr	NW736D	NW070C	N126 77 07		
AZIM	gyr	NW736D	NW070C	N126 77 09		
AZIM	gyr	NW070C	NW736D	N326 77 31		
AZIM	gyr	NW088I	NW094D	N124 06 08		
AZIM	gyr	NW088I	NW094D	N124 06 82		
AZIM	gyr	NW094D	NW088I	N124 07 18		
AZIM	gyr	NW094D	NW088I	N124 07 07		
AZIM	gyr	NW088D	NW095I	N126 16 49		
AZIM	gyr	NW095I	NW088D	N126 16 88		

Al ser este un programa de ajuste por mínimos cuadrados no admite que las observaciones sean fijas, por otra parte, siempre que se mide algo se comete un error; por muy pequeño que éste sea. Pues exactamente el dimensionar el error con el que se ha observado la medición es lo que se está definiendo en la primera línea. El código SIGM significa que hay un tipo de medición definido por la clave gyr, que va a tener un error angular de 15 cc, con un error de estacionamiento de dos milímetros y un error de puntería de 1 milímetro, y además que estas medidas, exceptuando la angular naturalmente, van a venir expresadas en metros.

Las siguientes líneas le dicen al programa que lo próximo que viene es un azimut geodésico AZIM, afectado por un error inicial gyr, definido anteriormente. Las siguientes columnas son el nombre del punto de estación, el nombre de la referencia y el valor del azimut, precedido de la inicial del hemisferio en el que nos encontramos.

Ya solo queda ver cómo se introducen los valores de los ángulos medidos en campo y las distancias geométricas y se estará en disposición de poder calcular la red.

```
*OBSERVACIONES ANGULARES ANILLO 1
#NCA 1.4242
#incluye "C:\TU\PROGRAMAS\DWG\GDLAB\ANILLO1\ANILLO1.ANG"
#EXT GEN ANILLO ANILLO 1

*EXT NEW
*OBSERVACIONES DE DISTANCIAS ANILLO 1
#NCA 1.4223
#incluye "C:\TU\PROGRAMAS\DWG\GDLAB\ANILLO1\ANILLO1.DIST"
#EXT GEN DISTANCIAS ANILLO 1
```

Antes de ver el aspecto que tienen los ficheros de ángulos y distancias es importante reseñar que, para que no se formaran ficheros gigantes de observaciones, se ha dividido la red en anillos por las galerías de

emergencia, es decir, cada anillo tiene una longitud aproximada de un kilómetro.

Hecha esta observación, veamos como son los ficheros de observaciones angulares:

SIGM	ang	3		0.0005	0.001	0.001	#
ANGL	ang	H93	NW10	233 46 34.1			
ANGL	ang	H93	NW51	234 44 89.0			
ANGL	ang	H93	NW10	0 07 34.8			
ANGL	ang	H93	H92	122 41 46.1			
ANGL	ang	H93	NW51	123 39 41.4			
ANGL	ang	H93	NW10	0 07 39.3			
ANGL	ang	H93	NW10	122 41 45.0			
ANGL	ang	H93	NW51	123 39 37.8			
ANGL	ang	H93	NW10	0 07 32.8			
ANGL	ang	H93	NW10	233 46 33.3			
ANGL	ang	H93	NW51	234 44 87.8			
ANGL	ang	H93	NW10	122 41 40.3			
ANGL	ang	H93	NW51	123 39 34.8			
ANGL	ang	H93	NW10	0 07 34.5			
ANGL	ang	H93	NW10	233 46 34.1			
ANGL	ang	H93	NW51	234 44 93.5			
ANGL	ang	H93	NW10	122 39 39.1			
ANGL	ang	H93	NW10	122 41 35.9			
ANGL	ang	H93	NW51	234 44 85.1			
ANGL	ang	H93	NW10	233 46 90.9			

Como se puede ver, también en las observaciones angulares se definen los errores *a priori* de la observación. En efecto, a través de la orden SIGM se define un error, que denominaremos ang, y con un valor de 3 cc en la medida angular, medio milímetro en el estacionamiento y un milímetro tanto en la puntería de espaldas como la de frente y, como siempre, todo ello expresado en metros. Lo que viene en las filas siguientes son los valores de los ángulos medidos en campo, precedidos del código ANGL y del error ang, el nombre de la estación, la referencia atrás y la referencia delante.

Como es de suponer, se entiende que la primera línea de este fichero estará en función de la precisión del aparato utilizado y los métodos de estacionamiento y puntería. No es lo mismo estacionar el aparato en una base de centrado forzoso que en un trípode con plomada. Tampoco es igual hacer las punterías a prismas ubicados en las mismas bases de centrado forzoso con puntería automática ATR que sobre un jalón. Hay que ser razonables a la hora de dimensionar estos errores; de todas formas, más adelante se verá, cuando se calcule, cómo se pueden escalar estos errores en función de los resultados de la red.

Por ultimo, veamos que aspecto tienen los ficheros de distancias geométricas:

SIGM	dis	2		0.0005	0.001	#	
DIST	dis	H93	NW10	396.1845			
DIST	dis	H93	NW51	402.2750			
DIST	dis	H93	NW10	396.1845			
DIST	dis	H93	NW51	402.2750			
DIST	dis	H93	NW10	396.1843			
DIST	dis	H93	NW51	402.2749			
DIST	dis	H93	NW10	396.1843			
DIST	dis	H93	NW51	402.2749			
DIST	dis	H93	NW10	396.1849			
DIST	dis	H93	NW51	402.2755			
DIST	dis	H93	NW10	396.1849			
DIST	dis	H93	NW51	402.2755			
DIST	dis	H93	NW10	396.1835			
DIST	dis	H93	NW51	402.2742			
DIST	dis	H93	NW10	396.1835			
DIST	dis	H93	NW51	402.2742			
DIST	dis	H93	NW10	396.1841			

Como siempre, la primera línea define el error en distancias dis, siguiendo las características técnicas del distanciómetro, es decir 1 mm ± 2 ppm, con un error de estacionamiento de medio milímetro y

uno de puntería de uno, por supuesto todo ello expresado en metros, no en pulgadas. En las filas siguientes se ve el código *DIST* de distancia, el error aplicado *a priori* *dis*, el nombre de la estación, el nombre del punto visado, el valor de la medición y la unidad de la misma (metros).

Como se puede apreciar, la estructura de los ficheros de mediciones y coordenadas es bastante sencilla, ya que cada *ítem* tiene designadas unas columnas fijas dentro de la estructura del propio fichero. Esto facilita muchísimo la labor a la hora de crear rutinas para pasar de la base de datos de observaciones a Geolab.

PARAMETERS		OBSERVATIONS	
Description	Number	Description	Number
No. of Stations	415	Directions	0
Coord Parameters	824	Distances	5083
Free Latitudes	412	Azimuths	108
Free Longitudes	412	Vertical Angles	0
Free Heights	0	Zenithal Angles	0
Fixed Coordinates	421	Angles	1351
Astro. Latitudes	0	Heights	0
Astro. Longitudes	0	Height Differences	0
Geoid Records	0	Auxiliary Params.	0
All Aux. Pars.	0	2-D Coords.	0
Direction Pars.	0	2-D Coord. Diffs.	0
Scale Parameters	0	3-D Coords.	0
Constant Pars.	0	3-D Coord. Diffs.	0
Rotation Pars.	0		
Translation Pars.	0		
Total Parameters	824	Total Observations	6542
Degrees of Freedom =		5718	

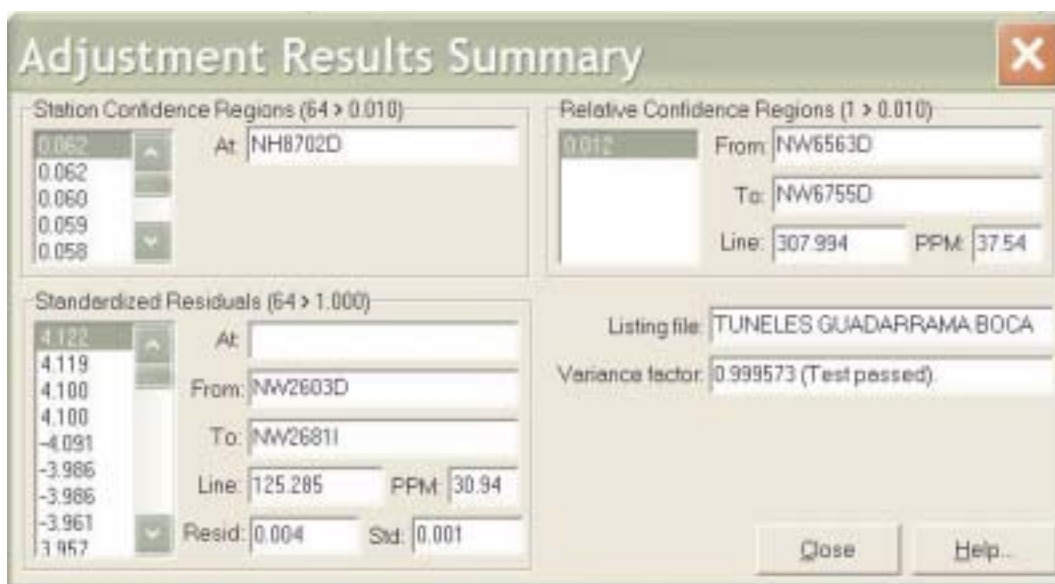
El paso siguiente es calcular la red y analizar los resultados. Si las coordenadas aproximadas son lo bastante aproximadas y no hay incongruencias en las observaciones, el cálculo de la red es muy rápido, ya que el programa no hará más de dos iteraciones para llegar a diferencias menores de la décima de milímetro definida en la cabecera.

Lo primero que se obtiene es un listado resumen del contenido de los ficheros que han intervenido. Como se ve en el cuadro, hay 415 estaciones, de las cuales a calcular son 412 (recordar que se habían fijado las coordenadas de los tres hitos de salida). Como las alturas ortométricas de todos los puntos también son fijas, el número de parámetros a calcular son 824, dos coordenadas por cada estación libre.

En la columna de la derecha aparece el número de observaciones realizadas: Se han medido 5083 distancias, 108 azimutes con gyro y 1351 ángulos. Llama la atención el elevado número de distancias medidas, lo cual es debido a que se han despreciado todos los ángulos paralelos a los hastiales, utilizando sólo las distancias.

Estas observaciones corresponden a medio túnel, ya que hasta que no se cale y se hagan las observaciones de unión de las dos redes no se podrá hacer un cálculo conjunto.

En resumen, se está manejando una red que para calcular 824 parámetros tiene 6542 observaciones, es decir, tiene 5718 grados de libertad.



Imaginemos las operaciones con matrices que tiene que resolver el programa.

Después de ver las dimensiones de la red, pasemos a ver el cuadro resumen de los resultados, es aquí donde se verá realmente la calidad de la red.

En la casilla de arriba a la izquierda se ve que el semieje mayor de la elipse de error en la estación NH8702D es de 62 milímetros (con un 95% de probabilidad, como ya se dijo); esta base es la más alejada de la red, estando situada aproximadamente a 14500 m del HNO.

Abajo a la izquierda se ve que la medida de la distancia entre las bases NW2603D y NW2681I es la peor medida de todas, con un residuo de 4 mm, o lo que es lo mismo, 30,94 ppm de su valor introducido de 125,285 m.

Abajo a la derecha se encuentra el Factor de Varianza, que es la pieza clave para ver la calidad de la red, teniendo su valor que ser muy próximo a la unidad, lo que quiere decir que se han calibrado o ponderado bien los errores *a priori* de las observaciones. A este resultado es prácticamente imposible llegar al primer intento; si nos fijamos, en las líneas de los ficheros de observaciones hay un código VSCA seguido de un número decimal, normalmente menor de 0.

```

OBSERVACIONES ANGULARES ANILLO I
VSCA      0.4243
#ANILLO# "C:\TD\POLYGON\DATA\OBSLAB\ANILLOI\ANILLOI.DAT"
#EFT OBS ANGULO ANILLO I

#EFT NEW
OBSERVACIONES DE DISTANCIAS ANILLO I
VSCA      0.4023
#ANILLO# "C:\TD\POLYGON\DATA\OBSLAB\ANILLOI\ANILLOI.DAT"
#EFT OBS DISTANCIAS ANILLO I
    
```

Esta variable permite escalar los errores *a priori* que se habían definido en el fichero. Se había definido un error angular de 3 cc, en el caso del anillo I están contenidas las observaciones angulares desde el Hito 0 al interior del túnel, que como ya comentamos son las más delicadas de observar; pues bien, como se ve, ha habido que aumentar estos errores *a priori* escalándolos a razón de 1,6241 para poder llegar a un valor 1 del test de varianza. Esto quiere decir que los ángulos del anillo I están medidos con un error de 5 cc.

En cambio, en el caso de las distancias, en que se tenía un error *a priori* de 1 mm \pm 2 ppm, ha habido que multiplicarlo por 0,4023, es decir, las distancias del anillo I están medidas con un error de 0,4 mm.

Como interpretación de este ejemplo se debe sacar la conclusión de que para calcular una red de esta envergadura no se puede introducir todas las observaciones de golpe en el mismo fichero, ya que no se

tendría la elasticidad suficiente a la hora de escalar errores para poder llegar al test de varianza con valor 1.

Las grandes redes se deben calcular poco a poco, introduciendo los datos en diferentes ficheros, de manera que a la vez que se van aportando observaciones se las puede escalar de una forma particular, llevando siempre el test de varianza próximo a 1.

```

=====
TUNELES GUADARRAMA BOCA NORTE CON GYRO CORREGIDO
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0
International  UNITS: m,GRAD Page 0072
=====
Residuals (critical value = 4.617, N,E,Up for 3D):
NOTE: Observation values shown are reduced to mark-to-mark.
    
```

Siguiendo con la parte de abajo a la izquierda del cuadro de resultados del cálculo de la red, se ven unos valores próximos a 4; éstos son los residuos estandarizados de las peores observaciones. En efecto, cuando se calcula la red el programa calcula un valor llamado *Residuo estandarizado crítico*, que en nuestro caso tiene un valor de 4,617.

Un residuo estandarizado es un número sin unidades que expresa el cociente entre el residuo real y el error *a priori* de dicha medición, definido en el fichero y escalado por VSCA, es una forma de homogeneizar residuos de observaciones angulares con distancias y azimutes. Pues bien, el *Residuo estandarizado crítico* es el valor del residuo estandarizado que admite esta red; toda medición que supere este valor ha de ser eliminada de la red. Por eso se ofrecen en el cuadro resumen, por si hay alguna observación que ha de ser eliminada.

Una vez eliminadas las malas observaciones y pasado el test de la varianza, sólo queda producir el listado de coordenadas ajustadas.

10. CONCLUSIÓN

A la vista de los resultados del ajuste de la red, una elipse de error de 62 mm de semieje mayor en la base más lejana, y habida cuenta que se cuenta con una holgura horizontal en el cale de \pm 150 mm y \pm 100 mm en vertical, existen muchas probabilidades de que este proyecto culmine con éxito.

Una apuesta por la tecnología y el método casi nunca trae malos resultados, por lo menos es lo que yo he sacado en conclusión después de mis primeros veinte años dedicados a la topografía. Ahora sólo nos queda esperar. ■

Conecta CAD y GIS.

Idea:

Controle y gestione las infraestructuras de una ciudad desde el subsuelo hasta la superficie.



Realizada:

Autodesk conecta CAD y GIS ofreciendo soluciones completas de cartografía y GIS, como Autodesk Map[®] 3D, Autodesk MapGuide[®] Enterprise, y Autodesk[®] Raster Design. Las empresas necesitan crear, editar, y gestionar toda la información espacial de una ciudad. Estas herramientas precisas y flexibles le permiten gestionar las infraestructuras de una ciudad desde el subsuelo hasta la superficie, utilizando mejor sus datos, recursos e inversión de su software actual.

Para más información, visite nuestra web www.autodesk.es/map o si lo prefiere llame al 902 12 10 38.

Autodesk[®]

Autodesk Map 3D

Autodesk, Autodesk Map, y Autodesk MapGuide son marcas registradas o marcas de Autodesk, Inc., en los Estados Unidos y/o otros países. Todas las demás marcas, nombres de productos o marcas registradas pertenecen a sus respectivos propietarios. © 2006 Autodesk, Inc. Todos los derechos reservados.

La tecnología LIDAR: Una visión general

José Balsa Barreiro y José Luis Lerma García

E.T.S. DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA)

En los últimos años, casi todos los profesionales del ámbito cartográfico han oído hablar de la tecnología LIDAR. El término LIDAR es un acrónimo que acepta múltiples interpretaciones que discuten el significado del mismo: por una parte están los que afirman que dicho acrónimo deriva de “Light Detection And Ranging”, mientras que otros afirman que éste deriva de “Laser Induced Differential Amplitude Reflectory”. En cualquier caso, pese a esta confusión terminológica, todos coinciden en lo que ésta significa y en las grandes posibilidades futuras que tiene dentro del sector fotogramétrico y cartográfico.

I. INTRODUCCIÓN

Hablar de LIDAR es lo mismo que hablar de ALS (“Airborne Laser Scanning”) o ALTM (“Airborne Laser Terrain Mapping”). Todos estos conceptos nos llevan a una misma idea: la aplicación de la tecnología láser (en este caso, láser aerotransportado) al mundo de la topografía y de la cartografía.

La tecnología LIDAR se basa en un tipo de sensor láser aerotransportado utilizado para realizar modelos digitales del terreno (MDT) o modelos digitales de superficie (MDS) de alta resolución, a partir de la medición del tiempo (t) que tarda en rebotar en el suelo¹ un chorro o flujo de pulsos láser que es emitido y medido desde el propio instrumental láser. La dirección de barrido del aparato es perpendicular a la dirección en la que vuela el avión o helicóptero que porta el aparato. Como conocemos la velocidad de la luz (c), podemos relacionar dicho valor con el tiempo y obtener la distancia a la que se encuentra un objeto x , sobre la base de la fórmula:

$$D_x = \frac{c \cdot (t_1 - t_0)}{2}$$

siendo D_x la distancia al objeto x , c la velocidad de la luz y t_1-t_0 el tiempo transcurrido desde la emisión hasta la recepción del pulso.

El LIDAR incrementa notablemente la resolución de los datos en el espacio (en puntos/m²) frente a otras tecnologías precedentes (topografía clásica, GPS, fotogrametría, RADAR, etc.), además de recortar los tiem-

pos de captura. En contrapartida, el volumen de información espacial que se debe manejar en un proyecto aumenta de manera sustancial.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS LIDAR

La clasificación de los sistemas LIDAR puede obedecer a diferentes criterios, entre los que destacan:

En función de la zona de estudio:

A) LIDAR atmosférico

Este sistema se centra en el estudio de los procesos atmosféricos y su principal ventaja son las altas resoluciones verticales que puede llegar a conseguir. Aunque puedan ser utilizados en plataformas como globos o aviones, estos sensores deben de estar siempre sobre plataformas fijas, lo que permite una mejor caracterización de las estructuras verticales que componen las diversas partes de la atmósfera objeto de estudio. En este caso, las técnicas generalmente empleadas envuelven la emisión de una señal modulada en la atmósfera, la cual es reflejada, captada y analizada. Entre las señales que pueden ser emitidas se encuentran las ondas de radio, las acústicas y las luminosas.

B) LIDAR batimétrico

El LIDAR batimétrico es un sistema que utiliza láser de alta potencia para que la señal emitida pueda penetrar en las superficies acuáticas y retornar al sensor sin ser totalmente absorbida por ellas. Por lo tanto, este sistema acostumbra a operar con tasas bajas de muestreo. En este caso, la plataforma utilizada es aérea, lo que implica operar a bajas altitudes y velocidades con el fin de aumentar la densidad de puntos recogidos. Estos sistemas operan en las bandas del azul y verde

¹ De forma teórica se puede hablar de suelo o terreno, aunque en realidad nos referimos, además de al propio suelo, a objetos que están sobre el mismo

del espectro visible, a diferencia de los topográficos, que operan en la banda del infrarrojo cercano (NIR).

C) LIDAR topográfico

Este sistema, al contrario del LIDAR batimétrico, opera, tal y como ya se ha mencionado anteriormente, con pulsos láser con longitudes de onda únicas (normalmente en la banda del NIR), de corta duración y altas tasas de muestreo. Normalmente es utilizado sobre plataformas aéreas (avión o helicóptero), aunque también puede ser empleado en plataformas terrestres o espaciales. Al igual que el LIDAR batimétrico, este sistema permite la georreferenciación de los puntos recogidos sobre la superficie del terreno por medio del uso integrado de observaciones GPS y medidas inerciales (IMU). La aplicación de este sistema normalmente se potencia con una cámara digital (fotográfica o de video), con o sin calidad métrica.

La nube de puntos 3D georreferenciados permite generar modelos de la superficie del terreno y, en función de los retornos registrados para cada pulso (normalmente primero y último, aunque ya existen en el mercado sistemas que registran todo el retorno) se distingue la superficie desnuda del terreno (MDT) de su cobertura envolvente (MDS).

En función de la anchura de barrido:

A) *LIDAR de barrido estrecho*, que reduce al mínimo el tamaño de la superficie de muestreo y maximiza la frecuencia (figura 1).



Figura 1: Huella de un LIDAR de barrido estrecho

B) *LIDAR de barrido ancho*, diferente del anterior en el sentido que barre una tira o franja de terreno más ancha en cada una de las pasadas (figura 2).



Figura 2: Huella de un LIDAR de barrido ancho

El empleo de uno u otro tiene sus ventajas e inconvenientes, pero de las figuras anteriores se deduce que en áreas de vegetación densa (bosques) el láser de barrido ancho permite obtener unos resultados más óptimos.

En función de la forma en la que emite el haz de luz:

- A) *LIDAR de onda continua*, que emite el haz de luz láser de forma continua.
- B) *LIDAR de pulsos*, que emite pulsos discretos del haz de luz láser de manera continuada.

En función de la plataforma sobre la que se trabaja:

En cuanto al LIDAR aerotransportado podemos distinguir una serie de plataformas de trabajo: Helicóptero, avión, globo, otras.

3. COMPONENTES DE UN SISTEMA LIDAR

- A) **El sensor LIDAR:** Se refiere al sensor LIDAR propiamente dicho, tal y como se viene entendiendo. Desde este aparato se emite el haz de luz láser y se registra el momento en el que dicho haz de luz llega de vuelta al sensor.
- B) **Sistema inercial (INS):** El INS permite medir la orientación y la posición del sensor. Este sistema mide incrementos de ángulos con alta precisión (aprox. 0,001°), lo que permite compensar los movimientos bruscos que sufre el sensor a bordo del aeroplano, pudiendo calcular en cada momento sus coordenadas.
- C) **La unidad de medición inercial (IMU):** Es el dispositivo principal del INS e integra tres giróscopos y tres acelerómetros junto con un reloj, que permite asignar tiempo a los valores medidos por los sensores inerciales y los mecanismos de calibración de dichos sensores. Además, localiza posibles perturbaciones debidas a cambios de temperatura o a otros agentes externos. Los datos de salida IMU son la aceleración lineal y la velocidad angular correspondiente a cada uno de los ejes de un sistema de tres ejes ortogonales, con el correspondiente valor de tiempo común para estos seis valores. Un sistema IMU mide la orientación según los ángulos de cabeceo, balanceo y guiñada. Estos valores son combinados con la información posicional de los GNSS y los valores de distancia láser, obtenidos para producir los valores de **X, Y, Z** de los puntos recogidos.
- D) **Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS):** Mediante el empleo de los GNSS (entre los que se encuentra el conocido GPS) se puede obtener los valores de las tres coordenadas espaciales de un sensor gracias a una constelación de satélites de referencia y al empleo de múltiples técnicas de posicionamiento.
- E) **Cámaras de video y cámaras fotográficas:** En algunos sistemas se emplean cámaras digitales y de vídeo que registran imágenes de las

áreas de captura. Los datos (**X, Y, Z, I**) del LIDAR pueden ser superpuestos con estas imágenes y empleados en el proceso de calibración. En algunos sistemas se utilizan dos cámaras de vídeo; una apuntando hacia abajo y otra hacia delante, estando ambas montadas próximas al sistema láser.

Los valores de tiempo, latitud y longitud son normalmente registrados como parte de la visualización del vídeo. Esta información es empleada por el operador para ver el área que está siendo recogida durante el vuelo; además puede ser utilizada, al menos potencialmente, durante la fase de post-procesamiento de los datos LIDAR. La parte audio de la grabación es empleada por el operador para recalcar o corroborar cualquier aspecto que pueda ser considerado como de interés.

4. ASPECTOS A CONSIDERAR

La base teórica del funcionamiento de la tecnología LIDAR es sencilla, sin embargo hay una serie de aspectos que han de ser tenidos en cuenta, entre los cuales destacan los siguientes:

- *Se supone que la velocidad de la luz es constante.* Es conocido que la atmósfera es compleja y no es uniforme, de ahí que esta velocidad teórica pueda verse alterada. Lo mismo sucede con la trayectoria teórica de desplazamiento del haz de luz láser.
- *Se sabe que la plataforma sobre la que se apoya el aparato láser se encuentra, en el momento del vuelo, a varios cientos de metros sobre el suelo.* Por lo tanto, pequeños errores en la determinación de la orientación en dicha plataforma provocarán grandes errores en el modelo medido. Por ello, será necesario controlar perfectamente la orientación de la plataforma en cualquiera de sus ejes (cabeceo, balanceo y guiñada).
- *Es necesario registrar el momento en el que cada pulso láser es emitido y tener controlada siempre la posición de la plataforma.* La combinación de los sistemas inerciales (INS) y posicionales (GPS) tienen como objetivo este punto.
- *La obtención de datos en los receptores GPS es de baja frecuencia (normalmente alrededor de 1 Hz), la cual no es suficiente para lograr las precisiones centimétricas requeridas en fotogrametría aérea.* Por su parte, los sistemas inerciales registran los datos a una frecuencia alta, lo que obliga a llevar a cabo una integración entre dos tecnologías (GPS e INS) que trabajan a frecuencias diferentes. El aspecto positivo de esta integración es que ambas tecnologías se complementan.

5. ASPECTOS CON POSIBILIDADES DE MEJORA

- *El estudio de los valores de intensidad.* Se sabe que estos valores ofrecen un valor añadido de indiscutible valor; sin embargo, hasta el momento su estudio e interpretación ha sido escasa.

- *La tecnología LIDAR emite de forma indiscriminada sobre el terreno un haz de luz láser, sin posibilidad alguna de controlar los puntos a los que se dirige el mismo.* Por tanto, se puede elegir la zona que se quiere estudiar, pero no los puntos, lo cual reduce en cierta forma su potencial.
- *El trabajar solamente con una longitud de onda, normalmente la determinada por el NIR, impide tener una respuesta multiespectral,* tal y como ocurre en teledetección cuando se trabaja sobre una misma zona con varias longitudes de onda.
- *La apertura del mercado.* La tecnología LIDAR es muy cara y requiere fuertes inversiones. Además, existe un número limitado de empresas que ofrecen estos servicios. Por lo general, estas empresas llevaban a cabo todo el proceso (desde la recogida hasta el procesamiento de los datos) en base a algoritmos propietario (programas no abiertos generalmente). En los últimos meses la empresa ESRI ha incorporado en su última versión del programa ArcGIS (versión 9.2) una extensión de trabajo que permite el tratamiento y procesamiento de los datos LIDAR en bruto: la extensión LIDAR Analyst. Éste es un caso que seguramente contribuirá a que dicha tecnología llegue a muchos más usuarios, con todas las connotaciones que eso supone: mayores capacidades de estudio y de mejora.

6. MÉTODO DE TRABAJO

El proyecto ha de planificarse bien antes de llevar a cabo lo que se denomina una "campaña LIDAR". El área que se pretende barrer ha de ser estudiada previamente y conviene establecer una serie de pautas previas:

- Fijación de estaciones GPS de referencia en el terreno dentro de un área de aproximadamente 50 km (en el caso en el que no las hubiera).* Estas estaciones GPS servirán para obtener, en combinación con el sensor GPS aerotransportado, una solución diferencial (DGPS) y aumentar las precisiones obtenidas en cuanto a posicionamiento.
- Calibración previa de todo el equipo.* En la práctica se suele hacer una calibración manual, aunque sus resultados no son los más óptimos (Morin, 2002). La calibración es un proceso importante, ya que se debe asegurar que el equipo funciona correctamente. De hecho, los procedimientos de calibración han de seguirse en todas las fases del proyecto: antes, durante y después de la campaña LIDAR.
- Vuelo de prueba.* Antes de hacer el vuelo es recomendable hacer uno de prueba para familiarizarse con el área objeto de estudio.
- Planificación del vuelo.* Aspectos como la orientación del relieve, modelo del sensor (de barrido ancho o estrecho), ubicación de las estaciones base, etc., influirán en la configuración de las pasadas y en la disposición de las tiras de barrido.

Un procedimiento que suele llevarse a cabo en la práctica cuando se realiza una campaña LIDAR es cruzar todas las pasadas o tiras

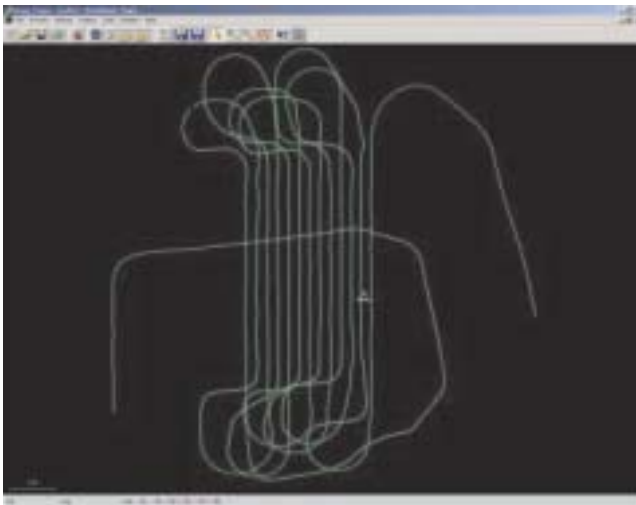


Figura 3: Traza usual de un proyecto LIDAR. Fuente: <http://www.airbornelasermapping.com>, (ACCESO, 11/X/2005)

por medio de una tira transversal. Esta tira suele ser muy útil en tareas de calibración, control de los parámetros del proyecto y ajuste de la totalidad de las pasadas. En la figura 3 se comprueba cómo todas las pasadas o tiras quedan relacionadas gracias a la pasada transversal.

Tras una campaña de barrido LIDAR, se dispone de una nube de puntos XYZ con sus niveles de intensidad (I). Dicha nube de puntos conforma los "datos brutos", los cuales han de ser refinados en la fase de procesamiento de los datos, ya que los puntos obtenidos pueden tener mucho ruido o corresponder a entidades del modelo o terreno que no nos interesen (p.e. vehículos). En muchas ocasiones habrá que filtrar grandes cantidades de puntos (por exceso), en cambio, en otras no habrá más opción que interpolar. No obstante, siempre suele ser común triangular o mallar la nube de puntos LIDAR a fin de conseguir un modelo digital de elevaciones o de superficie interpretable y extrapolable a toda la superficie barrida.

Es importante a la hora de aplicar estos procedimientos que los métodos elegidos sean cuanto más óptimos mejor para el caso que nos ocupe, ya que diversas alternativas pueden conducir a la generación de resultados finales de escasa calidad.

7. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Entre las ventajas destacan las siguientes:

- Independencia de la luz del día. Con LIDAR se puede trabajar de noche o en condiciones atmosféricas adversas, a excepción de con lluvia.
- Generación de MDS, MDT, MDEd, MDE y otros productos derivados. En el caso de disponer de imágenes georreferenciadas también se pueden obtener ortoimágenes.
- Integración sencilla en un SIG.

- Mínima interferencia del usuario en la captura, aunque no en el procesamiento.
- Precisión: Una precisión altimétrica del orden de 10-15 cm y altimétrica de 50-100 cm es común y ha sido contrastada y verificada en múltiples estudios en campo.
- Penetración de la masa forestal. A diferencia de otras técnicas cartográficas, algunos LIDAR pueden penetrar la masa vegetal y golpear la superficie terrestre en zonas con mucha densidad arbórea.
- Densidad de datos elevada. Por tanto, tiene la capacidad de medir leves cambios morfológicos del terreno

Entre los inconvenientes destacan los siguientes:

- Presencia de errores de la señal GPS (errores de ciclo, problemas de recepción de la señal, etc.).
- Problemas asociados al Sistema de Navegación Inercial (INS).
- Problemas asociados a la mala integración entre el sistema GPS y el INS.
- Empleo de índices de muestreo inadecuados.
- Problemas asociados a una mala planificación de la campaña LIDAR.
- Problemas geométricos derivados de la unión de pasadas.
- Tecnología que no está demasiado implantada y es todavía cara.

8. POSIBLES APLICACIONES

Existe un gran abanico de posibilidades de explotación LIDAR, sobre todo en mercados difícilmente cubiertos por otras técnicas fotogramétricas y cartográficas. A modo de ejemplo, se destacan aquí algunas que se ajustan en particular a esta nueva tecnología:

- Inventariado de recursos forestales: cálculo del número de especies, cálculo de la masa forestal, etc. (figura 4)
- Generación de modelos tridimensionales urbanos o costeros (figura 5)
- Cartografía de riesgos de avenidas e inundaciones
- Levantamientos cartográficos lineales de secciones costeras, líneas eléctricas, carreteras, etc.
- Cartografiados rápidos en situaciones de emergencia.



Figura 4: Izquierda: MDS de un bosque denso. Derecha: MDT derivado de la misma zona. (Cortesía DIELEMO)



Figura 5: Proyección de una ortoimagen sobre un MDS. Visualización 3D del puerto náutico de Oliva (Cortesía DIELMO)

9. CONCLUSIONES

La tecnología LIDAR es, a día de hoy, una alternativa competitiva que complementa, más que sustituye, el mercado tradicional de la fotogrametría aérea. Además, el que los datos sean de una naturaleza distinta, que no significa que sea diferente su finalidad, hace pensar que ambas técnicas deben ir complementándose la una con la otra, bien porque una no puede medir puntos automáticamente en zonas con textura homogénea o bien porque la otra no permite definir con nitidez líneas de rotura. Además, el que el LIDAR potencie la precisión altimétrica frente a la planimétrica también hace más necesario que nunca el que los flujos de trabajo converjan y se adecuen el uno al otro.

El objetivo último de este artículo ha sido presentar esta tecnología y analizar su estado actual, con sus pros y sus contras. Las posibilidades de esta tecnología son muchas en todos los campos. Hasta el momento, su estudio se ha centrado más en entornos forestales, geológicos e hidrográficos, sin olvidar su aplicación en entornos urbanos (Maas, Brenner, Charaniya). En cualquier caso, se abre un nuevo mundo de posibilidades para los profesionales de la fotogrametría y de la cartografía.

BIBLIOGRAFÍA

- Brenner, C. (2000): "Towards fully automatic generation of city models". Institute for Photogrammetry (IFP), Universidad de Stuttgart. Alemania.
- Charaniya, Amin (2004): "3D Urban reconstruction from aerial LIDAR data". Computer Science. University of California. Santa Cruz, EEUU.
- Maas, H.G. (2002): "Methods for Measuring Height and Planimetry Discrepancies in Airborne Laserscanner Data". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. ASPRS, [pp 933-940].
- Maas, H.-G. (1999): "Closed solutions for the determination of parametric house models from invariant moments of airborne laserscanner data". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 32, Parte 3-2, [pp. 193-199].
- Maas, H.-G. (1999): "The potential of height texture measures for the segmentation of airborne laserscanner data". Proceedings of the Fourth International Airborne Remote Sensing Conference (día 24.6.99, Vol. I). Ottawa, Canadá, [pp. 154-161].
- Maas, H.-G. (2001): "The suitability of Airborne Laser Scanner Data for Automatic 3D Object Reconstruction". Proceedings 3rd International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Ascona, Suiza.
- Morin (2002): "Calibration of Airborne Laser Scanners". Tesis doctoral de Kristian Walter Morin. Department of Geomatics Engineering. Universidad de Calgary. Alberta, Italia.
- <http://www.airbornelasermapping.com/>, (ACCESO, 11/X/2005)
- <http://www.lidar.co.uk/links.htm>, (ACCESO, 14/X/2005)
- <http://www.lidaralaska.com/>, (ACCESO, 13/X/2005)
- <http://www.lidarmap.org/>, (ACCESO, 17/III/2006)
- <http://www.lidarmapping.com/>, (ACCESO, 19/X/2005)
- <http://www.lrtudelft.nl>, (ACCESO, 21/IV/2006)
- <http://www.merrick.com/>, (ACCESO, 19/IV/2006) ■



Una nueva dirección

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

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

SOKKIA

Modelizado 3D de la Iglesia de San Benito Abad (Barajas de Gredos, Ávila)

Mariano Veneros Gómez

Tutores: Javier Gómez Lahoz y Diego González Aguilera
E.P.S. DE ÁVILA (UNIVERSIDAD DE SALAMANCA)

V Premio San Isidoro 2005 I^{er} Premio

I. INTRODUCCIÓN

La historia de la construcción es una disciplina que relaciona el arte con la técnica y que permite entender las antiguas construcciones desde un conocimiento de los materiales y sus características, de las técnicas de ejecución que se utilizaban tradicionalmente y de los sistemas estructurales y de consolidación disponibles en las distintas épocas. Nos aproxima por tanto la historia desde una faceta diferente y además sirve de herramienta tanto al historiador como a los técnicos que han de realizar las restauraciones o el mantenimiento del patrimonio cultural.

En este proyecto se ha hecho uso tanto de la fotogrametría arquitectónica, para obtener información del edificio de la iglesia, como de las técnicas topográficas necesarias para representar el entorno y configuración de este espacio. Así obtenemos un conjunto de datos e información que pueden ser utilizados para otros estudios o actuaciones.

La rectificación es un método en el que a partir de la propia fotografía se obtiene un documento de calidad métrica y se fundamenta en la proyección sobre un plano. Por tanto, el error que se produce es proporcional a la distancia del punto con respecto al plano sobre el que se ha proyectado.

Si el objeto tiene mucho relieve se procede a la restitución fotogramétrica basada en el registro de los puntos y líneas más significativos. En dicho proceso se obtiene como resultado un conjunto de datos que representa una realidad simplificada donde se pierde la información continua que proporciona la fotografía. El desarrollo de las estaciones fotogramétricas digitales, comercializadas a partir de los años 90, ha po-

tenciado los procesos automáticos, entre ellos la generación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) y la orto-rectificación de imágenes. Sin embargo, estos equipos están desarrollados para el caso de fotografías aéreas y de satélite donde la geometría de la toma fotográfica es normal o con una convergencia muy pequeña.

En los últimos años ha proliferado la creación de sistemas y software específicos en el campo de la fotogrametría terrestre. Éstos permiten resolver de forma satisfactoria los fines perseguidos sin necesidad de estereoscopia. La geometría de la toma fotográfica es oblicua, admitiendo gran número de fotografías para dar cobertura al objeto. El modelado fotogramétrico está basado en las ecuaciones de colinealidad, utilizando además condiciones de contorno y restricciones geométricas del objeto que facilitan el cálculo mediante ajuste de haces. El software empleado para este proyecto (PhotoModeler) se corresponde con este último tipo de equipos.

Este trabajo, ubicado en el incomparable marco natural de la Sierra de Gredos, se centra en una iglesia del siglo XV de singular estructura y belleza: la iglesia de San Benito Abad. Situada en la localidad de Barajas de Gredos (AV), en la vertiente septentrional del Macizo Central, se trata de una de las iglesias de mayor valor cultural del entorno.

El objetivo principal de este proyecto es la obtención de información sobre esta iglesia, puesto que no existen planos ni otros documentos técnicos que aporten información fidedigna para poder restaurarla o reconstruirla en caso de deterioro o destrucción.

Con este propósito, se ha desarrollado una metodología de bajo coste capaz de generar modelos 3D de alta calidad mediante técnicas fo-

topométricas de objeto cercano, cuya aplicación en el estudio y conservación del patrimonio histórico se pone de manifiesto tras los resultados obtenidos en esta experimentación tridimensional.

A partir de la información recogida en este trabajo, se elaboraron una serie de productos, entre los que destacamos:

- Plano general en planta de la iglesia y sus alrededores. Levantamiento topográfico detallado del edificio y alrededores.
- Modelo 3D vectorial del edificio de la iglesia obtenido mediante restitución, a partir del cual se generan planos de las diferentes fachadas que componen el edificio. Animaciones y visitas en el entorno VRML de dicho modelo.
- Generación de películas animadas del modelo 3D vectorial.
- Escenas 3D virtuales compuestas por los edificios de la iglesia, frontón y fragua, por mobiliario urbano y vegetación existente y por el MDT que define el suelo (calles, pavimentos, aceras, etc.) sobre el que se apoyan los elementos anteriores, animaciones, iluminación, sonidos característicos, etc. VRML será el entorno de trabajo elegido para recrear esta escena tridimensional, a través de la cual el usuario podrá "navegar", interactuar con el objeto mediante sensores, elegir distintos puntos de vista predeterminados que le muestren su geometría o elegir una escena animada que permita conocer este entorno (itinerario guiado).
- Implementación en lenguaje HTML del PFC. Un DVD de arranque automático guiará al usuario a través del trabajo, pudiendo acceder de una manera sencilla a cualquier dato o producto: memoria, fotografías, modelos 3D, visitas virtuales, planos, explicaciones, metodología de trabajo, reseñas de puntos de apoyo, historia de la iglesia, etc.

Por otra parte, se intenta destacar las posibilidades métricas que ofrece una cámara fotográfica. En este proyecto, el uso de cámaras digitales convencionales, que pueden ser calibradas mediante un software sencillo y amigable, ha posibilitado además la obtención de productos fotogramétricos rigurosos mediante una interfaz accesible y sencilla. Tanto es esto, que el programa utilizado para restituir el modelo (PhotoModeler) puede ser utilizado por usuarios ajenos al mundo de la fotogrametría como medio para obtener ciertos productos, pues el proceso fotogramétrico queda oculto a los ojos del operador.

En los siguientes apartados se muestran las técnicas utilizadas para la consecución de los distintos productos, material utilizado, funcionamiento interno y externo del programa fotogramétrico, la generación de planos, la obtención de los complejos e irregulares modelos 3D vectoriales y virtuales fotorrealísticos así como su rigurosidad métrica, etc.

2. APOYO TOPOGRÁFICO Y LEVANTAMIENTO

Se estableció una red topográfica, constituida por poligonales observadas con taquímetro, nivel y medida electromagnética de distancias y cu-



Figura 1. Distribución de estaciones utilizadas y croquis de la zona radiada

yas estaciones serán los puntos de amarre para la radiación. De igual modo, estas estaciones constituirán los extremos de las bases necesarias para calcular el apoyo fotogramétrico sobre las diferentes fachadas del edificio.

Se calcularon las coordenadas **X, Y, Z** de dichas estaciones en un único sistema de referencia, previo estudio de errores, tolerancias y compensaciones de la red topográfica. El sistema de referencia utilizado es un sistema de coordenadas arbitrarias particulares de proyecto, referidas al norte magnético. Desde estas estaciones serán radiados los puntos necesarios para la elaboración de un plano a escala 1/150 de la zona (figura 1).

El MDT (malla TIN), obtenido a partir del levantamiento topográfico, será usado como suelo de la escena virtual 3D tras aplicarle las diferentes texturas y ser exportado a lenguaje VRML (figura 2).

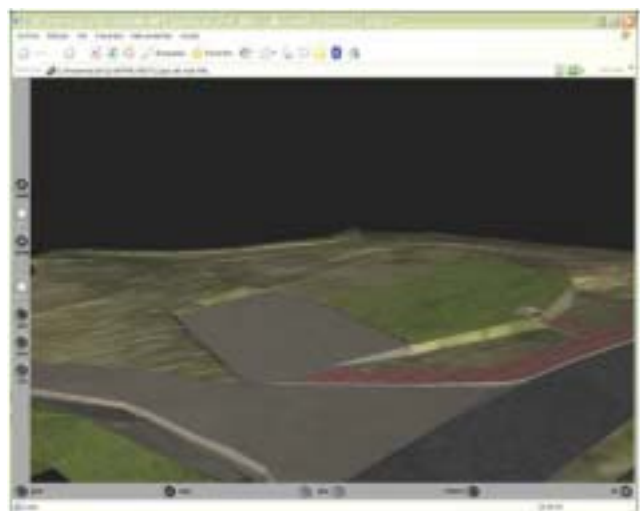


Figura 2. Vista de malla TIN en el visualizador VRML



Figura 3. Distribución de los puntos de apoyo y medidas sobre la fachada FE3 de la iglesia

El Apoyo Topográfico, en el caso de este trabajo de fotogrametría terrestre, consistió en la determinación de las coordenadas de una serie de puntos y de algunas medidas sobre el objeto a restituir. Estos puntos y medidas se distribuyen homogéneamente por toda la geometría del objeto. Las coordenadas de los puntos de apoyo deben pertenecer al mismo sistema de referencia en el que se pretende restituir, coordenadas objeto/terreno.

El objetivo del Apoyo Topográfico es proporcionar información métrica del objeto en el proceso de restitución.

Para el cálculo de los puntos de apoyo se utilizó el método de bisección empleando dos taquímetros Wild-T2. Se calcularon 96 puntos de apoyo repartidos homogéneamente por la geometría de los edificios de la iglesia, frontón y fragua. Estos puntos se corresponden con puntos naturales de las fachadas, es decir, se utilizaron puntos bien definidos de la propia geometría del edificio que además fuesen identificables en las imágenes usadas para la restitución. Además, se tomaron una serie de medidas sobre las fachadas que servirán de comprobación a lo largo del proceso de restitución (figura 3).

Puesto que estos puntos de apoyo serán utilizados durante todo el proceso de restitución de la iglesia, son debidamente reseñados para su posterior localización en las fotografías. (figura 4).



Figura 4. Reseña del punto de apoyo número 21

3. PHOTO MODELERPRO 4.0

3.1. Generalidades y características

Con este programa se generaron los modelos 3D de la iglesia. Se trata de un programa rigurosamente fotogramétrico, que permite al usuario la obtención de productos cartográficos 3D de alta calidad mediante un software de manejo relativamente sencillo. Utiliza el ajuste de haces mediante la condición de colinealidad, (figura 5), tanto para realizar autocalibración (en el caso de no ser conocidos los parámetros de la orientación interna, del refinamiento, ni de la orientación externa), como para el cálculo de coordenadas objeto/terreno (cálculo de la orientación externa cuando son conocidos los parámetros de la orientación interna y del refinamiento de coordenadas).

En el caso concreto de este proyecto, en el que ya son conocidos los parámetros de la orientación interna y del refinamiento de coordenadas, ya que fueron calculados con el módulo Calibración 4.0 e introducidos en el proyecto, tal como veremos en los siguientes apartados, el modelo matemático usado por el programa ya no incorporará como incógnitas los parámetros de la orientación interna y del refinamiento de coordenadas, que además para este proyecto se mantuvieron fijos para todas las fotografías, facilitando así el cálculo y tiempo de procesado.

Para aclarar lo anterior, sobre el gráfico de la figura 5 explicaremos de forma sencilla el funcionamiento de PhotoModeler. Partimos del marcado de puntos (u otros elementos definidos por puntos) sobre las fotografías que vendrán dados por sus *coordenadas instrumentales* bidimensionales (coordenadas píxel de las fotografías). Una vez marcados estos puntos en una fotografía, son referenciados sobre otras, es decir, se marcan sus puntos homólogos en otras fotografías. El siguiente paso para orientar y restituir es el procesado de los datos anteriores; el programa aplica el ajuste de haces mediante la condición de colinealidad. Tras el procesado se obtienen las coordenadas objeto tridimensionales de los puntos referenciados, es decir, éstos han sido restituidos y al mismo tiempo se ha realizado la orientación de las fotografías. En el caso de nuestro proyecto se han resuelto los parámetros de la orientación ex-

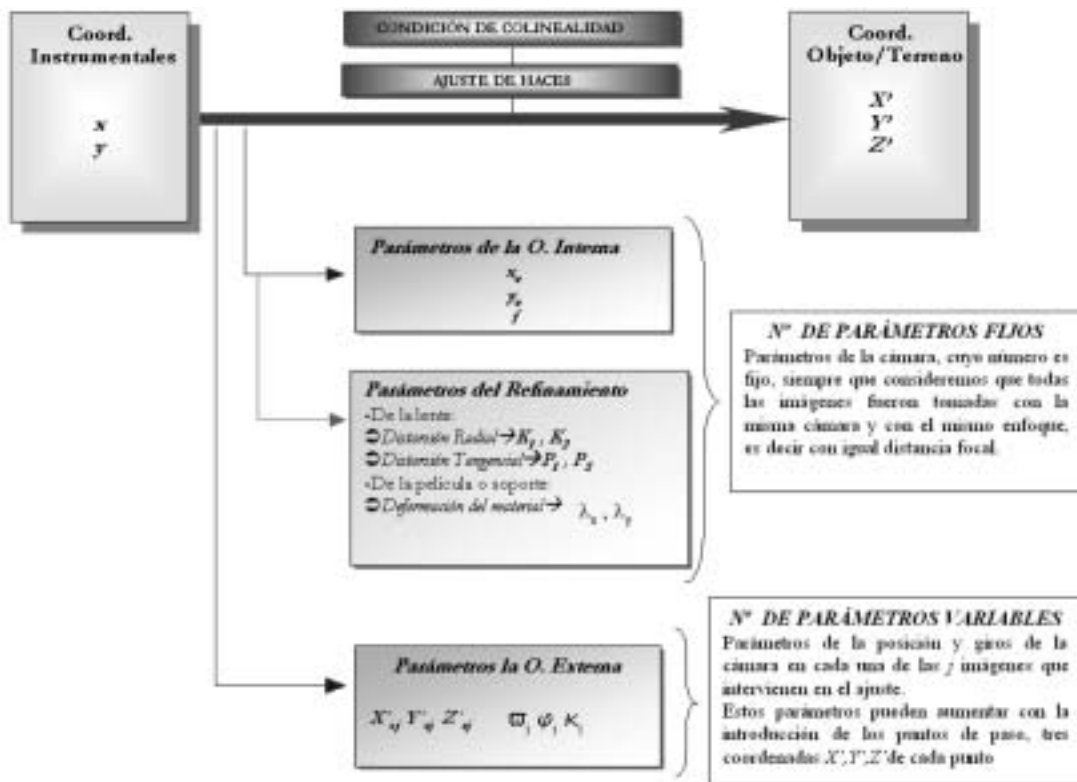


Figura 5. Esquema de los parámetros que intervendrán en el ajuste de haces (autocalibración).

terna. Como podemos apreciar, la fase de orientación queda oculta a los ojos del operador:

Las fases de Orientación y Restitución usadas en la Fotogrametría clásica aquí no son separadas: el objeto empieza a restituirse desde el principio y simultáneamente se orientan las fotografías.

Algunas de las características más importantes de este software son: el uso de fotografías oblicuas convergentes, la visión monoscópica en la restitución y su sencillez, gran flexibilidad y versatilidad, ya que puede trabajar con cámaras métricas, no métricas y cámaras de video, con enfoque fijo o variable de todas o parte de las fotografías; puede trabajar con fotografías de distintos formatos y calidades e incluso mezclarlas en el mismo proyecto, tanto si se incluyen los parámetros de calibración de la cámara como si no. Además, incluye el módulo Calibration 4.0 para obtener los parámetros de calibración de una cámara. Además, dependiendo del tipo proyecto, pueden utilizarse pocas o muchas fotografías (modelos complejos o sencillos). El trabajo puede iniciarse con o sin puntos de apoyo y elegir que éstos sean fijos o variables (se pueden recalcular para mejorar su precisión si fueron tomados de forma poco rigurosa). Photomodeler Pro 4.0 puede generar modelos 3D de visualización rápida o modelos más complejos con resultados igualmente vistosos. Puede obtener modelos vectoriales mediante restitución y rectificación y además existe la posibilidad de incluir condiciones de contorno (constreñimientos geométricos) en el ajuste. Finalmente, permite la exportación de los modelos 3D obtenidos a otros formatos: DXF, VRML, JPG (imágenes rectificadas), etc.

3.2. Modelo matemático

El modelo matemático de autocalibración (mediante ajuste de haces) es el utilizado por PhotomodelerPro 4.0 y Calibración 4.0. En este último, es utilizado para obtener los parámetros de calibración de la cámara antes de iniciar un proyecto. En el caso de PhotomodelerPro4.0 es usado tanto para hacer calibración de la cámara durante el proyecto (orientación interna y refinamiento) como para realizar la orientación externa de una serie de imágenes de objeto cercano y permitir la restitución fotogramétrica del objeto.

3.2.1. Fundamentos de la Autocalibración. Modelo Matemático sin Refinamiento

Supongamos el caso de una fotografía no métrica. Por lo tanto, no conocemos la focal ni la posición del punto principal de mejor simetría. Tampoco disponemos de parámetros relativos a las distorsiones geométricas de las lentes ni de marcas fiduciales en dicha fotografía. En este caso es imposible llegar a obtener fotocoordenadas de la imagen.

En este caso, el planteamiento consiste en pasar directamente desde el sistema xyz (en azul), Sistema Instrumental con el que mediremos sobre la fotografía, al Sistema Objeto/Terreno $X'Y'Z'$ (en rojo) (figura 6).

Para simplificar, suponemos que medimos directamente sobre la imagen en la posición espacial determinada por el momento de la toma fotográfica. Como veremos más adelante, en imágenes digitales, hemos de pasar con anterioridad de coordenadas píxel a coordenadas instrumen-

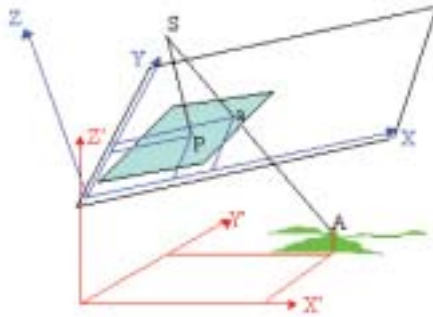


Figura 6

tales, es decir, un cambio de sistema de coordenadas. En el caso de la figura 6, el Sistema Instrumental comparte el plano **XY** con el de la imagen, pero el origen de coordenadas es distinto al origen de coordenadas de la imagen, que comúnmente será el punto principal (de mejor simetría). Éste es un caso frecuente al usar comparadores analíticos y semianalíticos. En el caso de imágenes digitales y uso de programas informáticos (como Photomodeler) podemos suponer que medimos directamente sobre la imagen. En este caso (como en el caso convencional de la condición de colinealidad), la relación angular entre el Sistema Instrumental y el Sistema Objeto/Modelo queda determinada por la matriz de rotación **R_{ij}**:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

siendo:

$$\begin{aligned} R_{11} &= \cos \varphi \cdot \cos \kappa \\ R_{12} &= \sin \vartheta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa + \cos \vartheta \cdot \sin \kappa \\ R_{13} &= -\cos \vartheta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa + \sin \vartheta \cdot \sin \kappa \\ R_{21} &= -\cos \varphi \cdot \sin \kappa \\ R_{22} &= -\sin \vartheta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa + \cos \vartheta \cdot \cos \kappa \\ R_{23} &= \cos \vartheta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa + \sin \vartheta \cdot \cos \kappa \\ R_{31} &= \sin \varphi \\ R_{32} &= -\sin \vartheta \cdot \cos \varphi \\ R_{33} &= \cos \vartheta \cdot \cos \varphi \end{aligned}$$

El desarrollo es igual al de la condición de colinealidad, exceptuando el hecho de que las coordenadas de entrada del punto principal de mejor simetría son ahora desconocidas (**x₀**, **y₀**). Tenemos así:

– En el espacio objeto:

$$\begin{bmatrix} X'_A - X'_0 \\ Y'_A - Y'_0 \\ Z'_A - Z'_0 \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} X'_A - X'_0 \\ Y'_A - Y'_0 \\ Z'_A - Z'_0 \end{bmatrix}$$

– Introduciendo la relación entre sistema instrumental y el sistema objeto:

$$\begin{bmatrix} x_s - x_0 \\ y_s - y_0 \\ z_s - z_0 \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X'_A - X'_0 \\ Y'_A - Y'_0 \\ Z'_A - Z'_0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_s - x_0 \\ y_s - y_0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot R_{ij} \cdot \begin{bmatrix} X'_A - X'_0 \\ Y'_A - Y'_0 \\ Z'_A - Z'_0 \end{bmatrix}$$

– Finalmente, dividiendo la 1ª y 2ª ecuación entre la 3ª, para eliminar el factor de escala:

$$\begin{aligned} \frac{x_s - x_0}{-f} &= -f \cdot \frac{R_{11}(X'_A - X'_0) + R_{12}(Y'_A - Y'_0) + R_{13}(Z'_A - Z'_0)}{R_{31}(X'_A - X'_0) + R_{32}(Y'_A - Y'_0) + R_{33}(Z'_A - Z'_0)} \\ \frac{y_s - y_0}{-f} &= -f \cdot \frac{R_{21}(X'_A - X'_0) + R_{22}(Y'_A - Y'_0) + R_{23}(Z'_A - Z'_0)}{R_{31}(X'_A - X'_0) + R_{32}(Y'_A - Y'_0) + R_{33}(Z'_A - Z'_0)} \end{aligned}$$

Donde las coordenadas en minúscula son coordenadas en el sistema instrumental y las mayúsculas en el sistema objeto/terreno.

3.2.2. Autocalibración. Método de Ajuste de Haces Usado por PhotomodelerPro4.0 y Calibration4.0

Este método es utilizado por PhotomodelerPro4.0 y Calibración4.0. En este último, es utilizado para obtener los parámetros de calibración de la cámara antes de iniciar un proyecto. En el caso de PhotomodelerPro4.0, es usado tanto para hacer calibración de la cámara durante el proyecto (orientación interna y refinamiento) como para realizar la orientación externa de una serie de imágenes de objeto cercano y permitir la restitución fotogramétrica del objeto. En cualquier caso, utiliza un modelo similar al que se estudiará a continuación.

Se trata pues de la transformación de un sistema bidimensional (imagen) a un sistema tridimensional (objeto). El método de Ajuste de Haces de rayos perspectivas consiste en resolver el siguiente modelo matemático:

$$\begin{aligned} \frac{x_s - x_0 + \Delta_x}{-f} &= -f \cdot \frac{R_{11}(X'_A - X'_0) + R_{12}(Y'_A - Y'_0) + R_{13}(Z'_A - Z'_0)}{R_{31}(X'_A - X'_0) + R_{32}(Y'_A - Y'_0) + R_{33}(Z'_A - Z'_0)} \\ \frac{y_s - y_0 + \Delta_y}{-f} &= -f \cdot \frac{R_{21}(X'_A - X'_0) + R_{22}(Y'_A - Y'_0) + R_{23}(Z'_A - Z'_0)}{R_{31}(X'_A - X'_0) + R_{32}(Y'_A - Y'_0) + R_{33}(Z'_A - Z'_0)} \end{aligned}$$

Este modelo difiere con el modelo general de Ajuste de Haces de Greshaw, esencialmente, en que en éste no se tienen en cuenta los factores de escala (λ_x, λ_y) que son los parámetros relativos a las deformaciones del material (película o soporte) y, en consecuencia, no se observan los dos parámetros asociados a éstos **fx** y **fy**.

Se puede asumir que todas las tomas se realizaron con la misma cámara y que las condiciones internas de ésta (fundamentalmente el enfoque) no varían de una toma a otra. Aunque Photomodeler puede trabajar con distintas cámaras y condiciones de enfoque diferente, para simplificar, y puesto que las tomas del proyecto reunirán las dos anteriores condiciones (misma cámara y mismo enfoque), sólo se estudiará este caso de forma más detallada.

El método de Ajuste de Haces puede ser usado para casos de múltiples tomas como si se tratase de un caso de aereotriangulación, incorporando al sistema las incógnitas correspondientes a los parámetros internos.

Un aspecto fundamental de este método es que permite reducir considerablemente el apoyo fotogramétrico, ya que permite la incorporación de puntos de paso, puntos que generan tres incógnitas cada uno, pero que permiten escribir dos ecuaciones por cada una de las imágenes en que aparecen.

Nº DE IMÁGENES	ECUACIONES	INCOGNITAS
106 IMÁGENES	P. Apoyos: 50 Ptos. ×2 Ecs. ×8 Imag.=800 Ecs.	Fijas: 0 Incog. (O. Interna y Refinamiento)
	P. Apoyos: 30 Ptos. ×2 Ecs. ×5 Imag.=300 Ecs.	
	P. Apoyos: 17 Ptos. ×2 Ecs. ×4 Imag.=136 Ecs.	
	P. Paser: 400 Ptos. ×2 Ecs. ×10 Imag.=8000 Ecs.	Variables: 6×106 Imágenes= 636 Incog. (posiciones cámara)
	P. Paser: 5000 Ptos. ×2 Ecs. ×5 Imag.=50000 Ecs.	
P. Paser: 8000 Ptos. ×2 Ecs. ×3 Imag.=48000 Ecs.		
P. Paser: 12600 Ptos. ×2 Ecs. ×2 Imag.=50400 Ecs.		
	De P. Paser: 26000 Ptos. ×3 Incog.=78000 Incog	
	Total: 157.636 Ecuaciones.	Total: 78.636 Incógnitas.
EL SISTEMA SE PUEDE RESOLVER (número de redundancias, r=79.000)		

Figura 7. Esquema del sistema de observación mediante ajuste de haces para calcular el modelo 3D final de la iglesia. Sistema compuesto por 157.636 ecuaciones para resolver 78.636 incógnitas

El sistema de observación mediante ajuste de haces, tras completar el modelo 3D de la iglesia, quedaría según la figura 7.

3.2.3. Calibración de cámaras

Photomodeler Pro 4.0 dispone de una sencilla aplicación para la calibración de cámaras llamada Camera Calibración 4.0. Basada en el mismo modelo matemático anterior, permite calcular los parámetros de la

Orientación Interna pertenecientes a la cámara (coordenadas del punto principal y distancia focal) así como algunos de los parámetros del refinamiento de coordenadas, concretamente la distorsión radial y tangencial de la lente.

Los parámetros así calculados, pueden ser utilizados posteriormente en el proyecto de restitución o modelado del objeto con PhotoModeler, facilitando éstos el cálculo de la orientación como consecuencia de la reducción de incógnitas en el sistema de observación. El uso de una sola cámara y un mismo enfoque para todas las imágenes tomadas facilitará el cálculo al programa.

Camera Calibration utiliza un sencillo banco de calibración, éste consiste en una malla bidimensional formada por 4 puntos de apoyo y 107 puntos de paso. De esta malla se conocen con precisión una serie de medidas que posteriormente serán requeridas por el programa (figura 8).

Realizamos una fotografía de esta malla lo más cercana al caso normal de toma fotográfica, midiendo la distancia entre el objetivo y el plano de la malla (figura 9).

Realizamos otras fotografías (el programa recomienda al menos 6) oblicuas convergentes de la malla desde distintas posiciones y giros de cámara respecto al eje principal.

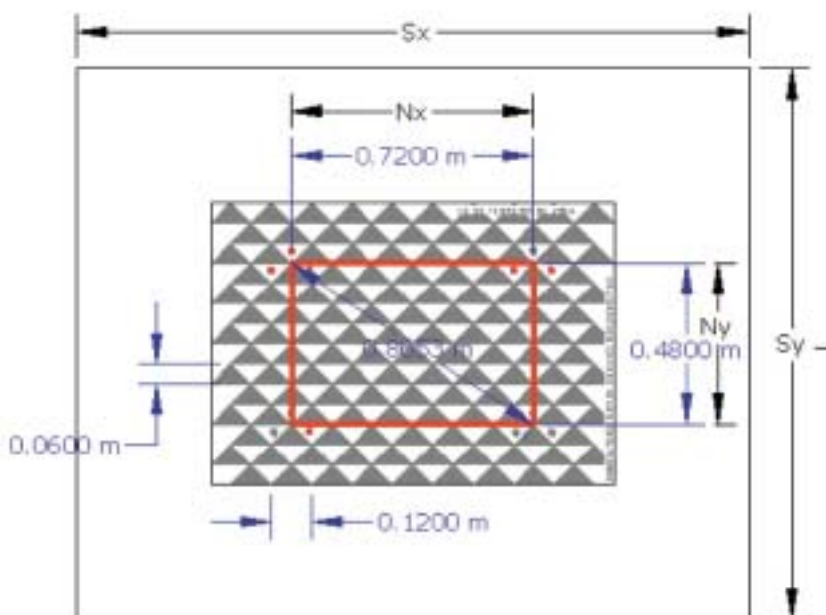


Figura 8. Banco de calibración usado para calibrar la cámara (Nikon Coolpix 4300)

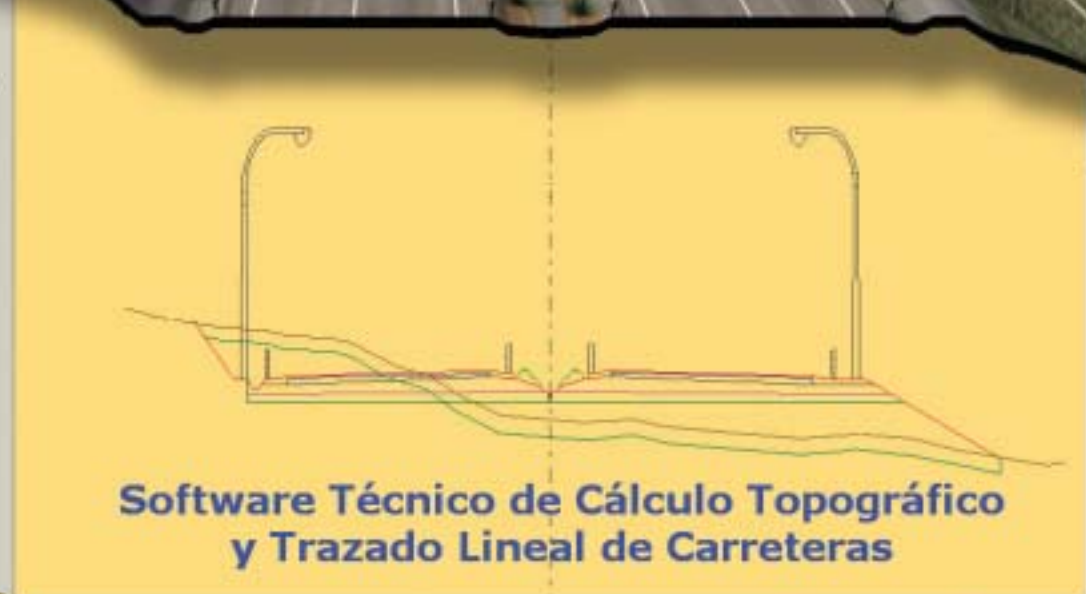
PROTOPO 6.0

DINAMISMO EN AUTOCAD



Cond. Trans. Val. Baza

Transversales
<input checked="" type="checkbox"/> 11600 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11610 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11620 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11630 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11640 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11650 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11660 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11670 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11680 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11690 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11700 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11710 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11720 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11730 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11740 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11750 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11760 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11770 000
<input checked="" type="checkbox"/> PROYECTO
<input checked="" type="checkbox"/> TERRENO
<input checked="" type="checkbox"/> VEGETAL
<input checked="" type="checkbox"/> BASE
<input checked="" type="checkbox"/> SUB-BASE
<input checked="" type="checkbox"/> EX-PLANACION
<input checked="" type="checkbox"/> FIRME
<input checked="" type="checkbox"/> BARRAS
<input checked="" type="checkbox"/> MOBILIARIO
<input checked="" type="checkbox"/> ADORNOS
<input checked="" type="checkbox"/> 11780 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11790 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11800 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11810 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11820 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11830 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11840 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11850 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11860 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11870 000
<input checked="" type="checkbox"/> 11880 000



Software Técnico de Cálculo Topográfico
y Trazado Lineal de Carreteras

Vértices | Transversales |

	Dist.	Cota	Perd.	C.Rosa	Ve	Código	Capa
1	22.563	618.670	0.00000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
2	18.633	619.670	0.00000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
3	18.633	618.770	0.00000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL
4	18.633	618.670	0.00000		<input checked="" type="checkbox"/>	Tabal de desvío	PROYECTO
5	16.700	618.967	0.00000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL
6	15.763	619.217	4.77280		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	TERRENO
7	15.763	618.967	0.00000		<input checked="" type="checkbox"/>	Sin código	VEGETAL

DISPONIBLE PARA
AUTOCAD
2005

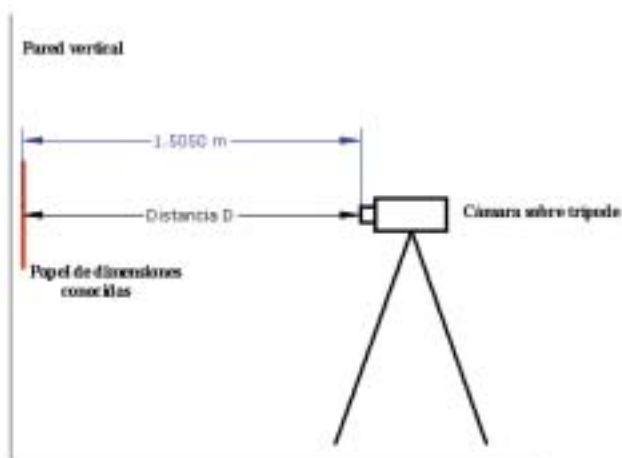


Figura 9. Caso normal de toma fotográfica

Con estos datos y fotografías podemos calibrar la cámara.

Los pasos a seguir son básicamente:

1. Inserción del tipo de cámara y parámetros aproximados de la cámara y del banco de calibración (focal, N_x , N_y y distancia objetivo- cámara)
2. Importación de imágenes para la calibración
3. Marcado manual de los cuatro puntos de apoyo sobre las imágenes (también marcas fiduciales si las hubiera)
4. Marcado automático de puntos de paso en todas las fotografías. Éstos son detectados y localizados por el programa y posteriormente el usuario puede modificar su posición si es necesario. Automáticamente también realiza una referenciación cruzada de puntos entre todas las imágenes.
5. Procesado del sistema de observación. Ajuste de haces. Cálculo de los parámetros de la Orientación Interna y del refinamiento de coordenadas.

Los resultados conseguidos pueden ser guardados en un archivo para ser utilizados como base del proyecto de restitución de los edificios.

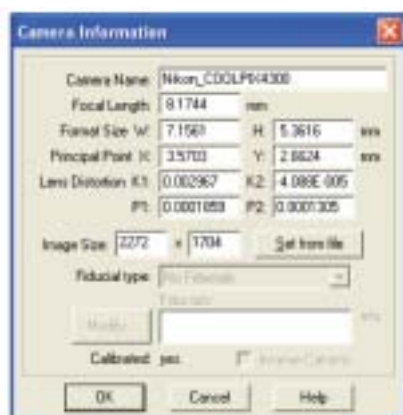


Figura 10. Resultados de la calibración de la cámara fotográfica

3.2.4. Toma fotográfica y Restitución

Las principales características de las tomas fotográficas para llevar a cabo el modelado 3D de los edificios mediante restitución fueron:

1. Misma cámara (Nikon Coolpix4300) y mismo enfoque (∞).
2. Mismas condiciones de iluminación, evitando contraluces y contrastes luz-sombra.
3. Solape entre fotografías contiguas superior al 20%.
4. Fotografías con la misma escala. Distancia al objeto similar.
5. Fotografías lo suficientemente cercanas para garantizar la precisión pretendida.
6. Evitar ángulos de convergencia muy agudos u obtusos, entre fotografías convergentes tomadas desde estaciones contiguas.
7. Toma fotográfica que garantice la cobertura total del objeto.

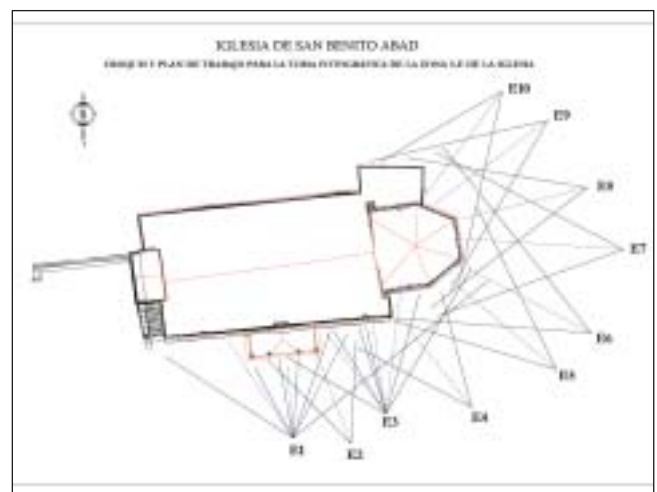


Figura 11. Plan de trabajo *a priori* para la toma fotográfica de la zona sureste de la iglesia

Además, antes de tomar imágenes de los edificios, se realizó un *plan de trabajo* para la toma fotográfica, teniendo en cuenta aspectos tales como (figura 12):

1. Precisión requerida
2. Cobertura del objeto
3. Ángulos de campo de la cámara (FOV, en horz. y vert)
4. Resolución espacial (tamaño y nº de píxeles de la imagen)
5. Escala de representación
6. Limitaciones en la toma fotográfica debidas a:
 - La propia geometría del edificio
 - La vegetación, visibilidad, tráfico, iluminación, etc.

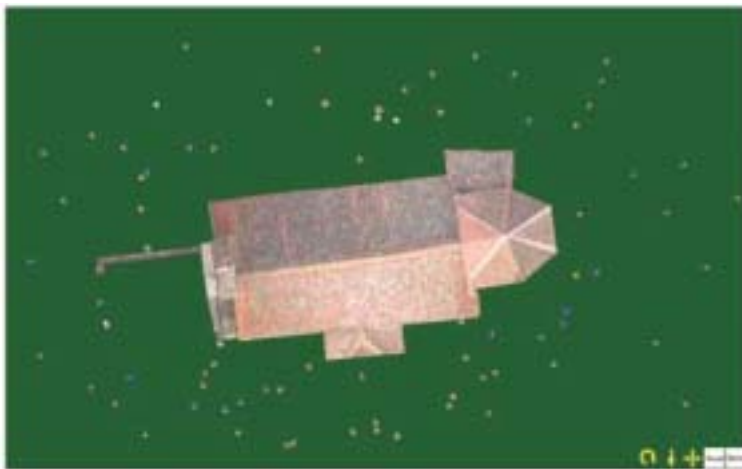


Figura 12. Vista superior con el visualizador 3D de Photomodeler de las posiciones de la cámara en el momento de toma (96 imágenes formaran el modelo)

El proceso de restitución consiste básicamente en la recuperación tridimensional de los puntos (o elementos del objeto) registrados sobre el plano imagen de al menos dos fotografías convergentes.

Puesto que la determinación tridimensional de un punto del objeto surge como consecuencia de la reconstrucción de los rayos fotográficos tras orientar las cámaras, nos encontramos ante un caso de intersección directa.

Como es lógico, la determinación de un punto mediante intersección directa estará afectada de un cierto error. Este error puede minimizarse o ser más sensible dependiendo de la geometría que tengan las cámaras en el momento de la toma, es decir, los ángulos de convergencia que forman los rayos de puntos homólogos que definen la posición 3D del punto a restituir.

Existirá en torno al punto restituído una zona de indeterminación elíptica en la que es más probable que se encuentre su verdadera posición. Estamos hablando de un concepto muy utilizado en los métodos topográficos de intersección y en la teoría de errores, la elipse de tolerancia.

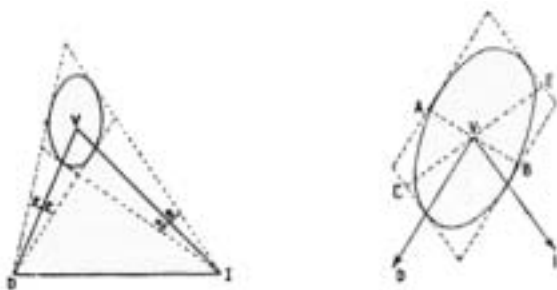


Figura 13. Elipse de tolerancia en el método topográfico de intersección directa

Por analogía con el caso de la restitución, en la figura 13 podemos suponer que los extremos de la base **DI** son las posiciones de dos cámaras en el momento de la toma fotográfica y las direcciones **DV** e **IV** son los rayos fotográficos que definen la posición de un punto en el espacio. Si cometemos un cierto error a la hora de marcar los puntos sobre las fotografías, este error hace que los rayos fotográficos se vean afectados de un cierto giro ϵ . Esto produce una superficie en torno al punto (delimitada por los cuatro rayos posibles) dentro de la cual podría darse la intersección. Ateniéndonos a la teoría de errores, podemos decir que la zona más probable en la que se puede producir la intersección de los rayos es dentro de la superficie de la elipse delimitada por los cuatro posibles rayos.

En el caso de la anterior figura, podemos ver que los rayos intersecan formando un ángulo agudo. Si suponemos que el punto **V** pertenece a una fachada paralela a la base fotográfica (**ID**), podemos observar que el error es máximo en la dirección vertical a la fachada (semieje mayor de la elipse) y menor en la dirección de la fachada (eje menor de la elipse). Si la intersección de los rayos formara un ángulo obtuso, entonces los errores máximo y mínimo materializados por los semiejes de la elipse se invertirían.

El caso óptimo es que el ángulo de intersección sea recto, en este caso (y si los rayos tienen la misma longitud) la elipse de tolerancia se transforma en una circunferencia, minimizando el error, tal como demuestra la teoría de errores.

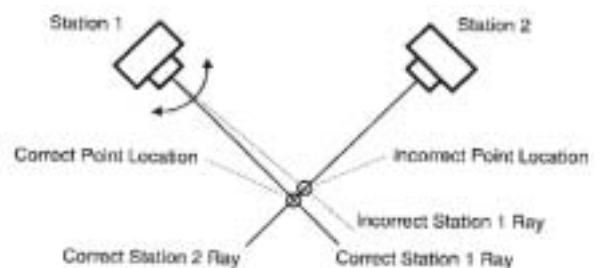


Figura 14. Error en la determinación de un punto en una de las imágenes cuando el ángulo de convergencia es óptimo

Por este motivo, durante la toma fotográfica hemos de intentar que el ángulo de convergencia entre los ejes fotográficos sea lo más parecido a un ángulo recto. Valores comprendidos entre 70° , 90° y 110° pueden garantizar una buena convergencia.

Conviene tener en cuenta que el error producido es un error de dirección en los rayos reconstruidos y como tal es función de la distancia. Cuanto más alejada esté la cámara del objeto, el error cometido en la posición de las coordenadas objeto (consecuencia de un desplazamiento al marcar un punto sobre la fotografía) será mayor.

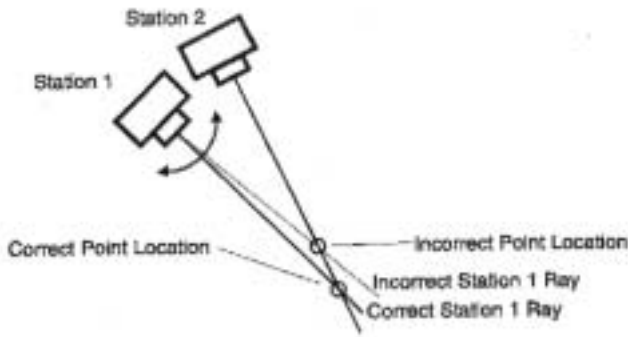


Figura 15. Error en la determinación de un punto en una de las imágenes cuando el ángulo de convergencia es muy agudo

Además de lo ya comentado, debemos sacar el mayor partido posible de las fotografías. Esto es, intentar en lo posible que en la mayor parte de la imagen aparezca el objeto.

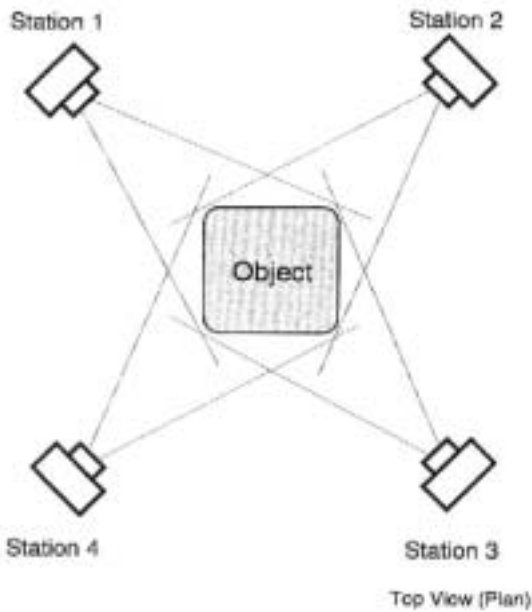


Figura 16. Aprovechamiento de imágenes diagonales

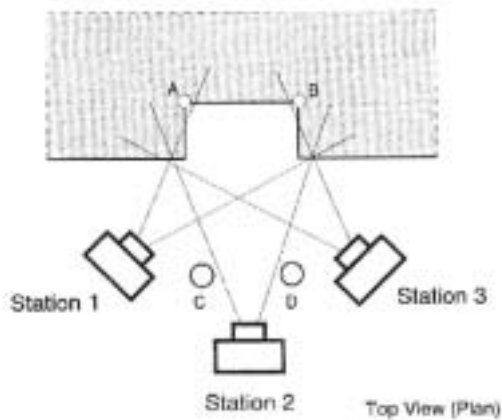


Figura 17. Aprovechamiento de imágenes sobre una fachada

Otro problema geométrico que debemos afrontar durante el proceso de toma es el que plantea la propia geometría del objeto. Rincones y lugares recónditos, como los huecos de puertas y ventanas, hacen que la propia geometría del objeto (paredes, muros, etc.) imposibilite ciertas tomas deseables tal como muestran las siguientes figuras:

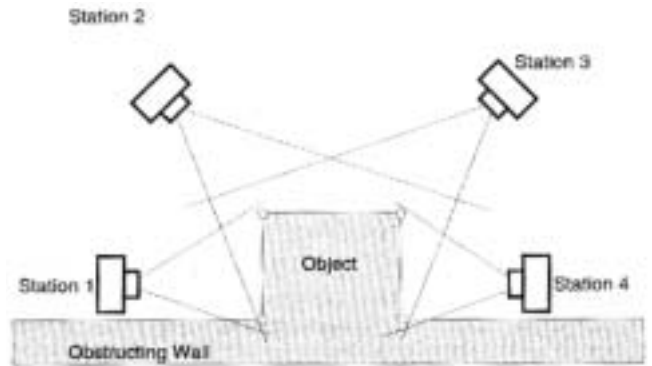


Figura 18. Limitación de la toma fotográfica ocasionada por la geometría del objeto

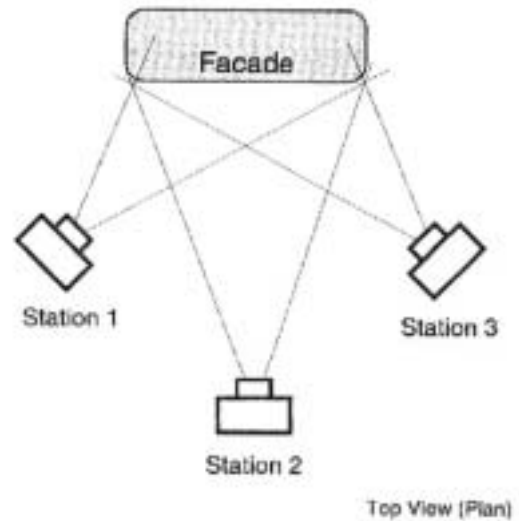


Figura 19. Limitación de la toma fotográfica ocasionada por la geometría del objeto. Caso similar al pórtico de la iglesia, donde C y D son columnas y la línea AB representa la puerta. I

Las dificultades geométricas comentadas han de ser consideradas tridimensionalmente. Hemos de considerar la altura de los edificios y la posibilidad de realizar tomas fotográficas de éstos a diferentes alturas. Si en un edificio alto sólo pudiésemos hacer fotografías desde la altura del fotógrafo, la zona superior del edificio quedaría afectada por una fuerte perspectiva en todas las fotografías y de una escala mucho menor que la de la parte inferior. Por otra parte, tampoco se podrían restituir sus tejados y otras partes de la geometría del objeto. El uso de grúas, plataformas, balcones de edificios, globos aerostáticos, etc. serán necesarios en ciertos edificios de altura considerable para garantizar una cobertura y convergencia fotográficas adecuadas.



Figura 20. Toma fotográfica de la torre de la iglesia a diferentes alturas

PhotoModeler será el programa utilizado para obtener los modelos 3D de la iglesia mediante restitución, estos modelos son fundamentalmente de dos tipos:

- *Modelo Vectorial 3D* (figura 26) compuesto por las líneas y puntos necesarios para definir toda la geometría de los edificios y elementos que lo componen (vectorización "piedra a piedra"). Este modelo estará formado por 106 fotografías, 96 puntos de apoyo, 26.000 puntos vectorizados y 24.000 líneas vectorizadas.
- *Modelo Visual 3D* (figura 27) compuesto por una red de triángulos planos que dan forma a los edificios. A estos triángulos se les asocia una textura fotográfica corregida de perspectiva (transformación proyectiva de la imagen) que permite una visualización realista del edificio. Dicha malla está compuesta por 2.800 triángulos.

Los pasos fundamentales para la elaboración del modelo 3D de la iglesia con este programa son:

1. Establecer las dimensiones aproximadas del objeto y las unidades de medida
2. Definición de cámara. Importación de archivo de calibración.
3. Importación de varias fotografías (4 ó 5) para iniciar el proyecto
4. Marcado y referenciación cruzada de puntos (e inclusión de puntos de apoyo)
5. Procesado de datos (orientación de fotografías iniciales)
6. Adquisición de nuevas fotografías, marcado de nuevos puntos, vectorización de líneas, puntos, etc. Reprocesado del modelo. Completado del modelo
7. Mediciones y exportación del modelo.

Los puntos de apoyo, calculados por métodos topográficos, serán introducidos en el proyecto desde el inicio de éste fundamentalmente por dos razones: primero, por que facilitarán el cálculo en el procesado del

proyecto en esta fase inicial, en la que apenas se conocen datos del objeto, aportando información al modelo matemático. La segunda razón es puramente geométrica. Al introducir puntos de apoyo del objeto con coordenadas tridimensionales conocidas y pertenecientes a un determinado sistema de coordenadas elegido por el usuario, conseguimos un doble objetivo: queda determinada la escala de objeto/modelo (escala 1:1 en este caso) y toda la geometría que vayamos representando estará en la posición y orientación que la corresponde. Esta forma de trabajar facilita la elaboración de un modelo complejo en varios ficheros independientes más sencillos, que posteriormente puedan unirse y procesarse juntos, ganando de este modo tiempo en el procesado de datos.

Por otra parte, los puntos de apoyo, que en el entorno de PhotoModeler son denominados como Puntos de Control, son utilizados, tal como su propio nombre indica, para que tanto el usuario como el programa puedan ir controlando la calidad de los resultados e incluso detectar errores y equivocaciones en el posicionamiento de puntos homólogos en distintas fotografías.

Otra característica de los puntos de control en el entorno del programa es la posibilidad de que éstos sean fijos o variables, es decir, sus coordenadas pueden permanecer fijas durante parte o todo el proceso de modelación 3D o, por el contrario, que éstas entren en el proceso de ajuste (modelo matemático) en el momento en que lo estime el usuario y sean recalculadas para alcanzar mejor precisión, si es que dichos puntos fueron tomados o calculados con métodos poco rigurosos o de baja precisión. En el caso que nos ocupa, los puntos de apoyo permanecen fijos durante todo el proceso.



Figura 21. Ventana de importación de puntos de apoyo en PhotoModeler

Pulsando Import podemos importar un fichero en formato DXF o TXT de los puntos de apoyo que hemos calculado con anterioridad o introducirlos manualmente. Si activamos la pestaña **Do not adjust these control** indicaremos al programa que estos puntos

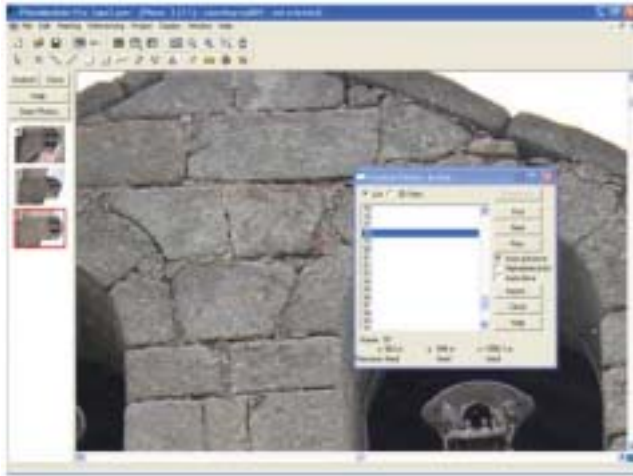


Figura 22. Marcado del punto de apoyo nº 78 sobre una fotografía del proyecto

permanezcan fijos en el procesado de datos, tal como podemos ver en la parte final de la siguiente ventana *precision: fixed* (figura 22).

Una vez hecho esto, podemos marcar en cada una de las fotografías del proyecto todos los puntos de apoyo que aparezcan, sin más que seleccionar el punto de apoyo deseado de la lista de la siguiente ventana y desplazar el cursor hacia una de las fotografías, para pinchar sobre ésta en el punto que define esta posición.

I. Marcado de puntos

Abrimos la fotografía sobre la que vamos a marcar los puntos y seleccionamos el botón *Point Mode* de la barra de herramientas superior. Vamos marcando puntos sobre la fotografía, que quedan representados con un aspa, tal como vemos en la figura 23. A la vez que vamos marcando estos puntos, el programa va numerándolos de forma automática.

Podemos seleccionar también la herramienta de dibujo de lí-

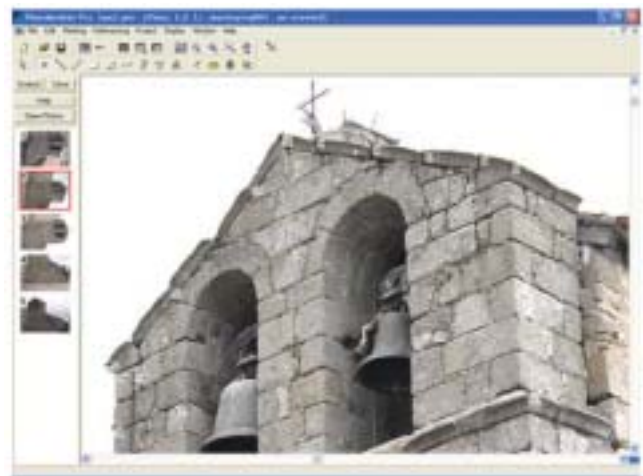


Figura 23. Marcado de puntos

neas *Line Mode* e ir vectorizando líneas del objeto. Las anteriores herramientas de vectorización también pueden ser abiertas desde el menú *Marking*.

II. Referenciación

Una vez marcados los puntos o líneas en una de las fotografías, el siguiente paso es referenciar éstos en el resto de las fotografías. Para ello utilizaremos el botón de la barra de herramientas *Reference Mode*. Esta herramienta abre un diálogo en el que podemos elegir la fotografía de origen y destino durante la referenciación (figura 24).

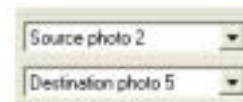


Figura 24. Diálogo de origen y destino durante la referenciación

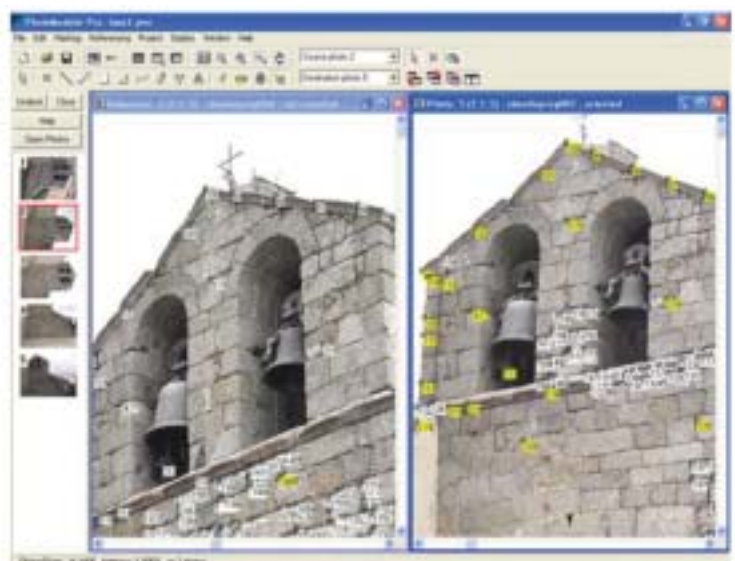


Figura 25. Imágenes de origen y destino durante la referenciación



Narváez
Topografía, S.L.

Servicio
Técnico Oficial



de Leica en
Valencia

SELECCIÓN DE PRODUCTOS

ECOSONDA PARA BATIMETRÍAS



GPS LEICA GPS Y GLONASS



Realizamos
sesiones
prácticas de
GPS
totalmente
gratuitas

ALQUILER
Ecosonda
para
batimetrías

NUEVOS MEDIDORES DISTO



Leica DISTO A2



Leica DISTO A6

Nuevas
instalaciones
en calle
Campoamor,
65-67 B

NIVELES LÁSER PARA LA CONSTRUCCIÓN

**RUEDAS
MEDIDAS**



CLAVOS



RUGBY 100

Alquiler y
venta de
material
topográfico

**ESTACIONES TOTALES
DE SEGUNDA MANO**



NA2/NAK2



NIVEL DIGITAL



CONSULTAR PRECIOS



963 711 698

Móvil: 608 067 396
Campoamor, 65 y 67
46022 VALENCIA

El origen y destino en la referenciación puede ser cambiado por el usuario hasta completar la referenciación de todas las fotografías.

Seleccionando los puntos en la imagen de origen con el ratón, al posicionarnos con éste en la imagen de destino nos permite ir referenciando uno a uno los puntos seleccionados en la imagen de destino.

Tras la referenciación, los puntos adquieren el mismo identificador (número) que su homólogo en otra imagen. De este modo, aunque un punto esté vectorizado en varias fotografías es considerado como un único elemento.

Los puntos ya referenciados aparecen en color amarillo durante este proceso, de modo que de un solo vistazo el usuario puede tener una idea del estado de la referenciación.

En esta primera aproximación, se recomienda que estos pocos puntos se referencien al menos en tres fotografías para dar mayor solidez al sistema. Sin embargo, en estados más avanzados del proyecto, cuando el número de fotografías aumenta, no es necesario que todos los puntos aparezcan en todas las fotografías. Algunos puntos serán referenciados en 10 o más fotografías, mientras que otros sólo estarán referenciados en 2, 3, 4, etc., según los casos y necesidades.

III. Procesado de Datos y Cálculo del Modelo

Hasta ahora, la información suministrada a PhotoModeler son básicamente las coordenadas instrumentales bidimensionales (coordenadas



Figura 26. Modelo vectorial 3D final de la iglesia

píxel) de una serie de puntos en distintas fotografías, así como las coordenadas instrumentales y coordenadas objeto de los puntos de apoyo.

Es en esta fase donde interviene la herramienta de cálculo basada en el ajuste de haces mediante la condición de colinealidad que utiliza PhotoModeler. Una vez procesados los datos, obtenemos coordenadas objeto (3D) de los elementos procesados, así como la orientación de las fotografías.

Hasta el momento el modelo estaba compuesto por unas pocas líneas y puntos. El sexto paso que propone PhotoModeler es el del completado del modelo, es decir, añadir nuevas fotografías, puntos, líneas, planos, etc.

IV. Renderizado del Modelo

Uno de los objetivos del proyecto es la obtención de un modelo 3D del objeto de cierta calidad visual. Con PhotoModeler podemos conseguir un resultado muy verosímil y realista del objeto modelizado.

Hasta el momento, habíamos conseguido un modelo 3D de la iglesia basado fundamentalmente en la vectorización de líneas y puntos sobre las fotografías que integran el proyecto, cuyo objetivo final era obtener un modelo vectorial de la iglesia en el que quedarán representados tanto la geometría básica como los detalles que componen las distintas fachadas: sillares, piedras, impostas, etc., y una vez exportado éste a un programa de CAD, elaborar planos vectoriales de las diferentes fachadas y vistas tridimensionales del conjunto del modelo vectorial.

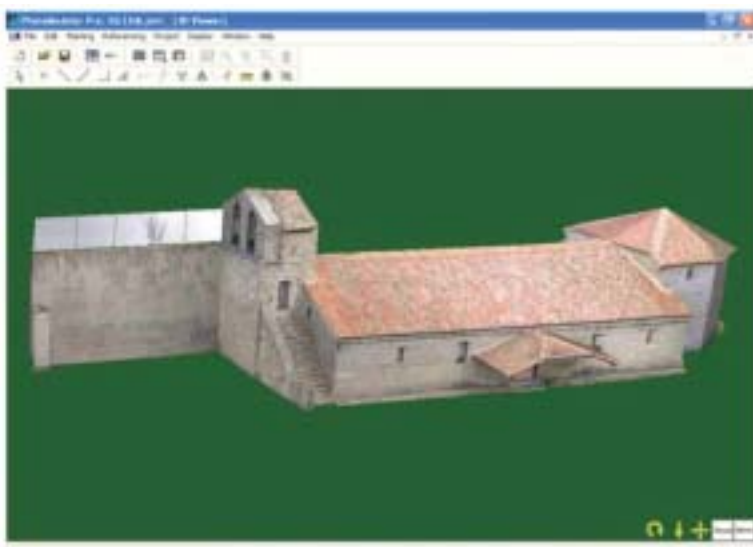


Figura 27. Modelo visual 3D final de la iglesia

Para llevar a cabo el proceso de renderizado del modelo, debemos establecer una malla de triángulos que se adapte a la geometría del edificio. En definitiva, se trata de cubrir todo el edificio de una "piel" cuya estructura básica es el triángulo. Los vértices de estos triángulos planos quedan definidos por puntos ya restituidos (que aparecen en el visualizador 3D). En la medida en que en este proyecto se han vectorizado la mayoría de los elementos que componen la iglesia y, en consecuencia, se han restituido más de 26.000 puntos y de 24.000 líneas, los vértices de los triángulos de la malla que dará forma al modelo van a ser parte de los puntos ya vectorizados.

3.2.5. Precisión del modelo 3D obtenido

La precisión en la restitución del modelo obtenido con PhotoModeler no es uniforme para todos los elementos vectorizados. Hay elementos y zonas del modelo en las que sus coordenadas 3D han sido calculadas con mayor precisión y zonas con menor precisión. En cualquier caso, podemos afirmar que el conjunto de elementos que definen el modelo ha sido creado con una precisión en la determinación de sus coordenadas de 0,005 % (podemos estimar en 5 mm la precisión media global del modelo).

La referenciación de puntos en diversas fotografías es uno de los factores que determinan la calidad del ajuste y, en consecuencia, la precisión del modelo. En la medida en que existen elementos del proyecto que han sido referenciados sólo en 2 ó 3 imágenes y elementos que han sido referenciados en un mayor número de fotografías, podemos suponer que la precisión de ambos no será igual. Además, hemos visto anteriormente otros factores que afectan a la precisión final conseguida en el cálculo del modelo y que pueden atenuarse más en ciertas partes del objeto que en otras. Un ejemplo puede ser las zonas arboladas en torno al edificio, que no permiten hacer unas tomas fotográficas más adecuadas de la geometría del edificio en una determinada parte del objeto.

El proceso de cálculo de PhotoModeler está basado en un modelo matemático linealizado cuya resolución se realiza mediante el cálculo iterativo correspondiente a la técnica de los modelos sobredeterminados y no lineales. Este sistema sobredimensionado es ajustado mediante el criterio de los mínimos cuadrados. La estimación de la precisión en el ajuste mínimo cuadrático está fundamentada en la matriz de residuos generada tras el ajuste. Puesto que este proceso es una parte oculta para el usuario y que tampoco es explicada en el Manual de Usuario del mismo, no podemos explicar con detalle cómo estima la precisión el programa.

En la figura 28 podemos observar que la precisión obtenida en las coordenadas x, y, z de los puntos está por debajo del centímetro en la mayoría de los casos. En el caso de los puntos que aparecen en la tabla,

Figura 28. Tabla de puntos del proyecto en PhotoModeler

pertenecientes a una fachada cuya dirección predominante es el eje x del sistema cartesiano utilizado, podemos observar que la precisión en la dirección perpendicular y es menor que en los ejes x y z. En la mayoría de casos la dirección perpendicular al plano de la fachada (la profundidad: en este caso el eje y) tendrá menos precisión que las otras dos. Continuando con el caso anterior, si realizamos dos fotografías convergentes de esta fachada, en el plano bidimensional que obtenemos en las fotografías predominan las direcciones xz, y es sobre este plano donde realizaremos la vectorización de los puntos. Bien sea por que los puntos no estén bien definidos en la imagen o por la limitación de la propia resolución de ésta, existirá siempre un error en torno al punto marcado en distintas fotografías. Este error en el marcado sobre los planos de las fotografías hace que los rayos perspectivas cuya intersección define el punto, se intercepten por detrás o por delante del plano de la fachada que contiene a este punto. En definitiva, su coordenada y será "incorrecta". Las tres coordenadas que definen el punto tendrán errores, sin

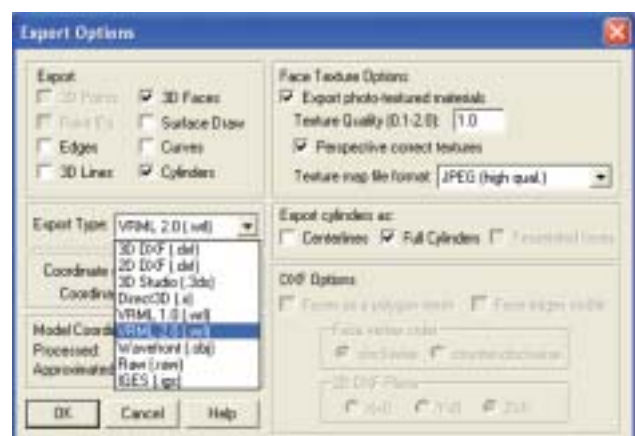


Figura 29. Menú de exportación del programa.

embargo la dirección y suele presentar un mayor error cuando la convergencia de los ejes fotográficos se distancia del caso óptimo de toma, el ángulo recto. La propia geometría del objeto y otras causas, muchas veces no permiten hacer una toma más conveniente.

Por otro lado, en las comprobaciones expeditas realizadas con las líneas medidas directamente en campo en zonas alejadas del apoyo, el error oscila entre 0 y 8 mm (en el peor de los casos).

Para finalizar este apartado relativo a la precisión del modelo, debemos decir que aunque hemos dado por concluido aquí el proyecto con PhotoModeler, este es un proyecto "vivo" y en el que se puede seguir obteniendo datos y mejorando la precisión.

Si fuese necesario determinar con mayor precisión alguna parte de la iglesia, esto podría hacerse, por ejemplo, referenciando en más fotografías más puntos de la zona deseada, incluyendo más puntos de apoyo en esa zona, etc. Puesto que se tomó un gran número de fotografías (superior al número de fotografías utilizadas) pueden incluirse en el proyecto para mejorarlo. Por lo tanto, si las necesidades del proyecto requieren mejorarlo puede hacerse en cualquier momento.

4. MODELO VECTORIAL 3D

Una vez construido el modelo, PhotoModeler Pro 4.0 permite la exportación de éste a otros programas. Esta opción puede gestionarse desde *Export Model* del menú *File* que da lugar al formulario con distintas opciones de exportación (figura 29).

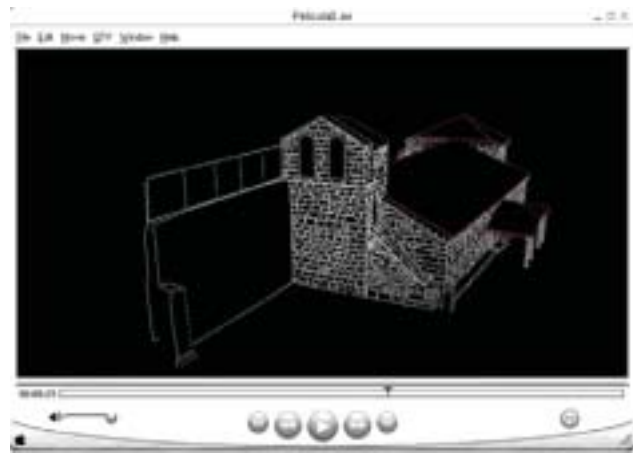


Figura 30a. Película en formato AVI, que muestra el modelo vectorial 3D

En este menú podemos elegir los elementos que deseamos exportar; precisión de la exportación, calidad de las imágenes a exportar, propiedades con las que exportar algunos elementos, etc.

Los modelos fueron exportados en formato 3D DXF en el caso del modelo vectorial, y VRML2.0 en el caso del modelo visual.

El modelo vectorial de la iglesia obtenido con PhotoModeler es exportado mediante DXF a un programa de CAD, a partir de éste se generaron los distintos planos de las fachadas de la iglesia, vistas isométricas

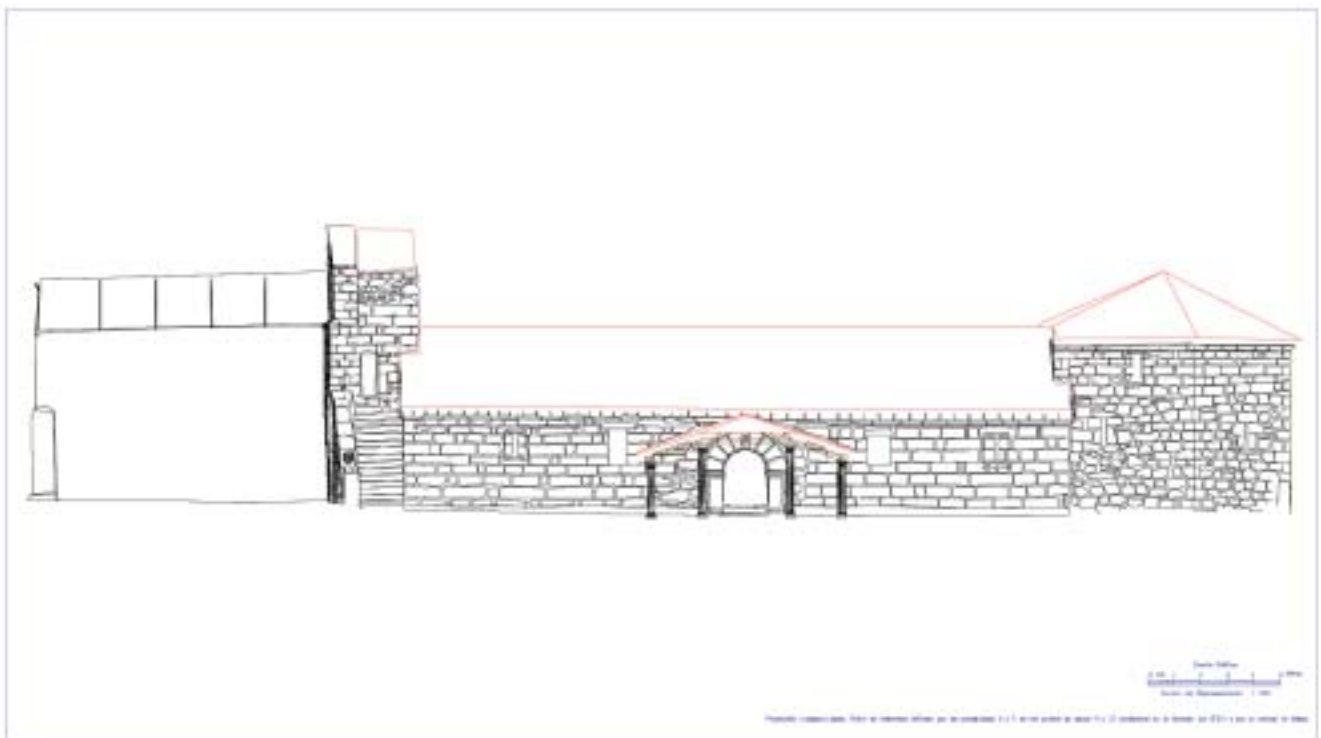


Figura 30b. Vista ortogonal sur del edificio obtenido del modelo vectorial 3D

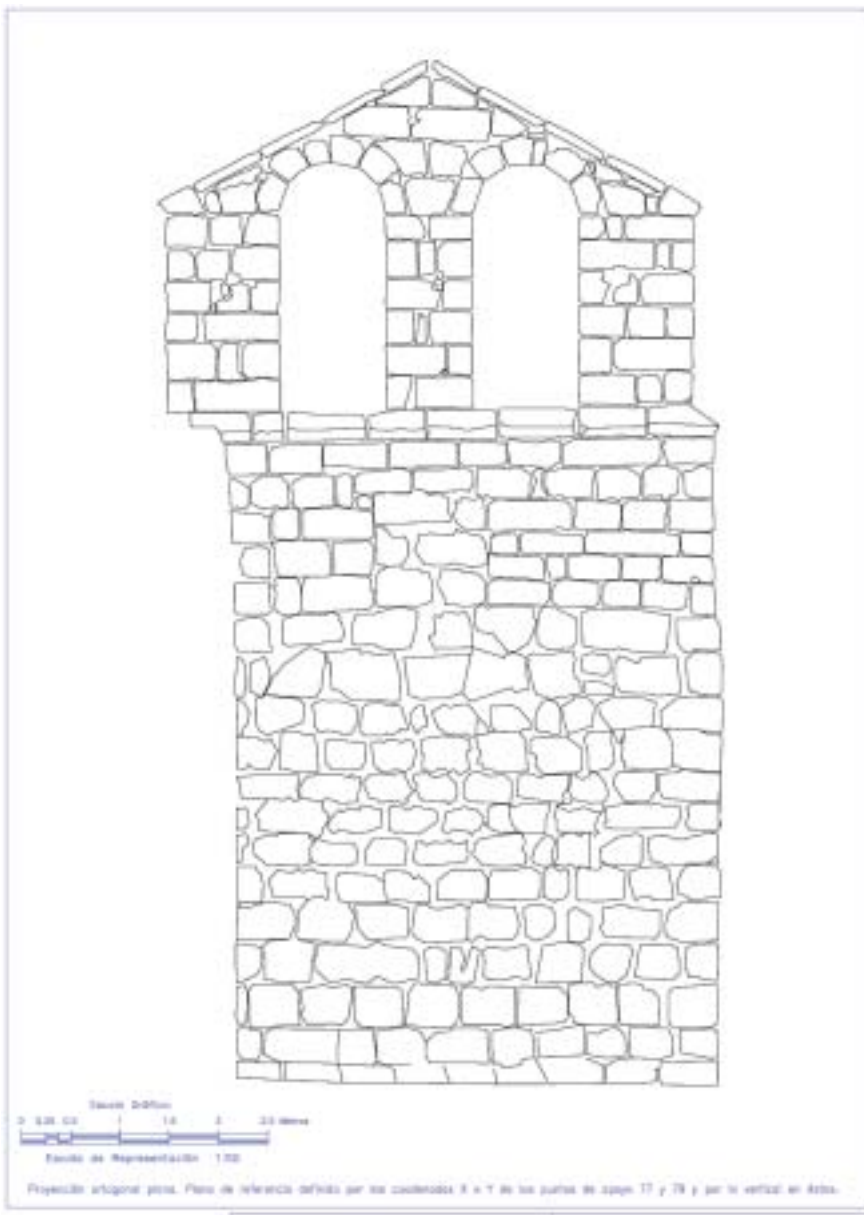


Figura 30c. Plano de la fachada del campanario obtenido del modelo vectorial 3D

cas y proyecciones ortogonales, películas animadas, etc. (figuras 30a, 30b y 30c).

5. LA ESCENA 3D. VRML 2.0

Uno de los objetivos de este proyecto es la generación de un modelo tridimensional virtual de la iglesia, la fragua y sus alrededores.

El MDT del terreno adquirido tras realizar el levantamiento topográfico de esta iglesia, dará forma al terreno sobre el que se levantan estos edificios.

Los modelos visuales tridimensionales del edificio de la iglesia, frontón y fragua, obtenidos a partir de PhotoModeler de forma independiente, así como el MDT obtenido con el programa MDT V 4.0, han de ser fusionados en un mismo espacio de trabajo para recrear el mundo virtual pretendido. VRML será el entorno de trabajo elegido para recrear esta escena tridimensional.

Como ya vimos, los modelos obtenidos con el programa PhotoModeler pueden ser exportados a VRML 2.0. Por otro lado, el modelo digital del terreno obtenido en el entorno de AutoCad también podemos exportarlo a VRML 2.0 usando otros programas intermedios, en este caso utilizamos 3dStudio (3ds max 5).

Para dar un mayor realismo al mundo virtual generado se introducirá mobiliario urbano, árboles y otros elementos presentes en la escena. Además, incluiremos animaciones en la escena que permitan visualizar los edificios de forma automática, vistas predefinidas, puertas que se abren, columpios que se mueven, sonido ambiente, sonidos en función de la proximidad a los elementos (sonido de campanas, martillazos de herrería), etc.

Conseguimos representar de forma realista y en una sola escena, tanto los edificios como el terreno en el que se encuentran. Además, podemos desplazarnos libremente sobre este mundo virtual e interactuar con él.

Una de las herramientas imprescindibles para visitar cualquiera de los mundos virtuales realizados con VRML es el denominado visualizador o navegador; se trata de un software que puede funcionar como un programa independiente o ser un *plug-in* (programa-añadido) de un navegador de Internet como Netscape Navigator o Microsoft Internet Explorer. Todos ellos tienen al menos tres características en común: visualizan presentaciones tridimensionales de un archivo VRML, también ofrecen algún mecanismo para cambiar el punto de vista del usuario dentro del mundo virtual y tienen algún medio para acceder a Internet. Uno de los más conocidos es Cosmo Player, que puede descargarse gra-

tuitamente de la dirección <http://cosmosoftware.com/products/player/>. Un navegador más potente es Cortona, también gratuito y que podemos encontrar en la dirección <http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/>.

Por otra parte, existen también editores o programas que permiten crear objetos y mundos virtuales. VRML es un lenguaje de descripción de escenas en el que cada escena se compone de objetos, éstos pueden ser elementos sólidos situados y orientados de determinada forma o elementos intangibles que afectan a la escena, como luces, sonido y distintos puntos de vista. Los objetos sólidos se codifican en VRML como listas de números que definen su forma, como conjuntos de coordenadas (x, y, z) y su tamaño. Los editores VRML ofrecen herramientas gráficas para crear los objetos y para añadir texturas y colores a su superficie. Los mundos virtuales creados con un editor se registran en archivos de texto, cuya extensión es WRL. También existe la posibilidad de utilizar programas de diseño gráfico, los cuales generan automáticamente archivos en formato VRML.

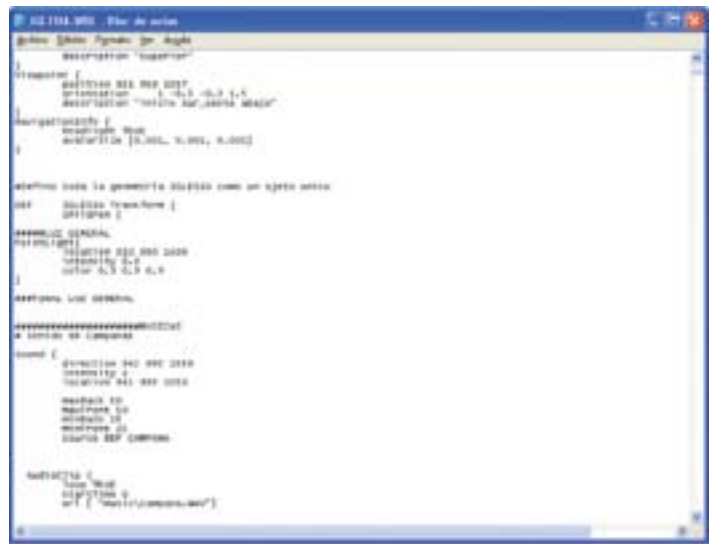
Estos archivos se componen de tres tipos de elementos: cabecera, comentarios y nodos. La cabecera de un archivo VRML 2.0 es: #VRML V2.0 utf8, donde VRML V2.0 indica el estándar empleado y utf8 autoriza el uso de caracteres internacionales. Los comentarios se escriben precedidos del símbolo #. El tercer elemento del formato es el nodo, se trata de la estructura mínima indivisible de un archivo VRML y tiene como misión la de definir las características de un objeto o bien las relaciones entre distintos objetos. La mayoría de los nodos pueden repetirse tantas veces como sea necesario en una escena, salvo una serie de nodos especiales, como los que definen la niebla o la panorámica del mundo virtual, que aparecen una sola vez.

No todos los nodos afectan al aspecto visual del mundo. Por ejemplo, existen nodos que actúan como sensores que detectan acciones del usuario e informan de ellas a otros objetos, y otros que se encargan de modelar los sonidos. Los nodos a su vez contienen campos que describen propiedades. Todo campo tiene un tipo determinado y no se puede inicializar con valores de otro tipo. De este modo, cada tipo de nodo tiene una serie de valores predeterminados para todos sus campos, de forma que cuando se utiliza en una escena sólo han de indicarse aquellos campos que se quieran modificar.

Aunque, como ya hemos comentado en los párrafos anteriores, existen varios editores de lenguaje WMRL que facilitan la creación de mundos virtuales, en este proyecto tan sólo hemos utilizado como editor el Bloc de Notas de Windows para la edición de la escena tridimensional.



Fragmento de archivo VMRL. Cabecera del archivo



Fragmento de archivo VMRL. Definición de puntos de vista, luz y sonido



Fragmento de archivo VMRL. Definición de geometría y texturas (IndexedFaceSet)

NUEVA VERSIÓN DE NUESTRA
ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL

Digi3D

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

NUEVO MÓDULO DE MDTOP PARA TRAZADO DE VIALES.

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

digi

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

digi

Nuevo OrtoBatch

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

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

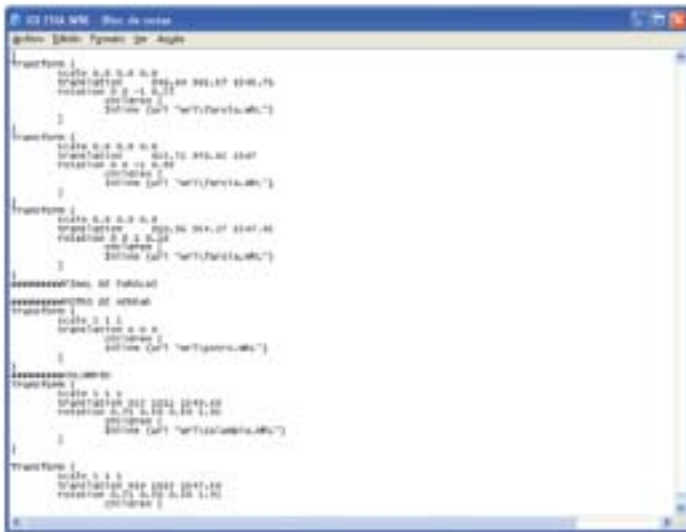
PLAN RENOVE

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

www.digi21.net

902 21 51 21

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



Fragmento de archivo VMRL. Uso de Transform para incluir otros archivos VRML creados a la escena

En este apartado se muestran algunos fragmentos del código utilizado para la elaboración de esta escena tridimensional.



Fragmento de archivo VMRL. Generación de la geometría y aspecto del sensor bola

A partir del DVD del proyecto que nos guiará a través del mismo, podremos seleccionar la visualización de escenas 3D y elegir alguno de los itinerarios VRML propuestos, de modo que al seleccionar una de las opciones abriremos un archivo en lenguaje VMRL, siempre y cuando hayamos instalado un navegador 3D con anterioridad (en este caso hemos usado Cortona 4.2) podemos ver el mundo virtual creado y movernos libremente por él o seguir una visita guiada.



Fragmentos de archivo VMRL. Definición de movimientos asociados a los sensores e inclusión de texto. Final de archivo.

Los modelos obtenidos con el programa PhotoModeler pueden ser exportados a VRML 2.0. Por otro lado, el modelo digital del terreno obtenido en el entorno de AutoCad también podemos exportarlo a VRML 2.0 usando otros programas intermedios, en este caso utilizamos 3dStudio (3ds max 5).

Para dar un mayor realismo al mundo virtual generado se introducirá mobiliario urbano, árboles y otros elementos presentes en la escena. Además, incluiremos: animaciones en la escena que permitan visualizar los edificios de forma automática, vistas predefinidas, puertas que se abren, columpios que se mueven, sonido ambiente, sonidos en función de la proximidad a los elementos (sonido de campanas, martillazos de herrería), etc.

Conseguimos representar de forma realista y en una sola escena, tanto los edificios como el terreno en el que se encuentran. Además, podemos desplazarnos libremente sobre este mundo virtual e interactuar con él.

Un paso inmediato a incluir en este entorno 3D es la conexión del modelo mediante sensores e hipervínculos a otra información de interés, como pueden ser imágenes de detalle que se visualizan al contactar en un determinado sensor aplicado en la propia geometría del edificio, visualización de la historia del edificio en formato HTML u otro, explicación de algún detalle o característica de ciertos elementos arquitectónicos, visualización de planos de detalle, acceso a otros modelos vinculados a éste, como, por ejemplo, la zona interior del edificio, medidas, información, otras conexiones con la web, etc.

A continuación mostramos algunas vistas desde el navegador Cortona 4.2 y una comparación con una imagen real:



Fotografía real de la iglesia



Modelo virtual de la iglesia tal como se visualiza en el navegador de VRML Cortona

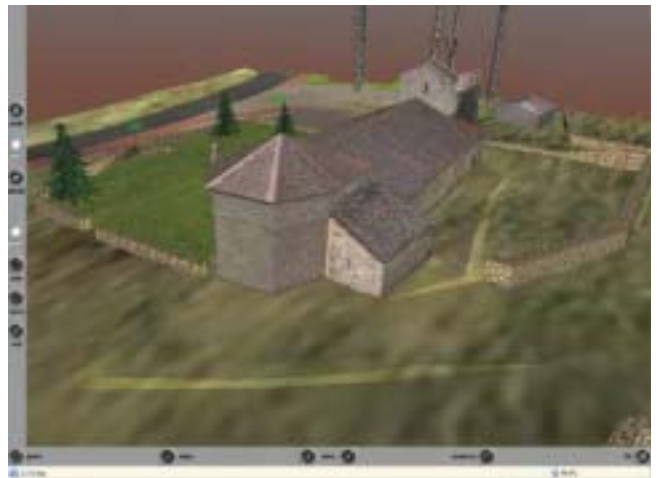






Figura 31. Aspecto de la página Web que arranca el DVD del (PFC)

6. DVD - ROM / HTML

Para poder mostrar el contenido de este trabajo de una manera dinámica a los posibles usuarios, se creo, en lenguaje HTML, un DVD de arranque automático que los guiará a través del proyecto, pudiendo acceder de una manera sencilla a cualquier dato o producto: memoria, fotografías, modelos 3D, visitas virtuales, planos, películas, explicaciones, apuntes, metodología de trabajo, ficheros, reseñas de puntos de apoyo, historia de la iglesia, etc. (figura 31).

Este DVD integra, de forma ordenada, todos los contenidos del trabajo en una página web accesible si se dispone de un simple navegador; como puede ser Internet Explorer.

7. RESUMEN / CONCLUSIÓN

Este artículo pretende poner de manifiesto la potente herramienta que ofrece el programa Photomodeler Pro 4.0 para obtener modelos tridimensionales de alta calidad, permitiendo el uso de cámaras digitales convencionales (o de cualquier otro tipo) que pueden ser calibradas mediante un software sencillo.

A través de él pueden obtenerse modelos 3D métricamente rigurosos aplicables a campos tan diversos como la arquitectura, ingeniería, industria, conservación del patrimonio, accidentes, educación, turismo, etc. Los modelos obtenidos, más o menos complejos según el caso, son definidos en el programa básicamente por líneas, puntos, planos, cilindros y curvas en forma de coordenadas 3D. Éstos pueden ser exportados a otros programas. Además, la aplicación de una potente herramienta de renderizado de las superficies del objeto y la asignación de fotografías reales rectificadas sobre estos planos, permiten al usuario la obtención

de productos cartográficos de un a gran calidad de acabado que no necesiten de un procesamiento posterior (DXF, VRML, imágenes rectificadas, planos, etc).

La versatilidad y sencillez características del software, el uso generalizado de cámaras digitales accesibles a todos los públicos y con mayores prestaciones, así como la calidad de los equipos informáticos domésticos, cada vez más potentes, suponen un acercamiento de la Fotogrametría a personas ajenas a esta disciplina. De igual modo, facilita el trabajo a técnicos que necesitan modelos o productos más rigurosos. Sirva como ejemplo los resultados obtenidos en la experimentación 3D llevada a cabo para este trabajo.

Para ciertos trabajos, como puede ser este caso, el empleo de este tipo de software, supone una económica y práctica alternativa de digitalización 3D frente a los costosos láser escáner terrestre (LST). Estos instrumentos se caracterizan por el registro masivo de información métrica 3D (nubes de puntos) generando grandes ficheros de datos, mientras que *Photomodeler* permite una discretización y selección de la información, que unido a la sencilla exportación de los modelos generados a código VRML facilita la difusión y visualización de los espacios tridimensionales (mundos virtuales) mediante Internet.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Fossi, I.; *Topografía Clásica*. Ed. Dossat S.A., Madrid 1960.
- Domínguez García-Tejero, F.; *Topografía General y Aplicada*. Ed. Dossat S.A., Madrid 1963.
- Ojeda Ruíz, J. L.; *Métodos Topográficos y Oficina Técnica*. Ed. El Autor; Madrid 1984.
- Lerma García, J. L.; *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- Schenk, T.; *Fotogrametría Digital*, Volumen I. Ed. Marcombo S.A. e Instituto Cartográfico de Cataluña, 2002.
- Gómez Lahoz, J., *AtuAire: Curso de Fotogrametría Analítica*. Universidad de Salamanca. 1999. (CD-Rom interactivo).
- Manual de Usuario. *User Manual PhotoModeler Pro 4.0*. Eos Systems Inc. En Inglés. (support@photomodeler.com). 2000.
- Gómez Lahoz, J., González Aguilera, D. *Curso de Modelizado 3D del Patrimonio*. Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, 2002.
- Jamsa, K., Schmauder, P., Yee, N. *VRML: Biblioteca del Programador*. Ed. MacGraw-Hill. Madrid, 1998.
- Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno. *Curso de Herramientas Internet para Cartografía 3D*. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad de Salamanca, 2002. ■

Uso de una Infraestructura de Datos Espaciales en el estado alemán de Renania-Palatinado para e-gobierno

Volker Emmel y Hartmut Müller

INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESPACIAL Y TOPOGRAFÍA

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS DE MAINZ (ALEMANIA)

Resumen

Este estudio ofrece una descripción del proyecto de investigación “Implementación de un SIG en el ámbito de la administración pública regional alemana”. El deseo de este proyecto es desarrollar un modelo conceptual para la implantación de un Sistema de Información Geográfica en las 24 autoridades locales que integran el estado federal de Renania-Palatinado, en la República Federal de Alemania. En la actualidad, nuestro instituto está efectuando este trabajo en una experiencia piloto. Los resultados obtenidos mediante esta experiencia piloto, se extenderán a las otras 23 autoridades locales de forma gradual. Un aspecto crucial es que cada una de las 24 autoridades locales parte de un estado de desarrollo de su tecnología de la información distinto y tiene unas necesidades algo diferentes. Algunas de ellas ya emplean un SIG, en tanto que otras emplean datos espaciales con diferentes estructuras y, además, existe una gran variedad de estructuras organizativas, etc. La finalidad del proyecto es desarrollar una especificación de los requisitos, que sea la más adecuada posible, para servir de base para un procedimiento de concurso público, en tantas unidades organizativas como sea posible. El proyecto comenzó en julio de 2003 y su etapa inicial concluyó en diciembre del 2004.

Abstract

This case study contains a description of the research project “GIS implementation at the German regional public administration level”. The ambition of this project is to develop a conceptual model for the implementation of a GIS at the 24 local authorities which cover the complete federal state Rheinland-Pfalz of the Federal Republic Germany. Actually, our institute is doing that work for one pilot authority. The results obtained with the pilot will be disseminated to the other 23 local authorities step by step. One crucial point is that every local authority starts from a different point of IT development and has slightly different requirements. Some of them already use a GIS, some others use spatial data with a different structure, a variety of organisational structures is existing, and so on. The goal of the project is to develop a requirement specification which will be suited to serve as the basis for one tendering procedure for as many organisational units as possible. The project started in July, 2003 and will in its first stage end in December, 2004.

I. NIVELES EN UNA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES

El término Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) incluye las políticas, normas y disposiciones institucionales que intervienen en la entrega, a todos los usuarios potenciales, de cualquier información espacial procedente de todas las fuentes de datos disponibles. Una IDE ofrece una base para el descubrimiento, evaluación y descarga de datos y aplicaciones de datos espaciales a usuarios y proveedores de todos los niveles de gobierno, así como del sector comercial, del sector de las empresas sin afán de lucro, del sector académico y del público en general.

En la actualidad, son muchas las iniciativas regionales y nacionales encaminadas en este sentido. De acuerdo con Smit y alumnos (2002), la mayoría de estas iniciativas están muy en línea con la norma ISO/TC211 y con los desarrollos del OpenGIS Consortium. La Infraestructura de Datos Espaciales de Europa (INSPIRE) se creó para conseguir que las IDE Regionales y Nacionales fuesen interoperativas. Uno de sus productos consiste en un modelo de arquitectura de referencia y unas normas de base, propuestas en un escrito del Grupo de Trabajo de Arquitectura y Estándares (AST).

INSPIRE es la gran iniciativa actual de la Comisión Europea para promocionar la disponibilidad polivalente de información geográfica. El motivo de esta iniciativa es apoyar las políticas de la Comunidad Europea

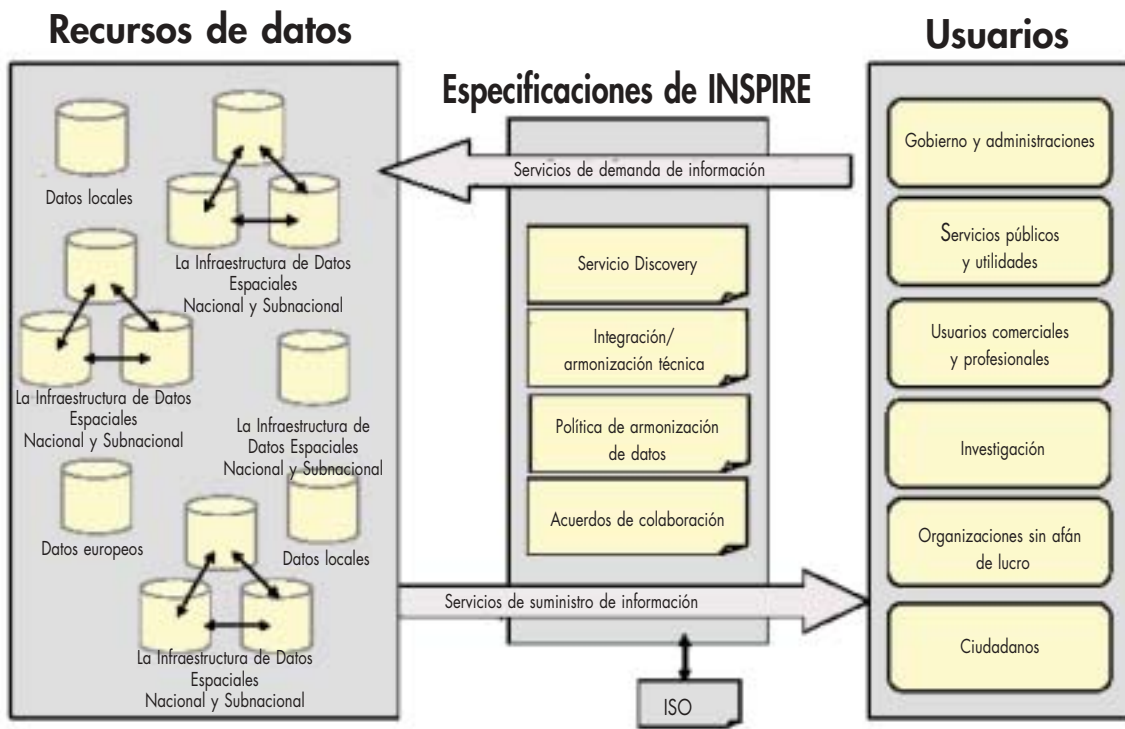


Figura 1: Flujo de información de INSPIRE (Smits y alumnos 2002)

que tengan un impacto o una dimensión territorial. Se pretende que INSPIRE aborde las normas técnicas, así como los aspectos organizativos, de protocolos y de coordinación, y se encargue de los temas de las políticas de datos, incluyendo el acceso a los datos y la creación y mantenimiento de la información espacial, en el contexto de la Infraestructura Europea de Datos Espaciales. La visión de INSPIRE esboza una IDE que afecte a todos los recursos de datos en el ámbito europeo y a los niveles nacional, regional y local. La iniciativa INSPIRE se relaciona incluso a un ámbito mundial con otras iniciativas relevantes, tales como los trabajos relacionados con la Infraestructura Global de Datos Espaciales (GSDI). Por tanto, los principios de INSPIRE deben ser tenidos en cuenta, a todos los niveles, en cualquier implantación de una IDE.

En un ámbito subnacional o regional, una de las principales metas es procesar toda la información geográfica relevante, ligándola conjuntamente con la información disponible en los dos niveles administrativos adyacentes, es decir, con la del nivel nacional por un lado y con la del nivel local por el otro. Se deben elaborar con detalle las necesidades de todos los usuarios potenciales, en lo que respecta al acceso a los datos transformados, imágenes, mapas, informes y contenidos multimedia, a la búsqueda y recuperación de metadatos de datos y servicios y al acceso a los datos incluidos en diversos distribuidores, localizados en diferentes servidores de datos geospaciales.

Los siguientes apartados describen un proyecto de implementación de una IDE en un ámbito regional. Se presta especial atención a la situación del estado federal alemán de Renania-Palatinado.

2. EL ÁMBITO REGIONAL EN LA REPÚBLICA FEDERAL DE ALEMANIA

2.1. Antecedentes

La República Federal de Alemania consta de 16 estados o Länder. Uno de estos estados federales es Renania-Palatinado, que cuenta con 4 millones de habitantes. Renania-Palatinado consta, a su vez, de 24 áreas o distritos rurales.



Figura 3: Formación administrativa del estado de Renania-Palatinado



Figura 4: El área de Renania-Palatinado, en base a la notación del nivel NUTS 3

El Nomenclátor de Unidades Territoriales para Estadística (NUTS) fue establecido por el Organismo Estadístico Europeo (Eurostat) con el fin de suministrar una desagregación única y uniforme de las unidades territoriales, a efectos de la producción de estadísticas regionales para toda la Unión Europea. Cada territorio de NUTS dispone de un código alfanumérico integrado. Los *Länder* alemanes forman parte de los territorios NUTS de nivel 1 de la República Federal de Alemania, lo mismo que sucede con las áreas o distritos rurales alemanes que conforman los territorios NUTS de nivel 3. La implementación de un SIG se ha planificado en cada uno de los 24 distritos rurales (NUTS 3) que constituyen Renania-Palatinado (NUTS 1).

Los trabajos de las autoridades locales, una en cada distrito rural, son muy complejos. Varios cientos de empleados se ocupan de las necesidades de los ciudadanos en lo concerniente a casi todas las esferas de la vida: educación, deportes, protección civil, conservación de la naturaleza, preservación de monumentos antiguos, inspección de edificios, permisos de circulación de vehículos a motor; seguridad social, temas de juventud, decretos, etc.

El estado federal de Renania-Palatinado, al igual que el resto de la República Federal de Alemania, se enfrenta a dos grandes retos; debe operar con menos dinero y, a su vez, debe mejorar el servicio al ciudadano y la economía del país. La intención es lograr que la administración pública moderna sea eficaz y transparente, que consiga más logros y que

cueste menos. Uno de los pasos en esta dirección es la implantación de un SIG, que es lo que demanda la IDE.

En el pasado, las autoridades locales hubieran invertido, si lo hubiesen hecho, en sistemas capaces de trabajar con datos estructurados únicamente dentro de la unidad cerrada de cada autoridad local.

La información importante, que es primordial para estas organizaciones, se encuentra disponible bajo una amplia gama de formatos diferentes y está siendo mantenida al día en diversos tipos de sistemas, como servidores de datos espaciales, servidores de redes polivalentes, bases de datos o incluso bajo forma analógica, como hojas o mapas sobre papel. De acuerdo con un estudio del grupo Delphi: "los trabajadores de las administraciones públicas pasan el 30% de su tiempo buscando información".

El gobierno del estado federal de Renania-Palatinado intenta promover la implementación de un SIG, en el contexto de una solución global para el e-Gobierno.

2.2. Motivación

Se ha efectuado un contrato entre el LVerGeo Renania-Palatinado y las autoridades locales. Existe una autoridad regional que es responsable de la provisión de los datos básicos geoespaciales del estado y que se denomina LVerGeo Renania-Palatinado. En el año 2002, LVerGeo Renania-Palatinado firmó un contrato con la Landkreistag Renania-Palatinado, que es la organización "paraguas" de las 24 autoridades locales del estado federado.

De acuerdo con este contrato, las autoridades locales tienen licencia para utilizar todos los datos básicos geoespaciales de la administración pública disponibles en:

- El Registro Automatizado de Propiedades (ALB), que incluye información acerca de las parcelas de terreno (por ejemplo: clave numérica, localización, tipo de propiedad, pertenencia, etc.)
- El Mapa Automatizado de Propiedades (ALK), que incluye información acerca de los límites catastrales, las parcelas, el uso del suelo, las edificaciones, las características topográficas especiales, la numeración de las casas, etc.
- Los Modelos Digitales del Entorno y Paisaje (DLM)
- Los Mapas Digitales Topográficos (DTK)
- Los Modelos Digitales del Terreno (DGM)
- Las Ortofotos Digitales (DOP).

En el pasado, cada autoridad local debía pagar una tasa de licencia específica a LVerGeo Renania-Palatinado por cada conjunto de datos que necesitaba. Como resultado del actual contrato, consiguen todo los datos que desean por una suma cerrada, que se transfiere anualmente desde su organización "paraguas" a las autoridades que suministran los datos geoespaciales.

Medición sin prisma 600 m.

Servoasistido MagDrive

Tecnología MultiTrack

Precisión SurePoint

Sistema Robótico



Distribuidor Autorizado

Trimble S6. La exclusividad a su alcance

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

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

al-top
TOPOGRAFIA

3. METAS A ALCANZAR

La meta de este estudio es desarrollar un modelo conceptual en el que se esquematicen los procesos empresariales de la autoridad local, en tanto estén directamente relacionados con temas de SIG. El beneficio y el potencial de aplicación de un SIG quedarán claros en la documentación y en el análisis de estos procedimientos empresariales.

El modelo conceptual ha de ser compatible con las normas ISO y con las recomendaciones del OpenGIS Consortium. ISO, en su papel de organización internacional de normalización, es una red de institutos nacionales de normalización de 147 países que trabaja en asociación con organizaciones internacionales, gobiernos, industria y representantes de empresarios y consumidores. El OpenGIS Consortium (OGC) es una asociación mercantil, sin afán de lucro y dirigida por sus miembros, que está dirigiendo el desarrollo de una normativa para la interoperabilidad de los geoprocursos.

Se asumió que las 24 autoridades locales estaban empleando idénticos procesos empresariales, lo que, entretanto, ha demostrado ser cierto.

El proyecto desarrolla una estrategia para la implantación de un SIG en una autoridad local que sirva de ejemplo. Este tipo de estrategia debe poder permitir una construcción modular del SIG. Los requisitos de esta solución serán descritos con detalle en un conjunto de especificaciones. Estas especificaciones servirán posteriormente de base para los concursos.

Mediante esta construcción modular se logrará que los resultados del estudio ayuden a aquellas autoridades locales que:

- no dispongan aun de un SIG en uso
- que ya empleen un SIG y deseen optimizarlo
- que ya empleen un SIG y deseen desarrollarlo para otros usos.

Esto asegura que todas aquellas autoridades locales a las que se destina el estudio puedan beneficiarse del proyecto, independientemente del estado en el que se encuentren en el desarrollo de su SIG. Otro punto de interés del estudio es el de desarrollar una estrategia acerca de cómo construir una IDE para la cooperación y el intercambio de datos entre las propias autoridades locales por un lado y entre las autoridades locales y otras organizaciones de la administración pública por otro. Todos los datos espaciales existentes deben ser integrados en el proyecto.

4. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

La primera etapa del proyecto tiene una duración de 18 meses y será financiado por el Landkreistag Renania-Palatinado, que es la asociación local central.

En esta etapa se seleccionó a una de las 24 autoridades locales como autoridad local piloto, realizando en ella el Instituto de Información Espacial y Tecnología Topográfica de la Universidad de Mainz las tareas de cada punto del plan de trabajo, presentando los resultados del trabajo cada tres meses a un grupo encargado del proyecto, el cual consta de 22 miembros expertos. Este grupo de expertos está formado por trabajadores de aquellas autoridades locales que ya tienen experiencia en las tareas de desarrollar y mantener una Infraestructura de Datos Espaciales. El grupo es responsable de efectuar una auditoría continua de los resultados alcanzados, con el propósito de conseguir unos resultados transferibles desde la unidad piloto a las 23 autoridades locales restantes.

Tras haber pasado la auditoría del grupo del proyecto, los resultados se presentan en un pleno del SIG cuatro semanas más tarde. El pleno del SIG consta de unas 50 personas, entre las que hay dos responsables de cada una de las autoridades locales afectadas. Los miembros de este grupo transfieren los resultados del estudio a sus propias autoridades locales.

5. PLAN DE TRABAJO PRINCIPAL

El siguiente modelo de proceso define las fases del plan de trabajo del proyecto:

Análisis del sistema, que incluye:

- Planificación estratégica
- Campos actuales de investigación y análisis
- Modelado conceptual

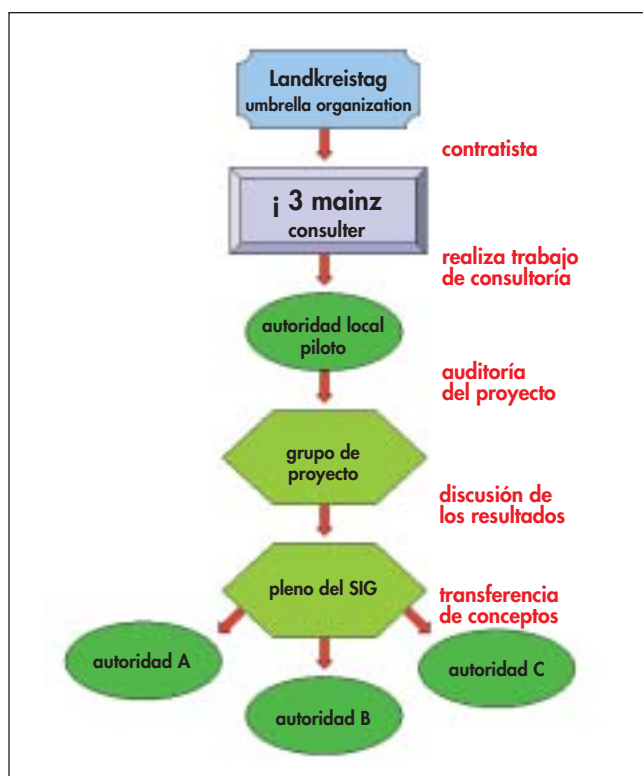


Figura 4: Gráfico de la organización del proyecto

- Conceptos profesionales
- Conceptos de la Tecnología de la Información
- Análisis de costes-beneficios.

Elección del sistema, que incluye:

- Concurso público
- Evaluación de las ofertas
- Test funcionales
- Evaluación y recomendación del sistema.

Implementación del sistema, que incluye:

- Instalación y aceptación del sistema
- Adquisición y migración de datos
- Uso del sistema.

6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA ACTUALIDAD

En el momento de escribir este artículo se encontraban en progreso las siguientes actividades:

Análisis de sistema-planificación estratégica:

El estudio se realiza en cooperación conjunta con el grupo de proyecto. Todos los documentos elaborados se recogerán y archivarán, con el fin de generar unas directrices válidas, a medio y largo plazo, para la implantación de un Sistema de Información Geográfica en Renania-Palatinado, República Federal de Alemania.

Análisis del sistema-investigación de campo y análisis:

En primer lugar, la autoridad local de Bernkastel-Wittlich fue escogida como autoridad local piloto. La autoridad local piloto consta de 20 departamentos. Al igual que en un medio de producción, los resultados del trabajo de una unidad administrativa pueden etiquetarse como “productos”. Cada departamento es responsable de una lista específica de tales “productos”.

La investigación de campo se basa en los “productos” como elemento principal. Las razones fueron que:

- El significado del término “producto” quedase bien establecido y fuese bien comprendido en todas las unidades
- Los resultados del proyecto obtenidos en los “productos” pudiesen ser transferidos fácilmente a las otras 23 autoridades locales, ya que los emplearían también.
- Los “productos” han de estar bien escogidos, para demostrar el potencial de la aplicación del Sistema de Información Geográfica.

En conjunto, se identificaron 170 “productos” distintos. Por ejemplo, son “productos” los siguientes temas:

- *Turismo*: En apoyo del turismo de la región
- *Administración de edificios*: Gestión de los edificios propiedad de la autoridad local
- *Finanzas*: Obtención de créditos, aval de créditos, estadísticas financieras
- *Trabajos en carreteras*: Que aseguran el mantenimiento de las carreteras
- *Tráfico*: Organización de los autobuses escolares, tráfico público
- *Cargas pesadas*: Control de las cargas pesadas que atraviesen la región
- *Prevención de infecciones*: Para evitar enfermedades infecciosas
- *Regulación del uso del suelo*: Control del uso del suelo en la región
- *Arquitectura paisajística*: Garantizar el armonioso desarrollo de las ciudades y los pueblos
- *Protección de especies*: Protección de los hábitats de la vida natural
- *Control del agua potable*: Para asegurar la calidad del agua potable
- *Subsidios agrarios*: Distribución de subsidios especiales a los agricultores.

Para poder analizar los requisitos de los usuarios de todos estos “productos”, se confeccionaron dos cuestionarios.

6.1. Cuestionario I

El cuestionario I da una visión general acerca de los “productos”. Para todos los “productos” se incluyen las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la finalidad del producto?
- ¿Qué datos son usados?
- ¿Cómo se define la referencia espacial de los datos?
- ¿Qué programas informáticos se van a implantar?
- ¿Qué formatos se van a emplear?
- ¿Existe un SIG o un SIG-online en uso?
- ¿Es posible el soportar este producto mediante una aplicación de SIG?
- ¿Es posible utilizar los datos básicos geoespaciales suministrados por LVerMGeo Renania-Palatinado?
- ¿Qué otras autoridades locales toman parte en los resultados?
- ¿Cuántas personas tienen acceso a los datos?
- ¿Existen problemas especiales?

Después de completar las encuestas, los “productos” se agruparon en cinco categorías, con el fin de tener una idea inicial del potencial SIG existente. Dichas categorías son las siguientes:

- Ya existen datos espaciales – ya hay aplicaciones de SIG en uso
- Ya existen datos espaciales – los usuarios potenciales están claramente identificados – la máxima prioridad para su implantación
- Ya existen datos espaciales – la prioridad de su implantación depende del análisis de costes-beneficios

- No existen datos espaciales – no existe un proceso propio de datos espaciales, se debe de emplear el análisis del Sistema de Información Geográfica y los resultados obtenidos
- No existen datos espaciales – sólo procedimientos de administración, no es posible determinar el beneficio de un SIG.

Cateoría de la evaluación	Suma de productos	Porcentaje
1	8	5 %
2	8	5 %
3	134	77 %
4	3	2 %
5	19	11 %
Número de productos	172	100 %

Tabla 1: Sumario de la evaluación de productos

La mayoría de los “productos” se sitúan en la categoría 3. Esto significa que sería posible establecer una aplicación de Sistema de Información Geográfica en la mayoría de los casos, pero hay de investigar la proporción de costes/beneficios antes de realizar ninguna inversión. No todos los “productos” con datos espaciales se convertirán en aplicaciones del SIG.

6.2. Cuestionario 2

El siguiente paso fue desarrollar el cuestionario 2 para todos los “productos” en las categorías evaluadas del 1 al 3.

Se empleo el cuestionario sólo para los “productos” situados en las categorías evaluadas del 1 al 3 debido a que únicamente éstos tienen un potencial para SIG y, de esta forma, se redujo la cantidad de trabajo exploratorio de muchos de los participantes en el proyecto.

El cuestionario 2 se dedica a recoger una información más profunda concerniente a la estructura de los datos. Se pregunta acerca de los siguientes aspectos:

- Notación de los datos
- ¿Cuántos datos son analógicos y cuantos digitales?
- ¿Son los datos gráficos o alfanuméricos?
- ¿De dónde procederán los datos, quién los producirá?
- ¿Existen actualizaciones de forma regular?
- ¿Qué precisión tienen los datos espaciales?
- ¿Existen datos de un mismo tema con diferente validez (datos históricos)?
- ¿Se van a tener en cuenta los metadatos?
- ¿Se valora la disponibilidad de datos?
- ¿Existen efectos de sinergias con otros productos?
- ¿Existe una protección de datos/política de privacidad?

Este cuestionario se rellenó únicamente durante las entrevistas personales con las personas que producen los “productos” en cuestión y gracias al hecho de que las personas entrevistadas habían asistido en el pasado a la presentación del Sistema de Información Geográfica, dichas personas conocían lo que un SIG podía hacer y de lo que se podía encargarse; lo que ayudó a acelerar el proceso de las entrevistas. La información general concerniente a la estructura informática fue recogida directamente del Departamento de Tecnología de la Información. Aun faltan algunas informaciones interesantes que, como por ejemplo las habilidades presentes en los usuarios potenciales, se recogerán en una fase posterior del proyecto.

Siguiendo el plan de trabajo principal, se presentaron los resultados al grupo de trabajo del proyecto, luego pasaron la auditoría y serán presentados al pleno del SIG.

7. PRIMEROS RESULTADOS DE LA ENCUESTA

- Una autoridad local produce cerca de 170 “productos” diferentes.
- Cerca de un 85% de los “productos” de las autoridades locales poseen una componente espacial en sus datos.
- Los datos básicos geoespaciales pueden emplearse en el proceso de producción de cerca del 87% de los “productos”
- La transferencia de los resultados del estudio a otras autoridades locales es posible.

8. PASOS SIGUIENTES

El siguiente paso será modelar los procesos y el empleo de casos útiles y prácticos en UML.

UML es el Lenguaje Unificado de Modelado, que se ha convertido en un estándar de la industria para especificar, visualizar, construir y documen-

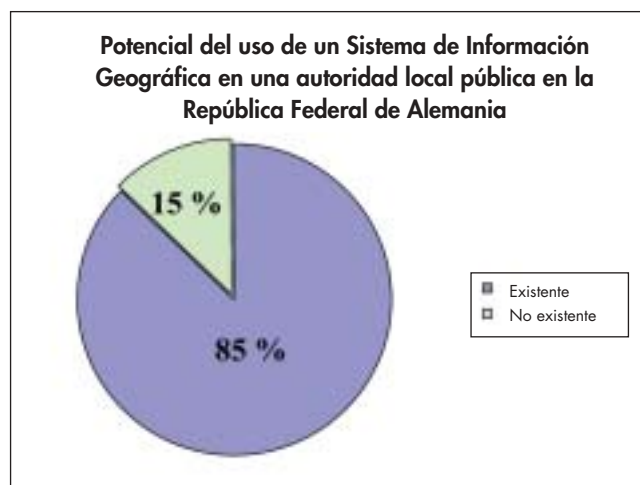


Figura 5: Potencial del Sistema de Información Geográfica en una autoridad local pública en la República Federal de Alemania

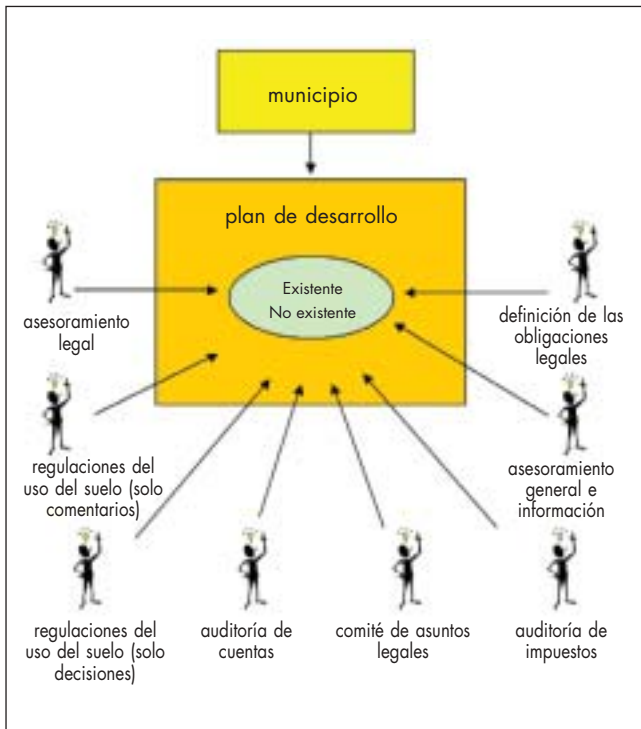


Figura 6: Primer ejemplo de un diagrama de casos de usos

tar los modelos de sistema de software, los modelos empresariales y de otros sistemas no informáticos. Simplifica los procesos complejos haciendo un esquema para su construcción.

Se identificaron las siguientes razones para emplear el UML en este proyecto:

- Puede mostrarse la conexión entre los actores y los casos de aplicación
- Puede mostrarse la conexión entre los diferentes casos de aplicación
- Se pueden utilizar los conceptos de orientación al objeto al modelar el sistema
- UML está siendo empleado en el nuevo modelo conceptual de datos geoespaciales básicos
- UML puede ayudar a estructurar el problema
- UML puede ayudar con la documentación
- UML puede ayudar a preparar las especificaciones funcionales.

Se empleará, en primera instancia, el diagrama de los casos de usos, que muestra las conexiones de una manera sencilla

En los siguientes pasos se describirán todos los procesos mediante un diagrama de clases de UML, incluyendo los atributos, las operaciones entre ellos y la semántica. Este diagrama de clases será una base ideal para preparar las especificaciones funcionales, que se elaborarán en las subsiguientes etapas del proyecto.

10. CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una importante tecnología para la gestión de información espacial en el ámbito local, regional, nacional y mundial. Los mapas digitales se emplean para gestionar el medio ambiente natural, la planificación económica, las respuestas frente a las emergencias, la conservación del medio ambiente, los programas de salud pública y una gran variedad de retos con los que se enfrenta la administración pública del siglo XXI. Mediante un análisis con detenimiento, se pueden explorar las necesidades del usuario para que sirvan como base para la implantación de una adecuada Infraestructura de Datos Espaciales. Las tareas específicas que se han de realizar en ese contexto son consideradas con detenimiento en lo concerniente a la ya existencia de una Infraestructura de Datos Espaciales y en relación con la mejora de las redes de comunicaciones y con aspectos de gestión a nivel técnico y administrativo, y otros muchos.

REFERENCIAS

- Bill/Seuß/Schilcher, 2002, *Kommunale Geo-Informationssysteme*, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Behr F.-J., 1998, *Strategisches GIS-Management*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- DELPHI-Group, 2003, www.delphigroup.com (accessed 27/11/03).
- Eurostat, 2003. http://europa.eu.int/comm/eurostat/ramon/nuts/splash_regions.html
- GSDI, 2004, <http://www.gsdi.org> (accessed 10/02/2004).
- ISO, 2003, www.iso.org (accessed 20/11/03).
- Laurini, Robert, Thompson, Derek, 1992, *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, London.
- Masser, Ian, 1998, *Governments and geographic information*, London.
- Taylor and Francis Möllering H., 1995, *The German Cadastral and Land Registration System*. In International Symposium of the FIG. Schriftenreihe des Deutschen Verein für Vermessungswesen e.V., Wittwer Verlag: 45-52, 1995.
- Open GIS Consortium, 2003, www.opengis.org (accessed 20/11/03).
- Rational, 2003, www.rational.com (accessed 20/11/03).
- Sandmann H.-J., 1995, *Land Use Planning and Land Readjustment*. In: International Symposium of the FIG. Schriftenreihe des Deutschen Verein für Vermessungswesen e.V., Wittwer Verlag: 100-126, 1995.
- Smits, P.C. et al. (2002): *INSPIRE Architecture and Standards Position Paper*, JRC-Institute for Environment and Sustainability, Ispra, INSPIRE AST PP v4-3 en.doc, European Commission, Joint Research Centre, 2002, EUR 20518 EN. ■

Novedades Técnicas

MAPUBLISHER 7.0 PARA ADOBE ILLUSTRATOR



El pasado mes de julio Avenza System Inc., fabricante del Programa Cartográfico MAPublisher para Adobe Illustrator así como el conjunto Geographic Imager para Adobe Photoshop, anunció el lanzamiento de la nueva versión MAPublisher ver 7.0 para Adobe Illustrator. Ésta es la versión más reciente de esta potente herramienta cartográfica usada para la producción de mapas de alta calidad utilizando datos SIG.

En la nueva versión 7.0 de MAPublisher se han incluido funcionalidades significativas, tales como:

- Nuevo generador de toponimia.
- Nuevo sistema de cuadrículas

- Nuevo generador de gráficos y barras de escala.
- Nuevo generador de atributos cartográficos.
- Nuevos filtros de selección.
- Soporte para caracteres de dos bytes.

Esta versión es un potente programa de producción cartográfica para la creación de mapas de alta calidad empleando datos SIG. Desarrollado como una serie de módulos complementarios para Adobe Illustrator; MAPublisher hace uso y se beneficia de los excelentes posibilidades gráficas de esta aplicación.

Entre las características del MAPublisher ver. 7.0 para Illustrator destacan:

- Nuevo generador de toponimia con colocación inteligente de las etiquetas
- Nuevo sistema de cuadrículas; ahora se pueden crear con cualquier vista geodésica o proyectada
- Nuevo generador de la barra de escala ofreciendo más operaciones a selección del usuario
- Nueva paleta de atributos y funciones cartográficas; permite la búsqueda, selección y colocación de caracteres o rasgos concretos
- Introducción de atributos y propiedades de arte; permite la edición de motivos artísticos cartográficos desde la paleta de atributos
- Nuevo módulo para expresiones; permite crear selecciones simples y complejas de atributos cartográficos
- Soporta un amplio rango de valores en las hojas de estilos MAP para la creación de la leyenda de símbolos
- Nueva paleta para selección MAP. Las selecciones pueden ahora ser salvadas y usadas con más facilidad
- Nuevas funcionalidades en la tabla de importación de datos
- Nueva funcionalidad en la preparación del la Flecha Norte. Convierte fácilmente cualquier símbolo en Illustrator en una Flecha Norte autoalineada
- Módulo de importación MAPView. Permite transferir fácilmente vistas y capas completas en MAP a otros documentos

compromiso

¿No debería compromiso dejar de ser una palabra y convertirse en un hecho?

Identifícate en cualquier oficina Santander como miembro del Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía

 Santander
EL VALOR DE LAS IDEAS

www.gruposantander.es

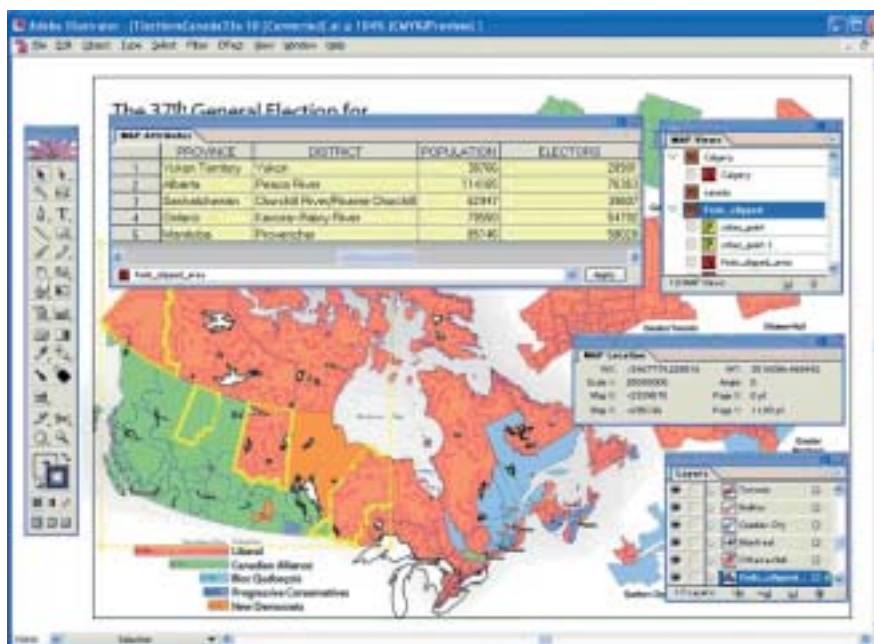
Estamos revisando cada concepto.
Estamos empezando de nuevo.

QUEREMOS SER TU BANCO.

- Soporta caracteres internacionales o de doble byte
- Centrado automático con un solo clic y reposicionado de los puntos de referencia de cada página.
- Varias mejoras en el interfase usuario para mejorar y facilitar el uso.

Avenza [MAPublisher] ofrece también la versión 5.0 para Freehand. Esta versión es un conjunto de rutinas informáticas que proporciona funcionalidades cartográficas a los programas Freehand 10 y MX de la compañía Macromedia.

MAPublisher ver: 7.0 para Illustrator está disponible sin cargo alguno para aquellos usuarios de MAPublisher para Illustrator suscritos al Plan de Mantenimiento. También se puede adquirir (499,00 €) como una actualización. El precio de la Licencia nueva es de 1.149,00 €, e incluye un año de mantenimiento.



Para más detalles pueden visitar www.avenza.com o dirigirse al distribuidor para España, GRAFINTA S.A., Avda. Filipinas 46, 28003 Madrid, Telf. 91 553 72 07, Fax. 91 553 62 82, grafinta@grafinta.com, www.grafinta.com

LOS RECEPTORES TOPCON GR-3 Y NET-G3 RECIBEN LAS SEÑALES DE TEST DE GALILEO

Topcon Positioning Systems (TPS) ha tenido éxito en recibir y seguir las señales del satélite GIOVE-A, que es el primer satélite para pruebas de la constelación Galileo, con sus receptores Topcon GR-3 y Net-G3. Topcon se ha convertido de este modo en el primer fabricante que recibe señales GNSS de todos los satélites disponibles en la actualidad (GPS, GLONASS y Galileo) con instrumentos que se producen para su comercialización (no prototipos o destinados a la investigación).

Eduardo Falcon, vicepresidente de desarrollo, dijo que los ingenieros y científicos del Topcon Technology Center en Moscú, Rusia, han recibido y seguido señales del satélite GIOVE-A con total éxito, utilizando receptores que están produciéndose con normalidad, como son el GR-3 y el NET-G3, equipados con la tecnología Topcon patentada G3. "Este hito histórico, hace del compromiso de Topcon de seguir y captar señales de todos los GNSS disponibles, una realidad".

Ser capaces de seguir "una tercera constelación, Galileo, en la fase de pruebas, realiza la importancia de la tecnología G3", dijo Ray O'Connor, presidente y CEO de TPS (Topcon Positioning System Inc.) "El tener esta tecnología en receptores disponibles ya hoy en día para los clientes dice mucho acerca de nuestra empresa, de sus capacidades en investigación y desarrollo y de sus científicos, ingenieros y diseñadores de primera clase mundial". O'Connor añadió: "Desde el año 2005 hemos estado enfatizando que la tecnología G3 podría seguir y captar todas las señales disponibles y sería capaz de recibir todas las señales previstas en el futuro. Estamos orgullosos de ser el primer proveedor comercial de esta tecnología exclusiva".

En 2005, Topcon Positioning Systems (TPS) descubrió esta tecnología G3, la primera tecnología de recepción de satélites con Universal Signal Tracking (seguimiento de señales universal). El exclusivo sistema de seguimiento que se diseñó para seguir todas las señales de los tres sistemas de posicionamiento por satélite.

Con la introducción del receptor GR-3 en julio de 2006, la empresa aumenta su tecnología GPS+ y lo añade a la larga lista de productos "primeros del mundo" y de tecnología "rompedora" de Topcon que han inundado el mercado. El GR-3 también establece un nuevo estándar en robustez para la construcción y una durabilidad sin precedentes: Se ha diseñado para soportar una caída desde lo alto del jalón (dos metros), viene con una garantía "a prueba de balas" e integra una larga lista de características diseñadas específicamente para satisfacer los mercados de Topcon.

Jaime Williamson, vicepresidente de ventas y marketing, dijo: "Es parte sustancial de la cultura empresarial de Topcon el escuchar a nuestros clientes. Fabricar un producto como el GR-3, con un robusto chasis de aleación de magnesio y una carcasa capaces para soportar una caída desde 2 metros a un suelo de hormigón, es sólo un ejemplo más de como Topcon verdaderamente escucha a sus clientes y les da lo que ellos quieren". Añadió: "Los clientes que invierten en el GR-3 para sus negocios recibirán un sistema sin comparación desde el punto de vista de las prestaciones, así como de la forma en que se ha construido para asegurar un largo periodo de vida útil".

Para más información visitar www.topcon.es

PROYECTO NACIONAL DE REFERENCIACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPAL

El Instituto Geográfico Nacional está llevando a cabo el Proyecto Nacional de Referenciación Geográfica Municipal, cuyo objetivo fundamental es dar coordenadas ETRS89 a un punto identificable de cada uno de los municipios españoles.

El Proyecto nace a partir de la necesidad del Registro Central de Cartografía del IGN de establecer una base de datos actualizada de todos los municipios de España, con una georreferenciación en un punto concreto e identificable, en el que basar futuros trabajos cartográficos.

Se realizan trabajos topográficos de campo para dotar de coordenadas geodésicas (latitud, longitud, altitud) a un punto bien conocido, como puede ser un punto reseñable del Ayuntamiento, en el Sistema de Referencia ETRS89 y con una precisión nominal mejor que 0,5 metros.

El proyecto consta de varias fases: toma de datos en campo, cálculo de las coordenadas y finalmente la realización de una base de datos publicable en la página web del Instituto Geográfico Nacional o del Centro Nacional de Información Geográfica, con datos geográficos y descriptivos relativos al municipio, donde se pueda ofrecer al ciudadano cartografía (a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de España, IDEE), ortofotografías y toda la información geográfica disponible del mismo, con enlace a la página institucional del municipio y viceversa.

Al mismo tiempo, otro objetivo del proyecto consiste en la colocación de placas ornamentales con el nombre del municipio y las coordenadas en edificios singulares, como se ha citado antes, generalmente Ayuntamientos. Con ello se pretende llamar la atención de los ciudadanos sobre la cultura cartográfica o geográfica con datos acerca de la ubicación de su municipio.

El modelo de placa propuesto define para cada municipio las coordenadas y el nombre, siendo el resto del cuerpo común. La forma es ovalada, siguiendo los antiguos diseños de placas de altitud que el Instituto instaló durante la primera mitad del siglo XX en estaciones de ferrocarril, ayuntamientos y edificios relevantes. En este caso, el tamaño real propuesto es de 450 x 310 mm. El material de la placa es de tipo aluminio de fundición, con letras sobre relieve, y en la que se particularizan las coordenadas y el nombre del municipio mediante letras del mismo tipo.



El 5 de julio de 2005 se llevaron a cabo las tareas topográficas de campo en el municipio de Castilblanco de los Arroyos, de la provincia de Sevilla, cuyo Ayuntamiento estaba siendo reformado totalmente en esa época, como uno de los municipios piloto para el inicio del proyecto. El 30 de mayo de 2006 fue formalmente inaugurado el Proyecto Nacional de Referenciación Geográfica Municipal con la colocación de la placa del referido municipio de Castilblanco de los Arroyos. Esta inauguración fue presidida por Don Francisco Javier Velázquez López, Secretario General para la Administración Pública del Ministerio de Administraciones Públicas, junto con el Director General del Instituto Geográfico Nacional, D. Alberto Sereno, y el Alcalde-Presidente del municipio, Don Manuel Ruiz Lucas y el Primer Teniente de Alcalde, momento que recoge la imagen.





“Sólo con tecnología no haríamos nada”

Ver el mundo con otra perspectiva es el desafío que esta empresa propone a quienes necesitan abordar cualquier proyecto de cartografía o se interesan por la ordenación territorial, la agronomía, el catastro o el medio ambiente. En un sector que sólo a nivel nacional sobrepasa el centenar de empresas, pocas pueden considerarse competitivas a nivel europeo e internacional. Entrevistamos a Alfonso Gómez, director gerente de una de ellas.

Maribel Reyes, profesora UCM y Consultora de Comunicación de INDAI

Seguramente será imposible encontrar algún profesional relacionado con el sector de la topografía, la fotogrametría y la cartografía que no sepa de esta empresa española que sobrepasa su cuarta década, alcanza el centenar de empleados y ha recibido en numerosas ocasiones el reconocimiento internacional. ¿Cuál ha sido su evolución a lo largo de estos años y por qué puede considerarse un caso de referencia en este sector?

La respuesta a ambas preguntas está relacionada con tres factores que explican la situación actual de **Stereocarto**: la calidad y dimensión de los proyectos llevados a cabo, su trayectoria de investigación y de inversión continuada en tecnología y su relación con todo tipo de organismos, instituciones y universidades. Su modelo de captura, orientación, registro, análisis y distribución de información geográfica le ha permitido desarrollar, con el sello de la innovación, proyectos requeridos en España y en más de quince países.

Alfonso Gómez es el impulsor principal de la compañía, de sus cambios y de su nueva apuesta por llegar a ser una empresa líder también a nivel internacional. Esta meta se plantea en un mercado que sigue teniendo a los sectores públicos como protagonistas, pero que ha encontrado un estímulo importante en las aplicaciones comerciales. Hablamos de un mercado altamente competitivo, como la mayoría, en el que los cambios tecnológicos se suceden y, a través de ellos, la posibilidad de nuevas demandas y nuevos productos, un sector –en palabras de Gómez– *de pequeñas dimensiones, si se compara con cualquier otro de servicios o industrial, pero de gran importancia para el desarrollo de un país.*

A comienzos del 2000 la facturación total del sector de producción de cartografía nacional se estimaba en unos 5.000 millones de pesetas. La estructura y especialización de las empresas relacionadas con esta actividad es muy variada y deriva en buena medida de la capacidad para resolver internamente las diferentes fases del proyecto solicitado. El volumen medio de facturación oscilaba entre los 25 a 50 millones de pesetas con plantillas de 5 a 10 personas, en el que se situaban la mayoría de las empresas, y los 500 millones con plantillas de 40 personas, alcanzados por un número

minoritario. El total de recursos humanos se cifra entonces en unos 1000 profesionales, la mitad titulados superiores o de grado medio y el otro 50% especialistas con un alto nivel de formación.



¿Cuál es la posición de Stereocarto en el mercado nacional?

Somos una empresa con experiencia que ha evolucionado mucho para poder dar un servicio global muy especializado en toda la cadena de producción y en todo tipo de productos, sin subcontratación y capaz de ser eficaz dentro y fuera del mercado español. La facturación del Grupo es superior a los 10 millones de euros, nuestra plantilla de cien personas, más del 70% titulados superiores y medios, y la inversión en I+D de un millón de euros anuales.

¿Cuál ha sido la evolución de estas cifras en los últimos años?

La empresa se pone en marcha en 1964, desde entonces el crecimiento ha venido dado por distintas circunstancias. En el 88 nos hicimos cargo el equipo societario actual, alcanzando en aquel momento una facturación de unos 30 millones de pesetas, doscientos mil euros. La siguiente curva de inflexión llega a finales de los noventa, derivada sobre todo de la entrada en proyectos internacionales que permitieron un crecimiento muy rápido. En los últimos años estamos ya en una etapa de desarrollo estabilizado que nos dirige hacia otras posibilidades de producto, gestión y dimensión. Puede decirse que teníamos clara cuál era la apuesta y que durante este tiempo se ha ido gestando.





¿Qué ha cambiado realmente?

Ha cambiado la dimensión y la diversidad de productos que ofrecemos, entre ellos los sensores aerotransportados. Entonces el equipo comercial era muy reducido, nuestro I+D más tímido y nuestra organización casi familiar. La dirección estaba en manos de una sola persona y en total no éramos más de veinticinco. Como es lógico, la formación y especialización de la plantilla son ahora mucho más elevadas y hemos aumentado el perfil de gestión frente al

exclusivamente técnico. En la evolución de Stereocarto ha tenido mucho que ver la tecnología pero no sólo, si no se crece en otros aspectos relacionados con la propia gestión no puede hablarse de verdadero crecimiento. Actualmente estamos centrados en actuar como un centro de servicios de ingeniería cartográfica. Ofrecemos producto y desarrollos propios y la capacidad de gestionar íntegramente los proyectos que asumimos y, lo que es poco común, el control económico de los mismos.

¿Y qué permanece igual?

¿Lo que permanece igual? El entusiasmo, la pasión por la ingeniería cartográfica y los valores.

Uno de sus puntos fuertes es la presencia internacional, ¿qué papel juega este aspecto en su estrategia?

Básico. Hoy el cincuenta o sesenta por ciento de nuestra actividad es internacional. Los grandes proyectos vienen siempre de otros mercados, por eso era y es preciso contar con la preparación necesaria para conseguir participar en ellos y tener en cada país, si cabe, una presencia continuada. Podemos distinguir dos líneas estratégicas, por una parte la que se desarrolla en países estables en los que el objetivo es permanecer en el mercado, es el caso de España, el resto de Europa y algún país de Sudamérica; por otra parte, la que se basa en proyectos puntuales localizados en cualquier lugar, en este caso la presencia está limitada al proyecto.

¿Cómo repercute el crecimiento en los clientes, en los proyectos?

Se traduce en eficacia. Invertimos en tecnología y en formación precisamente para poder repercutirlo en los proyectos que llevamos a cabo. Nuestra vocación internacional favorece también el crecimiento y el desarrollo de los sistemas, incluido el de gestión. En la mayoría de las empresas que sobrepasan cierto volumen el factor clave es la profesionalización. El crecimiento da la posibilidad de dejar de ser un gabinete para ser una empresa o un grupo y contar con ingenieros superiores, además de técnicos, y con especialistas en distintos sectores.

¿Su ambición es que Stereocarto sea reconocida como la empresa número uno en tecnología?

Sólo con tecnología no haríamos nada. Quizá en algún momento sí he pensado que era lo más importante, sin embargo ante un proyecto es preciso tener capacidad técnica y comercial y también experiencia en gestión financiera para que los clientes puedan confiar. Lo que te permite competir y conseguir esa confianza es el bloque formado por un equipo humano con capacidad técnica y de gestión, experiencia en proyectos anteriores, especialización, tecnología y solvencia económica.

Con este bloque una empresa puede competir en el mercado internacional. En este sentido, creo que se puede hablar de Stereocarto como de una empresa que compite a nivel europeo.

¿Qué peso real tiene el I+D en su empresa? ¿Cómo se lleva a cabo esta función?

Todas las empresas sabemos que es preciso invertir en desarrollo, en tecnología y en definitiva en todos los niveles de gestión. El éxito o la diferencia a la hora de aplicar el I+D es que alguien se pare a pensar y consiga aplicar la inversión en su cadena de producción. Identificar los objetivos a conseguir, establecer un método, dimensionar el equipo humano asociado al proyecto I+D, organizar un programa de trabajo y cumplirlo es la base del éxito. Esta manera de trabajar es posiblemente lo que a nosotros nos permite llevar cierto adelanto en el sector.

Es importante la evaluación de los proyectos, su certificación y ayuda financiera por organismos como CDTI, Miner o Imade. En el desarrollo de esta actividad es esencial nuestro Departamento de Tecnología, que está perfectamente diferenciado de la labor de producción.

En un sector como éste, ¿qué significa "innovación"?

En nuestro caso contestamos a esta pregunta planteando una matriz de procesos y tecnologías que nos indica que la innovación puede darse en ambos campos horizontal y verticalmente. Esta combinación multiplica las posibilidades y nos permite diferenciarnos.

¿Qué ha aprendido de sus competidores?

Fundamentalmente a valorarlos como verdaderos competidores y a no subestimar. En alguna ocasión he aprendido quizá más sobre su capacidad de gestión y su estrategia internacional, que en aspectos más técnicos.

La competencia te fuerza a no acomodarte y a estar siempre en vanguardia.

¿Cómo prevé el futuro de Stereocarto a corto plazo y a largo?

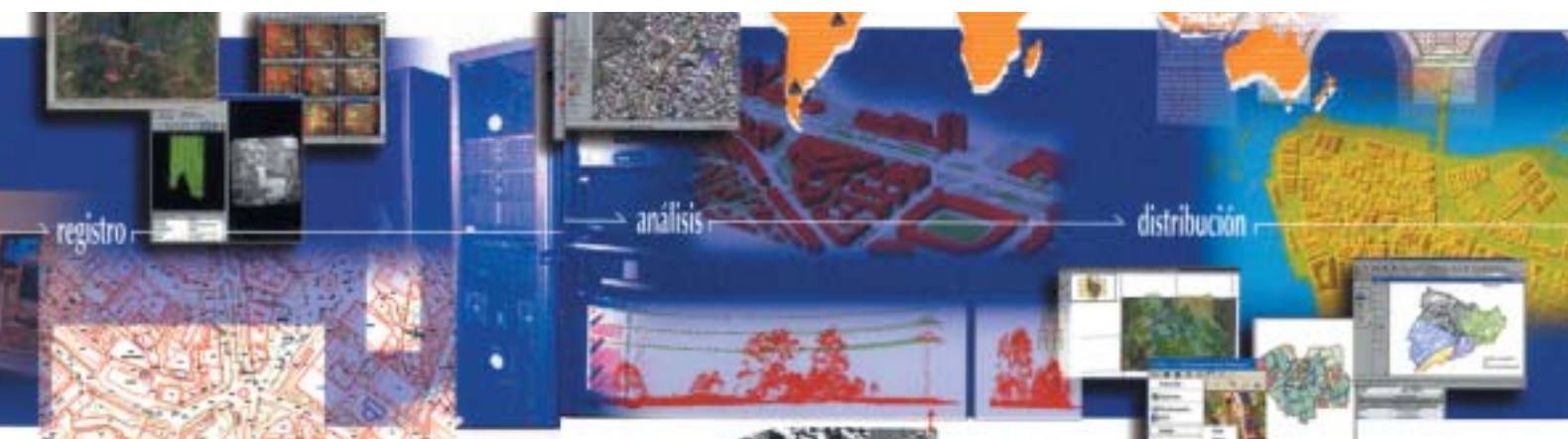
A corto plazo lo más significativo es la presentación de novedades técnicas que optimizan la producción de información geográfica georeferenciada. A nivel de gestión estamos en una etapa de consolidación que nos va a permitir aplicar mejoras en proyectos actuales e inmediatos.

A largo plazo queremos ser una empresa de liderazgo no sólo nacional, sino internacional, sin que eso suponga desatender a nuestros clientes nacionales. No se trata de ser más grandes, sino de ser mejores y conseguir nuestro objetivo de satisfacción total del cliente.

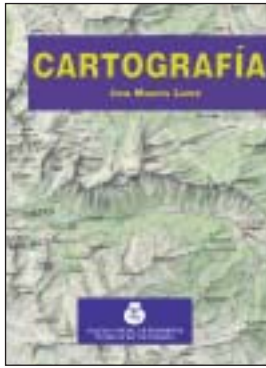
Junio, 2006.



Paseo de la Habana, 200 • 28036 Madrid (Spain)
 Tel: +34 91 343 19 40 • Fax: +34 91 343 19 41
 info@stereocarto.com
 www.stereocarto.com

Libros Técnicos



Título: Cartografía
Autor: José Martín López

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



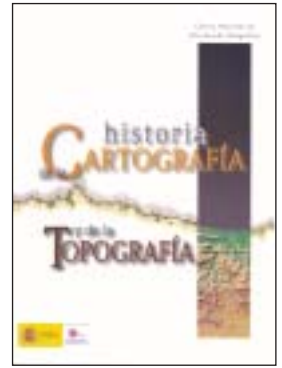
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

21,03 € Ref.: 038



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

27,10 € Ref.: 021



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

41,60 € Ref. 039



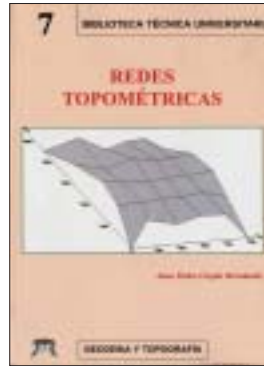
Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital
Autor: José Luis Lerma García

43,34 € Ref. 5006



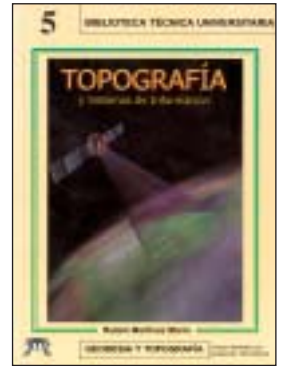
Título: Fotogrametría analítica
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

11,54 € Ref.: 804



Título: Redes Topométricas
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

22,83 € Ref. 6008



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

18,10 € Ref.: 6006



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

10,20 € Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

11,75 € Ref.: 5003



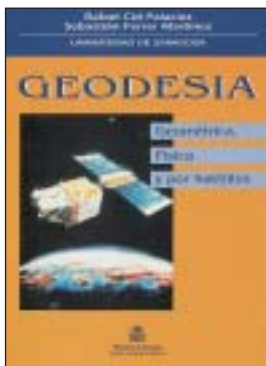
Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

8,70 € Ref.: 5002



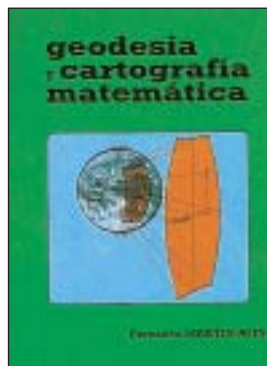
Título: Aerotriangulación: Cálculo y Compensación de un bloque fotogramétrico
Autor: José Lerma García

18,54 € Ref.: 5004



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

24,10 € Ref.: 030



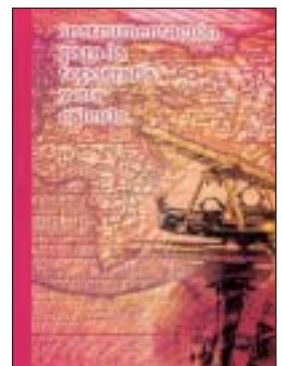
Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

32 € Ref. 205



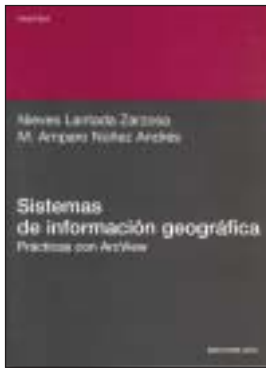
Título: Transformaciones de coordenadas
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

18 € Ref.: 6007



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

26,75 € (+CD por 33,70 €)
Ref. 7001



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



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



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



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



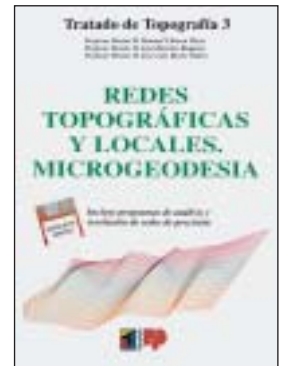
Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
15,70 € Ref. 6003



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

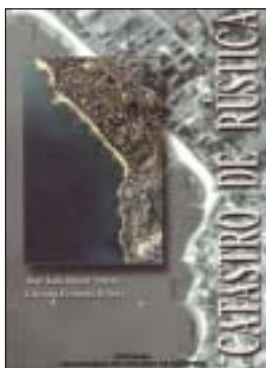


Título: **Tratado de Topografía 2**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
51,10 € (42,10 € coleg.) Ref. 2002

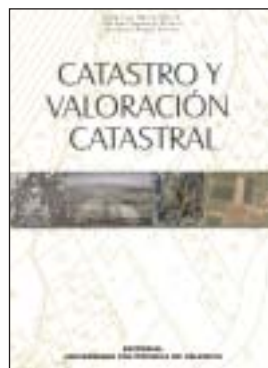


Título: **Tratado de Topografía 3**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
36,10 € (30,10 € coleg.) Ref. 2003

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



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



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



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



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

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

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

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

Nombre

Dirección Tel.

Ciudad Provincia C.P.

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

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

Vida Profesional

TOPOGRAPHIA DE LA VILLA DE MADRID DESCRITA POR DON PEDRO TEXEIRA TRESCIENTOS CINCUENTA ANIVERSARIO (1656-2006) CICLO DE CONFERENCIAS CONMEMORATIVO

En el año 1656 se editó en Amberes la *Topographia de la Villa* de Madrid del cartógrafo portugués Pedro Texeira Albernaz. Este plano constituye la mejor representación cartográfica del Madrid de mediados del siglo XVII de que disponemos. En ella se ofrece al espectador la Villa de Madrid en todo su esplendor barroco, con una minuciosidad y detalle tales que permiten conocer su aspecto físico y la configuración de su trama urbana.

Pasados ya trescientos cincuenta años de la edición, en veinte hojas de gran formato, de este magnífico plano, el Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructura del Excmo. Ayuntamiento de Madrid conmemora este importante evento mediante un ciclo de conferencias, en el que se trata de exponer el estado de nuestros conocimientos sobre este plano y su artífice. Si bien es cierto que aun queda mucho por indagar, no lo es menos que en los últimos años los trabajos de los eruditos han contribuido a ampliar nuestros horizontes sobre este plano y sobre el cartógrafo Pedro Texeira.

A esta iniciativa se han adherido las siguientes entidades: Instituto Geográfico Nacional, Real Academia de la Historia, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, Biblioteca Nacional, Real Sociedad Geográfica, Centro Geográfico del Ejército, Instituto de Estudios Madrileños, Instituto de Economía y Geografía del CSIC, Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, Fundación Villa y Corte, Amigos de la Cartografía de Madrid, revista Topografía y Cartografía.

El ciclo de conferencias se celebrará entre los días 16 de octubre y 4 de diciembre de 2006 en el salón de actos del Instituto Geográfico Nacional de acuerdo con el siguiente programa:

- 16 de octubre de 2006 (19:00 horas)
"Texeira, el hombre y el plano"
D. José del Corral Raya
Instituto de Estudios Madrileños
Cronista de la Villa
- 23 de octubre de 2006 (19:00 horas)
"Pedro Texeira y el Atlas del Rey Planeta"
D. Fernando Marías Franco
Catedrático de Historia del Arte UAM
- 30 de octubre de 2006 (19:00 horas)
"En torno a la Topographia de la Villa de Madrid, el plano y su época"
D. Javier Ortega Vidal
Catedrático del Dpto. Ideación Gráfica y Arquitectónica ETS
Arquitectura UPM
D. Francisco J. Marín Perellón
Instituto de Estudios Madrileños
- 6 de noviembre de 2006 (19:00 horas)
"Las ediciones de la Topographia de la Villa de Madrid, una revisión histórica"
D. José María Sanz Hermida
Archivo Histórico de la Universidad de Salamanca
- 13 de noviembre de 2006 (19:00 horas)
"Trazas de Pedro Texeira, 1656-2006"
D. Luis M. Aparisi Laporta
Instituto de Estudios Madrileños
Amigos de la Cartografía de Madrid
- 20 de noviembre de 2006 (19:00 horas)
"Lo público en la ciudad: paseos, plazas y fuentes en el Madrid de Felipe IV"
D. Rafael Herrero García
Jefe del Servicio de Cartografía Regional de la CAM
- 27 de noviembre de 2006 (19:00 horas)
"Las grandes transformaciones urbanísticas habidas hoy en el ámbito de la Topographia de la Villa de Madrid"
D. Alfonso Mora Palazón
Instituto de Estudios Madrileños
Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructuras
- 4 de diciembre de 2006 (19:00 horas)
"Pedro Texeira y el Compendium Geographicum de la Universidad de Uppsala"
D. Ramón Alvargonzález Rodríguez
Catedrático de Análisis Geográfico (Univ. de Oviedo)

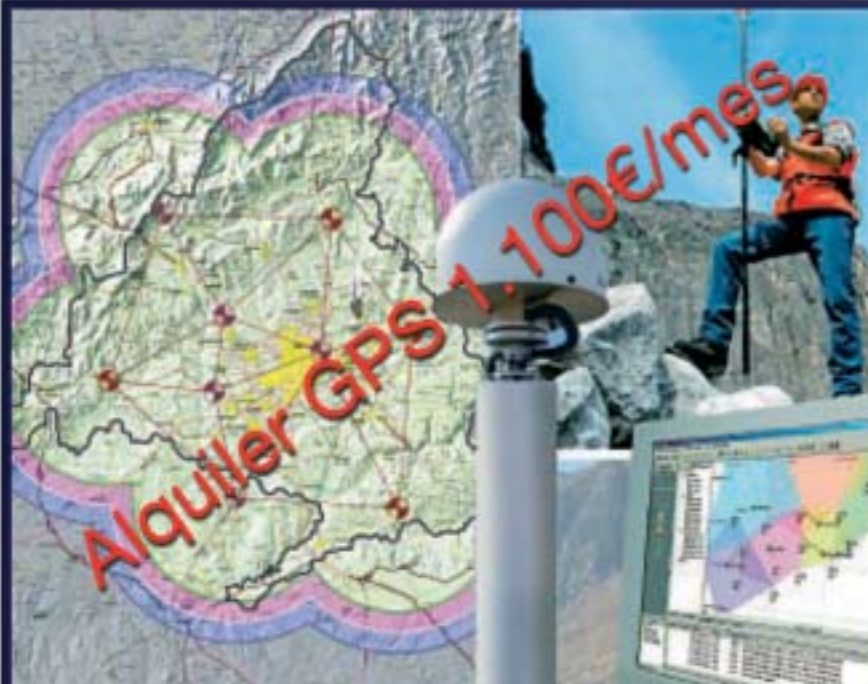
GPS TIEMPO REAL CENTIMETRICO

IBEREF MADRID

Red de estaciones de referencia

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

en Madrid y Toledo



ESTACION TOTAL

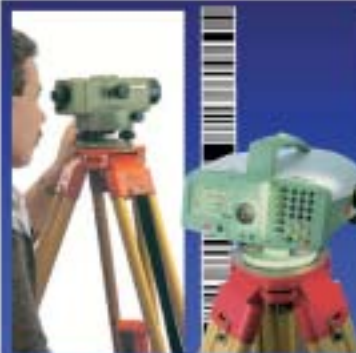


SmartStation

Serie 1200

Serie 800 - 700 - 400

NIVEL



NA2/NAK2

DNA10/03

RUGBY 100/200

RUGBY 300/400

ACCESORIOS Y SERVICIOS



Disto

Software

Material de marcado

Servicio Técnico

ACRE

902 490 839 / 617 326 454

informacion@acre-sl.com

www.acre-sl.com

www.laserescaner.com

Alquiler y Venta

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

NECROLÓGICA

El pasado 9 de agosto falleció en Madrid, a la edad de 89 años, nuestro compañero D. RAFAEL RUIZ GIJÓN, colegiado número 172.

Dedicó su vida a sus dos grandes pasiones, la topografía y el hockey sobre hierba. Ingresó, por oposición, en el Cuerpo Nacional de Ayudantes de Geografía y Catastro (actual C.N. de Ingenieros Técnicos en Topografía) del Instituto Geográfico Nacional el 1 de agosto de 1945, desempeñando sus funciones en dicho organismo hasta su jubilación, acaecida el 1 de enero de 1985, continuando en activo en el ejercicio libre de la topografía hasta la fecha de su defunción, siendo la fecha de su último trabajo que figura en el COITT septiembre de 2005, lo que le hace ser el Ingeniero Técnico en Topografía en activo más longevo de la historia de la profesión.

Pero éste no fue su único record, ya que también ha pasado a la historia del hockey sobre hierba español como el jugador en activo más longevo y laureado de España. Sus comienzos en este deporte, en el que siempre jugó como guardameta, se remontan a 1933, año en que debuta como jugador del Atlético de Madrid, pasando a la disciplina del Real Madrid dos años después. En el año 1936 es seleccionado para representar a nuestro país en la Olimpiada de Berlín de 1936, a la que España no pudo asistir a causa de la Guerra Civil. Acabada la contienda, jugó de 1940 a 1953 con el equipo del Atlético de Aviación, siendo seleccionado para participar en la Olimpiada de Londres de 1948 y la de Helsinki de 1952, no asistiendo España a esta última por falta de presupuesto. De 1954 a 1991 fue jugador del Club de Campo de Madrid, asistiendo con la selección española a los Juegos del Mediterráneo de 1955 y siendo de nuevo seleccionado para la Olimpiada de Melbourne de 1956, a la que, de nuevo, España no asiste al boicotear dichos juegos. Su última etapa como jugador de hockey fue en el Manzanares H.C., equipo de la segunda división, en el que jugó desde 1991 hasta 1996, año en el que se retira de la práctica

deportiva a la edad de 80 AÑOS.

En su palmarés como jugador acumulaba: 22 partidos internacionales jugados (el último en 1958); 3 subcampeonatos de Castilla (1939-40, 1940-41, 1941-1942); 3 subcampeonatos de España (1945-46, 1946-47 y 1947-48); 3 campeonatos de España (1954-55, 1955-56 y 1956-57); 2 campeonatos de España de segunda categoría (1966-67, 1967-68).



Poseía los siguientes trofeos: Copa Federación Madrileña al Mérito Deportivo 1943, Medalla al Mérito Deportivo de la Real Federación Española de Hockey (RFEH) 1950, Placa de Oro 2º Juegos del Mediterráneo 1955, Medalla al Mérito Deportivo RFEH 1956, Medalla al Mérito al Deportivo de la Federación Madrileña de Hockey (FMH) 1967, Placa al Mejor Deportista del año RFEH 1978, Placa al Mejor Deportista del año RFEH 1981, 1º Trofeo Saimat de la Generalitat de Catalunya 1984, Placa de Plata de la RFEH en su 70º aniversario 1986, Placa de Plata de la FMH en su 56º año de jugador activo 1989.

Todos aquellos que le conocimos guardaremos siempre en el recuerdo su simpatía y generosidad, que le convirtieron, junto con su hacer profesional y deportivo, en una de las personas más conocidas, queridas y admiradas por sus compañeros. Desde estas páginas nos unimos a sus familiares en el dolor por su pérdida.



Aviso

El Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía y el Banco Santander Central Hispano, han firmado un Convenio de Colaboración que recoge una amplia gama de productos y servicios financieros, con condiciones muy ventajosas para los Colegiados, entre ellas importantes descuentos en tarjetas y seguros, bonificaciones en las cuentas corrientes, financiaciones en condiciones preferentes, etc.

Para ampliar información sobre el Convenio, acudir a cualquier Sucursal del Santander Central Hispano.

Geo center

VENTA

ESTACIONES - NIVELES OPTICOS
NIVELES LASER - ACCESORIOS

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

ALQUILER

GPS - ESTACIONES - NIVELES OPTICOS
NIVELES LASER

¡¡LLAMENOS!!

siempre tenemos
estaciones disponibles

SERVICIO TECNICO

NUEVOS SERVICIOS

Calibraciones 24 horas
Calibración cita previa
Contratos de mantenimiento a medida



Leiny

**Geo
center**

Trimble
AUTHORIZED DISTRIBUTOR

TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS 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 2006 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 2005-2006) 27 €

NOMBRE Y APELLIDOS.....

DIRECCIÓN, POBLACIÓN

PROVINCIA, CÓDIGO POSTAL, PAÍS, TEL. CONTACTO

Adjunto cheque o justificante de giro transferencia para la suscripción del año 2006.

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

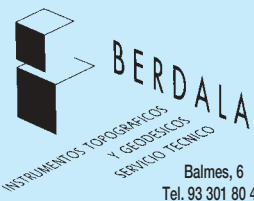
BATIMETRÍAS

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

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

ATICSA
Distribuidor Oficial

Leica INTERGRAPH TCP-IT
Geosystems

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



MEDICIONES TOPOGRÁFICAS EXTREMEÑAS, S.L.L.

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

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



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

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

ACRE

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

Leica
Geosystems

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



Distribuidor 

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

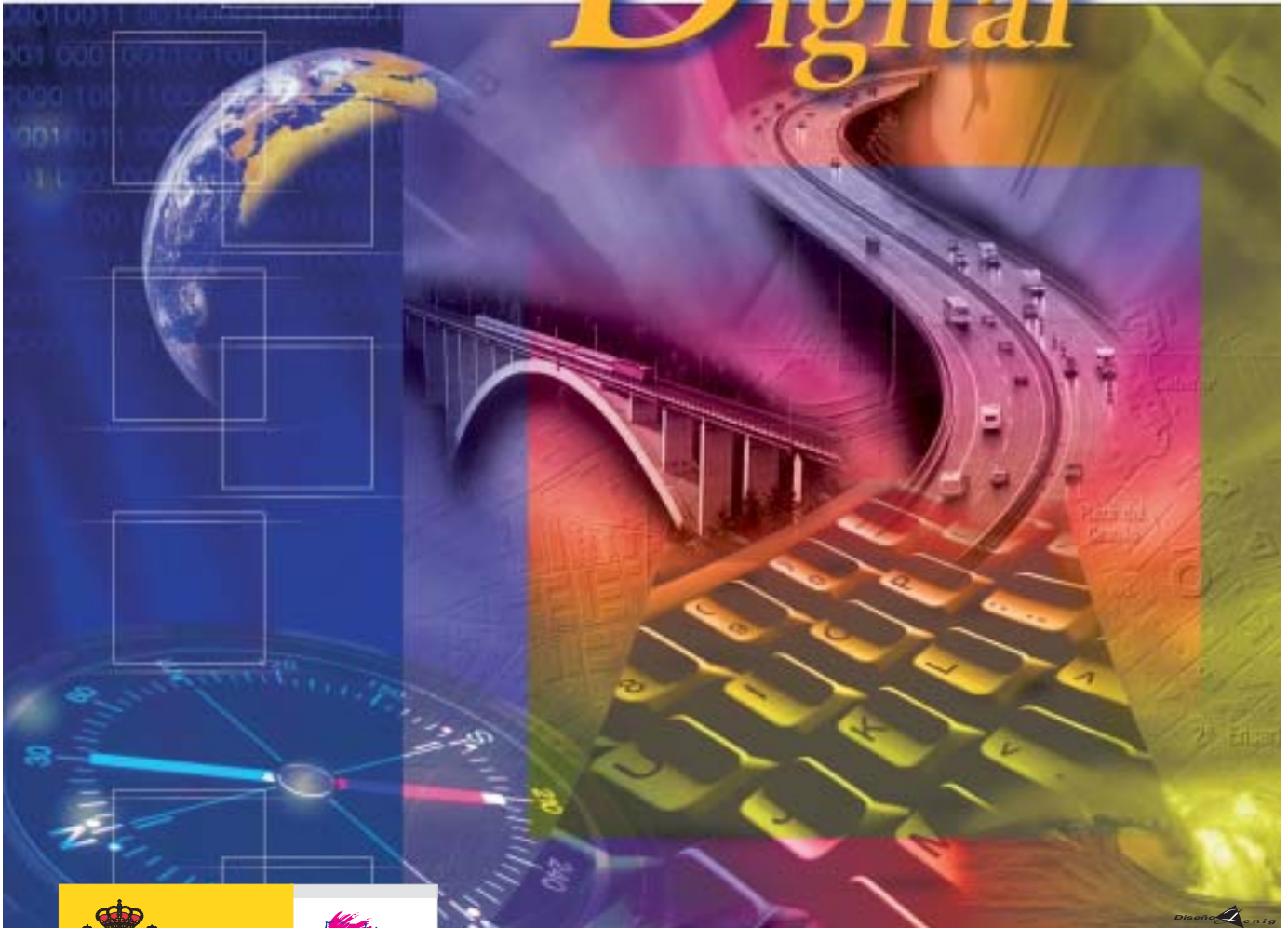
Alvaro Molina Topografía-G.P.S.
Alquiler y Servicios Topográficos

Sistemas G.P.S. 

Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

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

Cartografía Digital



BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCNI 000, 500, 200, 25),
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDTI 000, 200, 25),
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,
MAPA INTERACTIVO DE ESPAÑA, MAPA POLÍTICO DE EUROPA,
MAPA POLÍTICO DEL MUNDO, CALLEJEROS Y OTROS PRODUCTOS.

Oficina central: 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>