



Nuestra portada:

*Vértice Cañada (Ciudad Real) de la
Red Geodésica Nacional (fotografía de
D. José Luis Romero Gutiérrez)*

Vol. XXIII - N.º 134

Mayo-Junio

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

Mediciones en Arquitectura con Argus Eye **3**

Matthias Fuhrland

**Verificación, mediante nivelación, de los desplazamientos
diferenciales verticales obtenidos a través del Radar
Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR):
Aplicación a lo largo del acueducto de Mornos (Grecia)** **8**

Ioannis Kotsis, Spyros Karamitso, Demetrio Paradissis, Charis Kontoes,
Olga Sycioti, Panagiotis Elias y Pierre Briote

El Geoide submétrico de México **20**

Antonio Hernández Navarro

Doce años de la Red Geodésica Nacional Activa de México **25**

Antonio Hernández Navarro

**La Topografía en los Túneles de Guadarrama para
el Tren de Alta Velocidad (II)** **29**

Pedro Arranz Chacón

**Establecimiento de una red Catastral con Técnicas GPS
en la ciudad de Jaén** **40**

Antonio Castillo Vizcaíno

**La Georreferenciación mediante Callejero en el Ámbito
Municipal** **50**

Vicente García Núñez y Carlos López Borra

Novedades Técnicas **64**

Vida Profesional **66**

Índice Comercial **71**

TCP-MDT

Nueva Versión

5

Levantamientos

Proyectos

Replanteos

Carreteras

Urbanizaciones

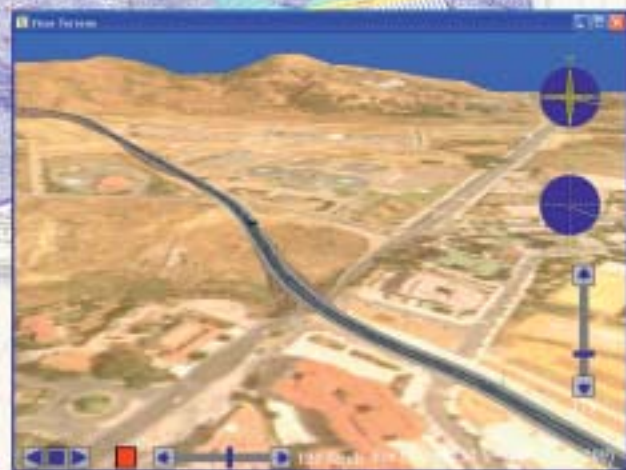
Canteras

Topografía

Construcción

Urbanismo

Ingeniería



Aplicaciones para Dispositivos Móviles



Replanteo y Toma de Datos
con GPS y Estación Total

Gestión de Dibujos
con potente CAD

Control de Obras de Túneles

Orto3D

Presentaciones realistas de alta calidad
Proyectos de carreteras y urbanización
Estudios de impacto ambiental
Incorporación de cartografía
Animaciones y Videos



Nueva
Denominación:

aplitop
Aplicaciones de
Topografía e Ingeniería Civil

C/ Sumatra nº 9, 29190 - Málaga
Tlf: 952-439771
Fax: 952-431571
www.aplitop.com
info@aplitop.com

Mediciones en Arquitectura con Argus-Eye

Matthias Fuhrland

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE DRESDEN

I. EL ESPEJO ORTOGONAL FRENTE AL PENTAPRISMA

El espejo angular clásico está a punto de perder su significado en la Geodesia. Mientras en la Fotofísica la utilización del espejo ajustable pertenece a la vida cotidiana del laboratorio, en la Geodesia son utilizados principalmente los pentaprismas cuando se trata de desviar un haz 100 gons [1]. La función de materializar una paralela a la perpendicular del borde del haz óptico incidente, independientemente del ángulo de incidencia α , para desviarlo 100 gons en el plano de incidencia, es cumplida sin errores solamente por prismas pulidos. En la práctica, solamente pocos prismas ofrecen una alta exactitud de fábrica. Debido al gran número de fuentes de error [2], los fabricantes de pentaprismas a menudo proporcionan simplemente una tolerancia para la desviación total del haz por medio de incidencia paralela sobre el borde del plano. Los prismas de exactitud media ofrecen una tolerancia de ángulo de desviación de hasta $\pm 1' 30''$, para prismas de mayor exactitud la tolerancia es de hasta $\pm 30''$.

El reflector ortogonal Argus-Eye, desarrollado por la empresa alemana Argus Geo Tech GmbH, es el prisma más preciso para su utilización en mediciones de distancia electroópticas. Con el Argus-Eye es posible medir una distancia "a la vuelta de la esquina" (figura 1) y así calcular con mayor precisión las coordenadas de un punto no visible desde el instrumento.

Así como el pentaprismo, el espejo ortogonal tiene la característica de desviar un haz 100 gons. Además, se ha cambiado el cuerpo rígido con dos espejos planos por dos espejos individuales. El espejo ortogonal tiene más ventajas decisivas sobre el pentaprismo para su aplicación en mediciones con taquímetro:

1. Al contrario que el pentaprismo, el espejo ortogonal puede ser ajustado, lo que se puede hacer exactamente a partir de $5\mu\text{rad}$ ($1''$). Una exactitud de

este tipo sólo es alcanzada casualmente y muy rara vez por los pentaprismas existentes actualmente en el mercado, reflejándose en un precio extremadamente alto.

2. El espejo ortogonal se compone de dos superficies reflectantes separadas por soportes de cristal. La influencia de entrada y salida del pentaprismo no se presenta aquí, ya que coinciden la reflexión y refracción del haz de luz en este borde y no presentan para la medición ninguna fuente de error. Costosos procedimientos antirreflectantes de los bordes inciden y están relacionados con errores de tallado, que para los pentaprismas indican un importante índice de refracción de las lentes y para los espejos ortogonales no tiene importancia alguna.
3. El paso óptico y geométrico de la luz son idénticos en el espejo ortogonal. Para el pentaprismo el paso óptico de la luz es más largo,



Figura 1: Medición de distancias "a la vuelta de la esquina"

porque la velocidad de la luz en cuerpos de cristal, debido a su menor índice de refracción, es más lento que en el aire.

- Mientras que en los pentaprismas los daños en los bordes de la superficie del espejo los hacen perder su valor, en el espejo ortogonal cada una de sus partes puede ser cambiada.

Una desventaja del espejo ortogonal con respecto al pentaprisma es que está limitado para la misma apertura, debido a la supresión de la refracción en el área de entrada y salida de la posible rotación. Eso significa que un espejo ortogonal que está en posición vertical puede girarse el ángulo α (figura 4) a una horizontal para el haz incidente, sin limitar su funcionalidad. Esta desventaja es compensada haciendo variable en tamaño y forma el espejo, pudiendo ser ajustado de forma óptima para cada medición. Para las aplicaciones aquí descritas esta desventaja es irrelevante, puesto que $\alpha = 0$.

2. PRINCIPIO DE UTILIZACIÓN

El punto auxiliar (o excéntrico) es utilizado cada vez menos en tomas y métodos de mediciones polares. Un nuevo estacionamiento, gracias a los taquímetros modernos y a las estaciones totales, sólo significa un esfuerzo mínimo. Si se deben hacer muchas estaciones, entonces es conveniente la utilización de un punto auxiliar pasivo en forma de un espejo ortogonal.

El principio de utilización se muestra en la figura 3. Como punto auxiliar se puede escoger cualquier punto; el único requisito que ha de cumplir, aparte del de visibilidad, es que el taquímetro, el punto auxiliar y el punto no visible desde el instrumento, o punto oculto, deben formar un triángulo rectángulo. En el punto auxiliar se colocará un trípode, en el cual en lugar de un prisma triple se monta un Argus Eye. La distancia horizontal s_2 entre taquímetro y punto auxiliar será calculada mediante medición en la pantalla reflectante que se encuentra en el Argus-Eye. A través de la visualización del punto oculto mediante el espejo orto-

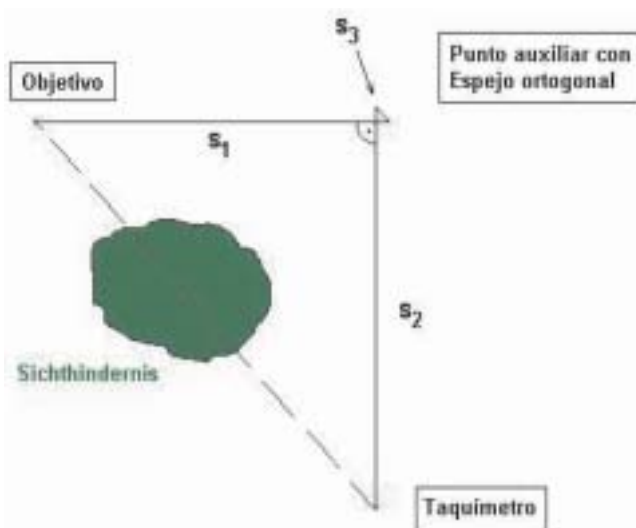


Figura 3: Principio de los puntos auxiliares pasivos



Figura 2: Espejo ortogonal Argus Eye

gonal se obtiene la medición de la distancia solicitada, que es la suma de las distancias s_1 , s_2 y s_3 . La última corresponde a la variable del espejo, cuyo valor puede ser calculado en función del ángulo vertical V y la constante de espejo sv_{Hz} [3].

A continuación, se extrae $s_2/\sin V$ y s_3 de la distancia medida y se obtiene la distancia geométrica s_1 , la cual puede ser reducida de un ángulo vertical a una distancia horizontal. La diferencia mayor entre el eje de puntería del taquímetro y el punto oculto se obtiene si se multiplica la suma de cada distancia por el coseno del ángulo vertical. La medición de la desviación del haz en el punto auxiliar no afecta, pues el espejo ortogonal ya está preajustado a un ángulo de 100 gons.

Una diferencia decisiva frente a las mediciones normales consiste en que la fijación del punto oculto será propuesta por la persona que sostiene el espejo ortogonal. La medición con puntos auxiliares pasivos funciona de manera excelente si el taquímetro dispone de visual láser que marque el punto a medir. También pueden ser fijados puntos ocultos que se encuentren a gran altura. En su uso para la realización de planos, el espejo ortogonal ya ha sido probado con resultados inmejorables.

3. CRITERIOS DE EXACTITUD

Para desviaciones definidas de un haz desde el taquímetro, el espejo ortogonal es el más adecuado. Además, se debe asegurar que la cara del espejo sea paralela al eje principal del instrumento y que incluya un ángulo de exactamente 50 gons. Variaciones a estas características serán descritas a través de ajustes del error vertical y horizontal (δ_V , δ_{Hz}). Éstos deben de ascender como máximo a un segundo angular; pero además no se deben descartar desajustes por cambios bruscos de temperatura. Por ello, es recomendable para la utilización diaria que se pruebe el espejo ortogonal en distancias regulares y, en caso necesario, ajustarlo; para ello se han desarrollado métodos de campo especiales [4]. Argus GeoTech ofrece también este servicio de ajuste.

Además, se debe estar seguro de que el taquímetro este correctamente alineado con el espejo ortogonal, para evitar los errores de coordenadas debidos a la excentricidad de los puntos de corte de los haces. La figura 4 aclara la relación del error de alineación y el de excentricidad horizontal. Si suponemos que se logra la visión al espejo, también el punto de intersección del haz estará en la correcta alineación al espejo (visual negra). En desviaciones horizontales con un valor de ángulo α (visual azul) se desplaza el punto de corte del haz la cantidad de excentricidad e_{Hz} . Si $\delta_{Hz} \neq 0$, entonces pasan también paralelos los haces incidentes, pero no ortogonalmente al haz incidente, sino desviado la cantidad de $2 \cdot \delta_{Hz}$.

El cálculo libre de error de las variables del espejo presupone que el taquímetro esté exactamente apuntado al espejo ortogonal, lo que se facilita mediante un punto de mira. El observador ve las dos imágenes, una sobre la otra. Hay disponibles adaptadores a rosca de 5/8 pulgadas, pero también se pueden solicitar adaptadores a otros pasos de rosca y otras opciones a escoger [5].

Los errores de orientación del espejo ortogonal repercuten en primer lugar en el ángulo vertical del haz entre el espejo ortogonal y el punto

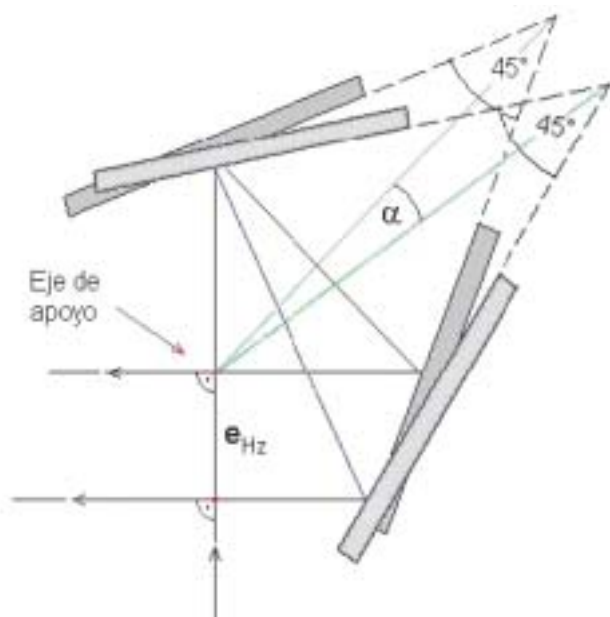


Figura 4: Efecto del error de orientación

oculto. Aquí la reducción de la distancia diagonal es realizada con el ángulo vertical medido por el taquímetro. Una orientación defectuosa afecta no sólo a la coordenada Z , sino a puntos ocultos con visuales inclinadas para distancias horizontales entre el espejo ortogonal y el punto oculto. Para visuales horizontales, la influencia sobre las coordenadas planas es despreciable.

Si se ha de calcular la cota del punto oculto, no es suficiente la horizontalización del punto auxiliar mediante un nivel de burbuja. Se está desarrollando por parte de los fabricantes un espejo ortogonal colgante oscilante.

4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

El potencial de aplicación del espejo ortogonal en la medición de edificios se muestra mediante varios ejemplos. Las posibilidades de utilización más importantes son la toma de puntos de orientación y de puntos ocultos en el interior y exterior de una construcción. La ventaja decisiva recae en el ahorro de estaciones.

El método fue probado en la TU-Dresden realizando el levantamiento taquimétrico del edificio Hüsse. El citado edificio, que fue una cárcel, tiene seis pisos con cuatro alas en forma de cruz, las cuales están conectadas a través de una serie de grandes escalinatas (figura 5). Hay visibilidad entre los extremos de cada ala.

Para cada ala se colocaron instrumentos en los ejes Norte-Sur y Este-Oeste, siendo levantadas mediante la utilización de un espejo ortogonal de media carrera en el exterior de cada habitación y en las paredes se marcaron puntos de orientación del pasillo medio. Para la toma de datos en las habitaciones se pudo evitar totalmente los estacionamientos con centrado forzado debido a los puntos de orientación. Para la señalización temporal se utilizaron adhesivos numerados y cruces, así como marcas en la pared, las cuales fueron materializadas y localizadas mediante el rayo láser del instrumento. Con ello se limita la excentricidad de la puntería en la medición sin reflexión del punto de orientación a la puntería del Argus-Eye y todo el proceso pudo haber sido realizado por un observador.



Figura 5: Ala Este del edificio Hüsse

Con el uso del espejo ortogonal se pudieron ahorrar 40 de las 116 estaciones por planta que hubieran sido necesarias tan sólo para la medición de los puntos de orientación. La ventaja en este caso no es tanto el ahorro de tiempo como una mayor flexibilización del trabajo, pudiendo realizarse por separado las mediciones de orientación y la medida de la habitación.

Se realizó una segunda prueba en la planta baja del edificio Schumann de la Universidad Tecnológica de Dresde, donde se levantó taquimétricamente un plano detallado. La figura 6 muestra el plano obtenido por el sistema de información de la Universidad Tecnológica. El edificio está fuertemente estructurado y angulado, de tal forma que el coste de la toma convencional de datos para la realización de un plano sería muy elevado. El estacionamiento y orientación de los taquímetros son realizados tanto a través de puntos centrales obligatorios como de marcas en las paredes, las cuales fueron realizadas con ayuda del Argus-Eye. Con la utilización del Argus-Eye se pudo ahorrar una tercera parte de los estacionamientos. La medición de las habitaciones se pudo realizar sin reflector y fácilmente con ayuda del Argus-Eye desde el corredor, de tal forma que el taquímetro no tuvo que ser estacionado en estas habitaciones. En lugar de apuntar a la esquina directamente, en ocasiones es suficiente medir para cada una dos puntos aleatorios de las paredes del interior y realizar la geometría de la habitación gráficamente en CAD.

En la parte exterior del edificio se ahorraron otros puntos, ya que los puntos escondidos, como son esquinas y alcobas, como las puertas de acceso y arcadas, fueron medidos con un espejo ortogonal excéntrico. Tan sólo en las fuertes fachadas exteriores y los pasillos interiores fueron medidos excéntricamente cerca de la mitad de todos los puntos. En este caso se ahorró mucho tiempo efectivo de medición.

Otra posibilidad de uso es la observación permanente de puntos de construcción ocultos, también en combinación con otros procesos ópticos (por ejemplo interferometría y medición IR). Un concepto desarrollado por la TU Dresde para la medición de diversas deformaciones en un convento en Magdeburgo, incluye un sistema de monitorización por temporizador utilizando un taquímetro auto-apuntable. En los lugares donde los puntos no son visibles, debe utilizarse un Argus-Eye para medir dos de los prismas triples visibles excéntricos. Las pruebas realizadas dieron como resultado que el reconocimiento automático del objetivo (ATR) de Leica TCA 2003, utilizado también para la visión sobre el espejo ortogonal, funciona excelentemente.

Una ventaja notable que trae consigo la utilización del Argus-Eye para la medición de distancias sin reflector es si con ello se puede evitar una interrupción del patrón entre el haz y la superficie del objeto. El valor mínimo de emisión necesario para un análisis no será alcanzado por el corte pulido, especialmente para superficies de objetos reflectantes u oscuras, aunque la distancia se encuentra bajo el rango máximo del taquímetro. Con la utilización del Argus-Eye puede ser incrementado el ángulo de incidencia del haz sobre la superficie del objeto hasta 100 gons. Diversas mediciones de prueba dieron como resultado que éste

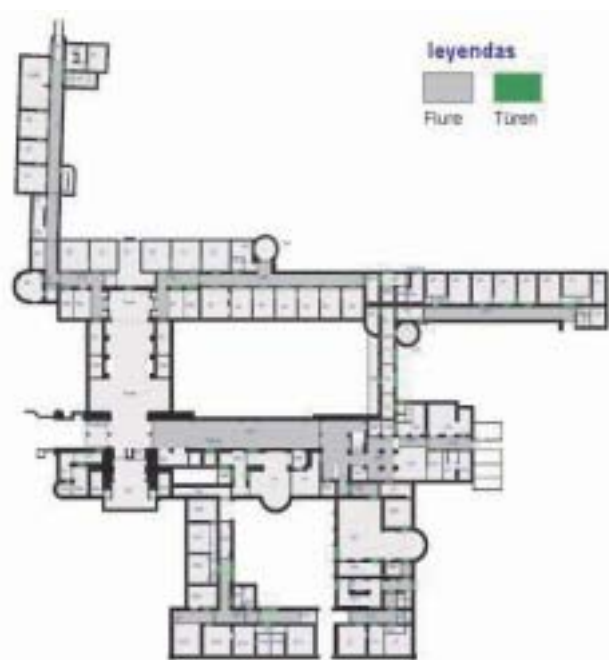


Figura 6: Plano del edificio Schuman

incrementa notablemente, en la mayoría de los casos, el grado de remisión, de esta forma la utilización de un punto auxiliar tiene sentido aún cuando no parece necesario en absoluto. Una utilización práctica se puede encontrar, por ejemplo, en la medición de la sección transversal de secciones de túneles.

Para terminar, conviene destacar que con el Argus-Eye se tiene una herramienta sofisticada, cuya utilización puede facilitar en gran medida el trabajo en el área de la medición de puntos ocultos y producir un notable ahorro en tiempo y costes. Debido a que los programas existentes que calculan puntos auxiliares pasivos solamente pueden ser utilizados limitadamente, en la actualidad diversas empresas fabricantes de software están trabajando en programas para la medición con el Argus-Eye.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Deumlich/Staiger: *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik (Clases de las técnicas de medición de la topografía)*, 9. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann Verlag Heidelberg, 2002, S.240
- [2] Brandstätter, G.: *Die Richtungsgenauigkeit von Pentaprismen (La dirección de la exactitud de los Pentarismas)*, Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie 62 (1974) S. 16 -24
- [3] Fuhrland, M.: *Das passive Exzentrum- Streckenmessung um die Ecke (Punto auxiliar pasivo- medición de distancias en esquinas)*, Vermessungsingenieur Heft 6/2004
- [4] Fuhrland, M., Neumann, G., Schmidt, J.: *Kalibrierung eines Orthogonalspiegels (Calibración de un espejo ortogonal)*, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten Heft 1 / 2005
- [5] www.argus-geotech.de
Dirección del autor:
Dipl.-Ing. Matthias Fuhrland
Instituto de Geodesia, Universidad Tecnológica Dresden
D-01062 Dresden ■

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.

Verificación, mediante nivelación, de los desplazamientos diferenciales verticales obtenidos a través del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR): Aplicación a lo largo del Acueducto de Mornos (Grecia)

Ioannis Kotsis, Spyros Karamitso, Demetris Paradissis
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL DE ATENAS

Charis Kontoes, Olga Sycioti, Panagiotis Elias
OBSERVATORIO NACIONAL DE ATENAS

Pierre Briote
INSTITUTO DE FÍSICA DEL GLOBO DE PARÍS

Resumen

En este artículo se presenta un método para detectar actividad tectónica y desplazamientos verticales inducidos, obtenidos mediante Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR), a lo largo de elementos unidimensionales (carreteras, conducciones, acueductos) y, además, se evalúa la fiabilidad de este método. Esta evaluación se efectúa mediante la comparación de los resultados obtenidos mediante Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) con los datos obtenidos con un levantamiento topográfico terrestre. El lugar donde se efectuaron las pruebas se encuentra al noroeste de la región de la prefectura de Attiki, a 20 kilómetros del centro de Atenas; el elemento unidimensional es el acueducto al aire libre de Mornos. Los desplazamientos, al menos la mayoría de ellos, fueron ocasionados por el terremoto de Atenas del 7 de septiembre de 1999.

La forma de hacer compatibles los datos del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) con los del levantamiento topográfico terrestre y, en consecuencia, comparables directamente, incluye a los bien conocidos procesos de InSAR de filtrar los interferogramas para la eliminación parcial de ruidos y de “desenvolver” las fases para poder resolver las ambigüedades $\text{mod}_{2\pi}\Phi$. También se incluyen las transformaciones de sistema de referencia geodésica, que son necesarias en los casos en los que el interferograma se encuentra en un sistema de referencia distinto al empleado en las mediciones terrestres, así como el cálculo de los ángulos de incidencia en cada señal del interferograma, para convertir los desplazamientos proyectados sobre la visual en desplazamientos verticales. Finalmente, el problema de la decorrelación temporal se aborda mediante un modelo matemático del campo de los desplazamientos.

Como conclusión, se afirma que los interferogramas obtenidos con Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR), tras unos procesos adecuados, son capaces de producir unos datos de los desplazamientos diferenciales verticales suficientemente precisos y fiables.

Abstract

In this paper, a method to extract tectonic activity – induced vertical displacements from InSAR along one-dimensional features (roads, pipelines, aqueducts), is presented and the reliability of this method is evaluated. The evaluation is performed by a comparison of InSAR results and terrestrial surveying. The test field is in the north – west region of Attiki prefecture, 20km from the center of Athens and the one – dimensional feature is the Mornos aqueduct. The displacements – at least the greatest part – are due to the 07/09/1999 Athens earthquake.

The way to make InSAR and terrestrial surveying data compatible and therefore directly comparable includes the well-known InSAR processing actions of interferogram filtering for partial noise removal and phase unwrapping to resolve the $\text{mod}_{2\pi}\Phi$ ambiguity. It also includes geodetic reference system transformations – necessary in the cases when the interferogram is in other reference system than the one used in terrestrial measurements, and computation of incidence angles for every interferogram target to convert LOS projected displacements to vertical ones. Ultimately, the problem of temporal decorrelation is dealt with mathematical.

modeling of the displacement field.

It is finally concluded that InSAR interferograms, after appropriate processing, are indeed capable of providing sufficiently accurate and reliable vertical differential displacement data.

I. ANTECEDENTES

El terremoto de Atenas, acaecido el 7 de septiembre de 1999 a las 11 horas 56 minutos y 50 segundos de UTC, ha sido uno de los desastres naturales más importantes que asolaron a la Grecia del siglo XX. Este terremoto costó la vida a 143 personas, ocasionó graves lesiones a muchas otras y fue responsable del colapso de varios edificios en la zona de los suburbios, al noroeste de la capital griega, haciendo inhabitables muchos otros. La localización aproximada del epicentro es de 38,10° N y de 23,56° E, apenas a 20 kilómetros del centro de Atenas.

Los desplazamientos verticales de la superficie terrestre ocasionados por este gran evento tectónico, han sido investigados por el Instituto de Aplicaciones Espaciales y Teledetección del Observatorio Nacional de Atenas (NOA/ISARS) en cooperación con el Laboratorio de Geodesia de la Universidad Técnica Nacional de Atenas (NTUA/HG) y el Instituto de Física del Globo de Paris (IPG), empleando para ello el Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) desde el espacio y datos del ERS-2. Este proyecto se concluyó escasos meses después del terremoto. El procesamiento de los datos del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) reveló un surgimiento máximo de la superficie proyectada sobre la visual de aproximadamente 9 cm. La región donde se presenta la deformación máxima coincide aproximadamente con el epicentro del terremoto principal, situándose a unos 3 kilómetros de él (Kontes y alumnos, 2000).

Esta región está muy próxima al acueducto de Mornos, empleado para el suministro de agua a Atenas. Aunque el acueducto no resultó dañado, se pensó que sería una buena estructura para investigar los desplazamientos verticales mediante nivelación, ya que existían datos de la nivelación de dicha estructura desde antes de que aconteciera el temblor de tierra. La distancia de esta parte del acueducto hasta el epicentro es menor de dos kilómetros y medio (Papanatasiou D. y alumnos, 1999).

El Laboratorio de Geodesia de la Universidad Técnica Nacional de Atenas inició un proyecto de nivelación en el acueducto que duró dos meses (marzo y abril del año 2001). Los datos que ya existían habían sido tomados en el año 1984. No había datos de nivelación disponibles del periodo intermedio, entre 1984 y 2001, por lo que no se pudo tener en cuenta la deformación no sísmica. Sin embargo, no hubo ningún otro fenómeno sísmico importante en este intervalo de tiempo.

El interferograma, tal como se obtuvo a partir de los trabajos de procesamiento del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR), se presenta en la figura 1, así como los tramos del recorrido de la nivelación y el eje longitudinal del acueducto.

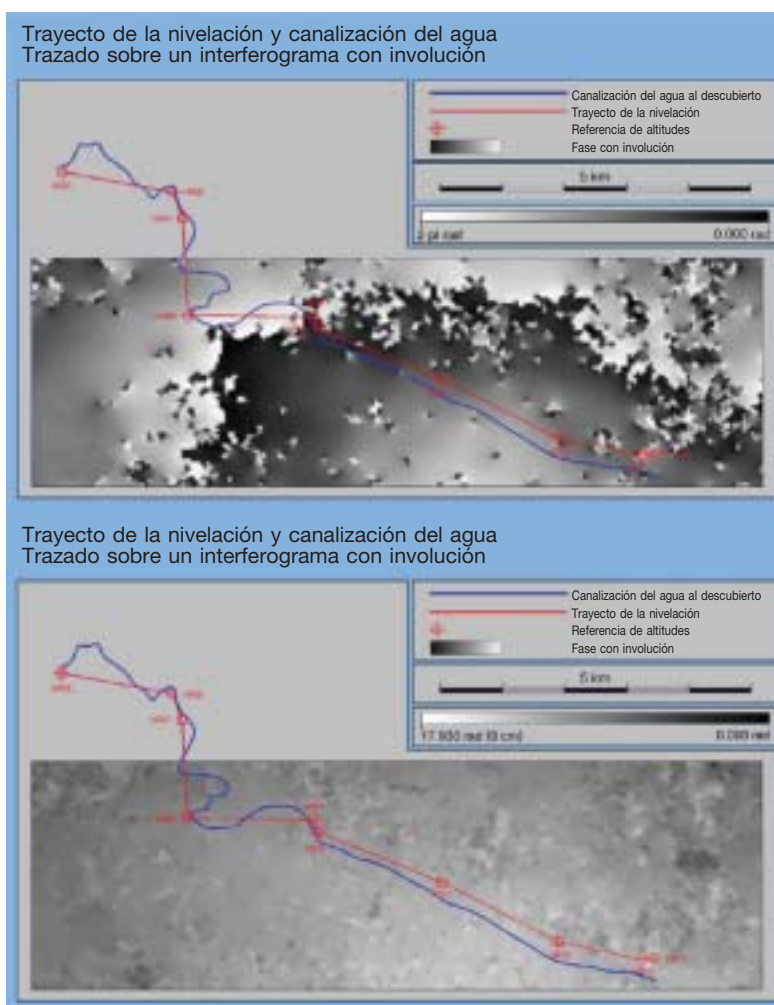


Figura 1. Trazado del los tramos del trayecto de la nivelación y el eje longitudinal del acueducto sobre un interferograma con involución (arriba) y sin involución (abajo). Desafortunadamente, una parte importante de la nivelación, en concreto los tramos HR65 - HR66, HR66 - HR67, y HR67 - HR68, no tiene una correspondencia en el interferograma. (A efectos de una mayor claridad, sólo se representan los segmentos que conectan las referencias de altitudes importantes. El trayecto de la nivelación sigue a la canalización del acueducto)

En posteriores secciones de este artículo se presenta con más detalle el proceso del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) y el levantamiento topográfico terrestre.

El principal objetivo de este trabajo es validar los productos de la interferometría de InSAR, al aplicarla para cartografiar el campo de los desplazamientos verticales en un terremoto.

2. PROCESAMIENTO DEL InSAR

Se adquirieron y procesaron múltiples imágenes para detectar y medir los campos de las deformaciones inducidas por el terremoto. Empleando el software *Diapason CNES* de procesamiento de InSAR, se elaboraron ocho interferogramas, de los que sólo los cuatro co-sísmicos tuvieron interés para este trabajo. De entre estos cuatro interferogramas, se seleccionó para este proyecto uno en particular; sobre todo debido a la

Imagen	Órbita #	Fecha y tiempo de la adquisición	Marco de imagen #	Pista #	Altitudes de la ambigüedad h_a
Master	17854	19/09/1998 09:06:51 UTC	2835	465	-67,236 m
Remota	23365	09/10/1999 09:06:47 UTC	2385	465	

Tabla 1. Datos de la combinación de las imágenes del interferograma de Radar Interferométrico de Apertura Sintética

claridad de la señal de fase de la deformación. Este interferograma se identifica por los datos de la combinación de las imágenes, tal como se muestra en la tabla 1.

La influencia del relieve del terreno sobre el interferograma se redujo empleando un modelo digital del terreno, con un tamaño de malla de 50 x 50 metros, con una desviación típica de altitudes de aproximadamente 10 metros.

Además del proceso interferométrico, otro proceso de modelado de la falla produjo un interferograma sintético simulado, tomando como entrada los parámetros de la falla y la magnitud del temblor. El interferograma obtenido mediante el procesamiento del InSAR y el obtenido con el modelado se presentan en la figura 2.

El área de interés se sitúa en la zona noroeste del interferograma, en donde se habían efectuado los trabajos de nivelación; parte de la misma no está recubierta por el interferograma, debido a la ausencia de cobertura del modelo digital del terreno. Esta área se presenta en la figura 2 recubierta de negro.

3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TERRESTRE

En 1984, se realizaron los primeros trabajos de nivelación sobre el acueducto, que cubrieron la totalidad de su longitud, que era aproximadamente de 200 kilómetros. Se empleó una técnica especial de nivelación trigonométrica, desarrollada en el Laboratorio de Geodesia, que daba el mismo nivel de precisión que la nivelación convencional, pero que era mucho más rápida (Balodimos, 1979). Se estimó que la precisión del trabajo era del orden de unos pocos milímetros, desde una referencia de altitudes a la siguiente. Tras el terremoto, y después de mucho procesamiento InSAR, se hizo aparente que el acueducto estaba atravesando unos márgenes que indicaban que se habían producido desplazamientos verticales. Era necesario efectuar un proyecto de nivelación estándar para evaluar los resultados del InSAR, lo que se hizo en el año 2001. La distancia cubierta fue de 40 kilómetros (en ambos sentidos) y con una precisión similar a la del trabajo ante-

rior. Además, se emplearon las mismas referencias de altitudes. La tabla 2 muestra las diferencias de altitudes entre 1984 y 2001.

4. HACIENDO COMPATIBLES LOS DATOS DEL InSAR CON LOS DE LA NIVELACIÓN

Los datos de los desplazamientos diferenciales obtenidos con las dos técnicas son incompatibles y no permiten, consecuentemente, hacer una comparación directa. Estas incompatibilidades son específicamente las siguientes:

- El procesamiento del InSAR ofrece un interferograma con involuación (*wrapped*), lo que significa que no se da la plena diferencia de fase Φ , sino su parte fraccional $\text{mod}_{2\pi}\Phi$.
- El InSAR no aporta las verdaderas deformaciones diferenciales verticales, sino su proyección sobre la línea de la visual
- En este caso particular, son diferentes los sistemas de referencia de la nivelación y del resultado y proceso del InSAR. En concreto, los interferogramas del InSAR se encuentran en ED50 UTM34, en tanto

Referencias de altitudes	Diferencias de altitudes entre el 2001 y el 1984 (m)
HR65-HR66	-0,008
HR66-HR67	-0,003
HR-67HR68	-0,021
HR68-HR69	-0,004
HR69-HR70	-0,005
HR70-HR71	-0,003
HR71-HR72	-0,001
HR72-HR73	-0,003
HR73-HR74	-0,001

Tabla 2. Diferencias de altitudes entre 1984 y 2001, obtenidas mediante triangulación de altitudes y nivelación, respectivamente

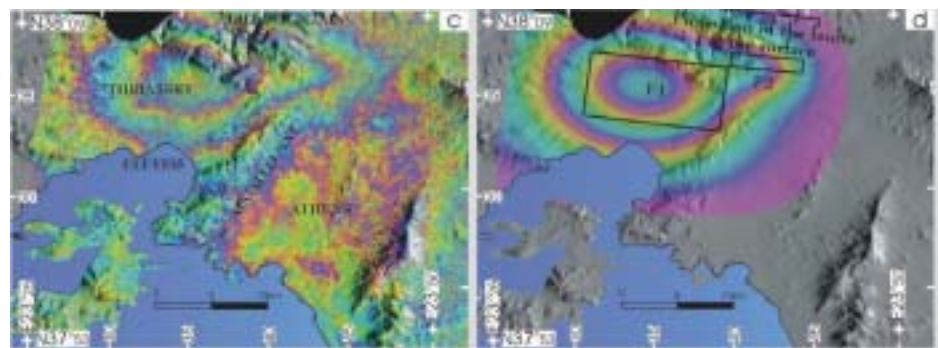


Figura 2. Interferograma obtenido mediante el proceso del Radar Interferométrico de Apertura Sintética (a la izquierda) y el interferograma obtenido con el modelo simulado (a la derecha). El área del noroeste recubierta de negro carece de cobertura del interferograma, debido a la falta de datos del modelo digital del terreno (Kontoes y alumnos, 2000)



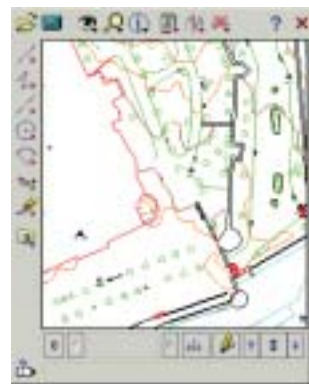
POCKET & CARTOMAP 5.5

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.

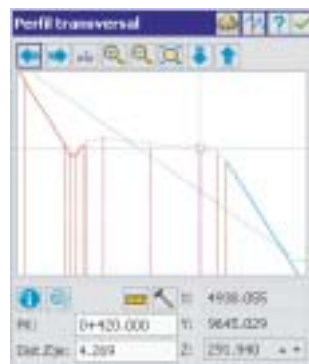
Captura de datos · Topografía analítica de campo · Modelo del Terreno · Curvado · Completo CAD 2D/3D · Croquis automático asociativo · Perfiles longitudinales · Perfiles transversales · Rasantes · Replanteo · Control de calidad · Secciones tipo · Ficheros shapefiles · y mucho más...



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€!

que la totalidad de los trabajos de nivelación se realizaron con referencia al nivel medio del mar y la referencia de altitudes se registraron en el HGRS 87 (Sistema Helénico de Referencia Geodésica).

- Los interferogramas estaban corrompidos por el ruido, el cual, y sobre todo debido a la decorrelación temporal, puede alcanzar niveles extremadamente altos (de incluso 1π), lo cual es un gran peligro potencial para la fiabilidad de la extracción de los desplazamientos puntuales.

En las siguientes secciones se presenta el procedimiento empleado para subsanar estas incompatibilidades.

5. FILTRADO DE LOS INTERFEROGRAMAS CON INVOLUCIÓN (WRAPPED)

La parte con involución de los interferogramas, correspondiente al área de interés definida, se sometió a un simple procedimiento de filtrado. El objetivo primario de esta acción fue el minimizar los riesgos de un posible fallo al “desenvolver” la fase que llegaba, en tanto que la finalidad secundaria fue la de mejorar el aspecto de los interferogramas con involución (*wrapped*) y sin involución (*unwrapped*) para hacer que las evaluaciones cualitativas supongan el menor esfuerzo posible.

El filtro empleado fue un sencillo filtro de mediana en el espacio bidimensional, aplicado tanto sobre las partes reales ($\cos(\psi_{i,j})$) e imaginarias ($\sin(\psi_{i,j})$) de la señal de magnitud virtual unitaria $e^{j\psi_{i,j}} = \cos(\psi_{i,j}) + j \sin(\psi_{i,j})$ cuyas fases eran las del interferograma de entrada sin filtrar ($\psi_{i,j}$). En otras palabras, el filtro espacial bidimensional se aplicó sobre la señal unitaria sobre la que se proyectaban las fases del interferograma de entrada. Las fases que incluía el interferograma filtrado se extrajeron mediante una operación de $\arctan(\)$ de las partes filtradas imaginarias y reales de la señal virtual. El proceso de filtrado se define mejor por la fórmula:

$$\psi_{i,j} = \arctan \left(\frac{\sum_{j=p-\frac{k-1}{2}}^{j=p+\frac{k-1}{2}} \sum_{i=q-\frac{k-1}{2}}^{i=q+\frac{k-1}{2}} \cos(\psi_{i,j})}{\sum_{j=p-\frac{k-1}{2}}^{j=p+\frac{k-1}{2}} \sum_{i=q-\frac{k-1}{2}}^{i=q+\frac{k-1}{2}} \sin(\psi_{i,j})} \right)$$

En la figura 3 se muestran los diferentes pasos del procedimiento de filtrado del interferograma.

6. “DESENVOLVIENDO” LA FASE

Para poder conseguir una comparación fiable de los desplazamientos verticales diferenciales que se obtienen en la nivelación y mediante la interferometría InSAR, hay que despejar la naturaleza ambigua de la fase

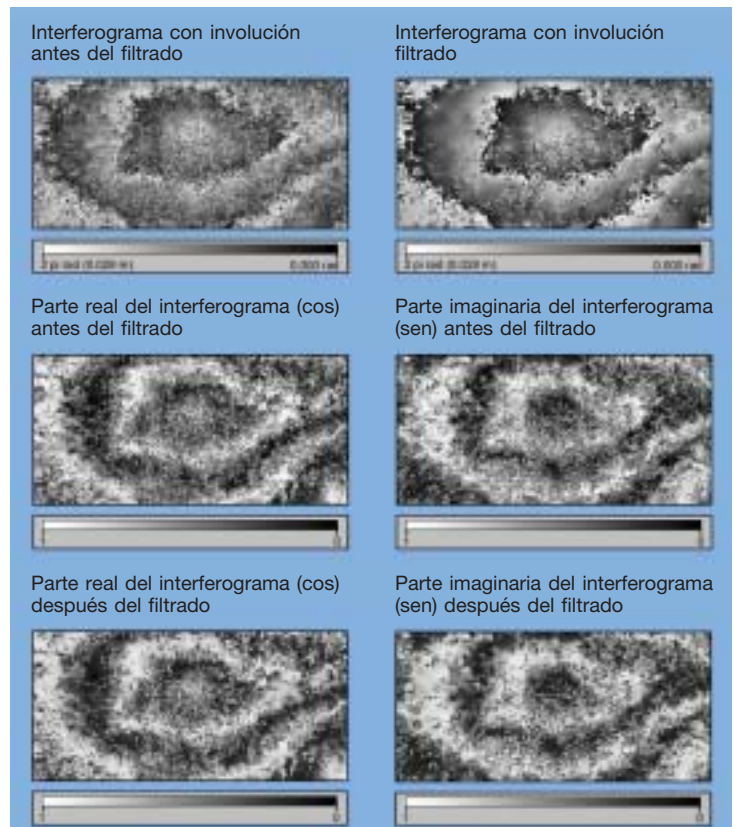


Figura 3. Diferentes pasos del procedimiento de filtrado del interferograma

entera de los interferogramas InSAR. Con esta finalidad, se implementaron varias técnicas para “desenvolver” la fase bidimensional (Seguimiento de Trayectos Guiándose por la Calidad, Mínimos Cuadrados sin Ponderación, Mínimos Cuadrados con Ponderación, Normal con LP Mínima) y sus resultados se evaluaron comparativamente. Los interferogramas sin involución, obtenidos al aplicar estas distintas técnicas al interferograma con involución original inicial, fueron evaluados, sobre todo en base a criterios de mínimas discontinuidades. A resultados de esto, se determinó que la técnica más eficaz para este caso en particular era la de los Mínimos Cuadrados con Ponderación.

Los pesos de las observaciones de fase para los mínimos cuadrados con ponderación se obtuvieron a partir de los valores intercorrelacionados (coherencia) calculados mediante el programa *Diapasón* de procesamiento de InSAR, como salida del cálculo de los parámetros de la geometría relativa entre las imágenes de InSAR *master* y *remotas*. En la figura 4 se muestra el interferograma con involución original inicial de entrada y la imagen de coherencia, y el interferograma sin involución de salida.

7. CONVERSIÓN DE SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERENCIA

Había que resolver el tema de la incompatibilidad de los sistemas geodésicos de referencia. El interferograma sin involución de la orto-geometría fue obtenido mediante el programa *Diapasón* de procesamiento

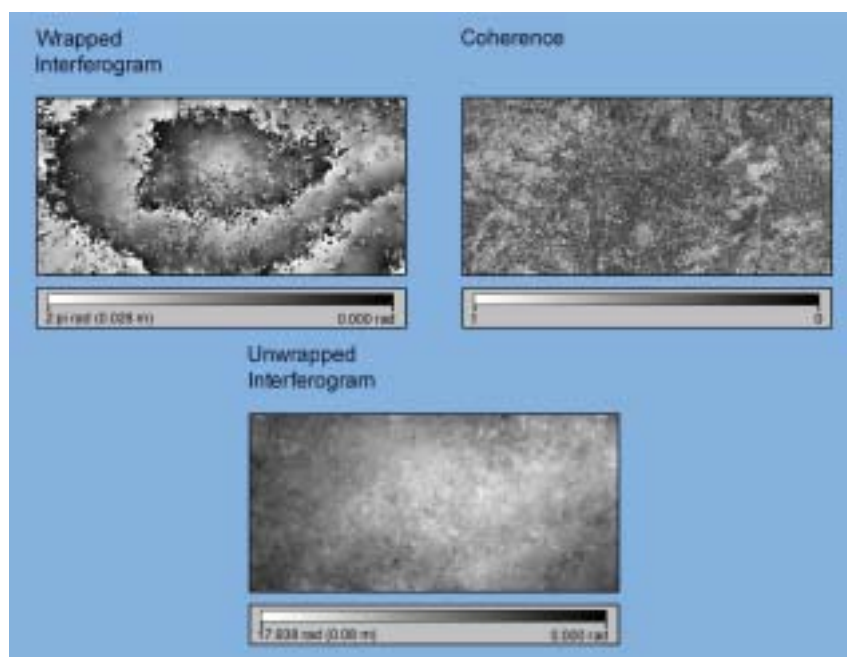


Figura 4. “Desenvolviendo” la fase: El interferograma con involuación original de entrada (arriba a la izquierda) y la imagen de coherencia empleada para obtener los datos de los pesos para el proceso de los mínimos cuadrados, y el interferograma sin involuación de salida (abajo)

de InSAR, en el mismo sistema geodésico de referencia que el modelo digital del terreno, es decir, en el huso 34 de la proyección UTM, con el datum europeo ED50 (sobre el elipsoide de Hayford). Las coordenadas de las referencias de altitudes se encontraban, sin embargo, en el HGRS 87, empleando la proyección Transversa de Mercator con un meridiano cero a 24°.

Para resolver esta incompatibilidad de los sistemas de referencia geodésica, el interferograma, que inicialmente estaba en ED50 UTM 34, se volvió a muestrear en el sistema HGRS 87. Este procedimiento conllevó los siguientes pasos, que se aplicaron a cada píxel del interferograma, manteniendo, a través de cada paso, la fase sin involuación del interferograma:

- Conversión de las coordenadas cartográficas UTM ED50 (Este-Oeste y Norte-Sur – \mathbf{e}, \mathbf{n}), a coordenadas elipsoidales ED50 (latitud y longitud – ϕ y λ), asignando a la vez altitudes ortométricas (\mathbf{H}) a cada píxel a partir del modelo digital del terreno empleado en el procesamiento interferométrico.
- Conversión de las altitudes ortométricas a altitudes geométricas (\mathbf{h}), implementando para ello un valor constante aditivo de la ondulación del geode en la totalidad de la zona de interés, explotando el hecho de que el geode en esta zona es relativamente “plano”, o sea que, en otras palabras, muestra un gradiente muy bajo. Este valor se obtuvo con el modelo del geode OSU91 de la Universidad Estatal de Ohio y se recalculó en el ED50.
- Las coordenadas elipsoidales ED50 se convirtieron a coordenadas cartesianas ED50 ($\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}$).

- Las coordenadas geocéntricas cartesianas ED50 se convirtieron a coordenadas geocéntricas cartesianas en el HGRS 87, asumiendo que sólo había un desplazamiento del paralelo.
- Las coordenadas geocéntricas cartesianas HGRS 87 se convirtieron a coordenadas elipsoidales HGRS 87 (latitud y longitud – ϕ y λ). En este punto se descartó la información de altitudes de cada punto.
- Finalmente, las coordenadas elipsoidales HGRS 87 (latitud y longitud – ϕ y λ) se convirtieron en coordenadas HGRS 87 sobre la proyección Transversa de Mercator (Este-Oeste y Norte-Sur – \mathbf{e}, \mathbf{n}).

8. CORRECCIÓN DE LA LÍNEA DE LA VISUAL

Aun después de resolver la incompatibilidad de los sistemas de referencia geodésica, no es posible realizar comparaciones, debido a que el interferograma sin involuación ofrece los desplazamientos diferenciales verticales de cada píxel proyectados sobre el vector de la línea de la visual ($\Phi_{LOS}(\mathbf{e}, \mathbf{n})$) de cada visual en particular y no los propios desplazamientos diferenciales verticales ($\Phi_{du}(\mathbf{e}, \mathbf{n})$), como sucede con la nivelación:

$$\Phi_{LOS}(\mathbf{e}, \mathbf{n}) = \cos(\ln(\mathbf{e}, \mathbf{n})) \Phi_{du}$$

Para poder determinar los desplazamientos diferenciales verticales a partir de su proyección sobre la línea de la visual, se necesita conocer los valores de los ángulos de incidencia ($\ln(\mathbf{e}, \mathbf{n})$) de cada píxel visualizado. El procedimiento de cálculo de los ángulos de incidencia se basa en datos de la trayectoria del satélite y en la posición del objeto visualizado.

Para poder determinar los desplazamientos diferenciales verticales a partir de su proyección sobre la línea de la visual, se necesita conocer los valores de los ángulos de incidencia ($\ln(\mathbf{e}, \mathbf{n})$) de cada píxel visualizado. El procedimiento de cálculo de los ángulos de incidencia se basa en datos de la trayectoria del satélite y en la posición del objeto visualizado.

Inicialmente hay que calcular, para cada objeto visualizado, la posición cero-Doppler del sensor SAR transportado por satélite. Esto se consiguió a través del siguiente proceso, preferentemente sobre la imagen master (o de referencia).

Se ajustaron unos polinomios de tercer grado, mediante mínimos cuadrados, sobre los vectores de posición conocidos del satélite $\vec{\mathbf{r}}$ obtenidos de las órbitas operativas del ERS y que se encuentran en cada archivo de encabezamiento de las imágenes de InSAR. Estos polinomios aportan simplemente los vectores de posición del satélite en el marco de referencia geocéntrico de la órbita terrestre, en función del tiempo. Se obtienen tres polinomios, uno para cada coordenada $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}$, disponiéndose por tanto de tres ecuaciones.

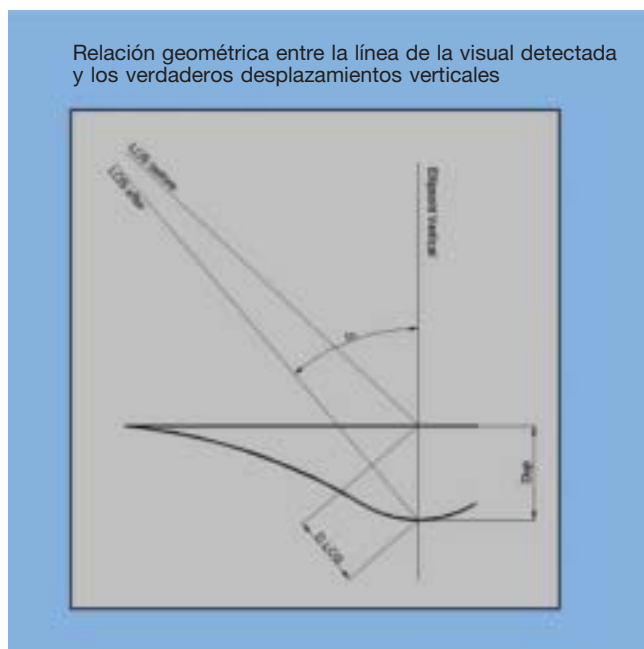


Figura 5. Geometría relativa de la verdadera deformación vertical y de la deformación ofrecida por el InSAR

El mismo procedimiento se aplicó a los vectores de velocidad del satélite $\dot{\vec{r}}$. Se obtienen tres ecuaciones adicionales.

Para cada objeto visualizado se realiza el siguiente procedimiento:

- Las coordenadas de la proyección cartográfica del objeto visualizado se convierten a coordenadas cartesianas geocéntricas en el marco de referencia geodésica terrestre en el que se dan las órbitas del satélite (en este caso en particular se pasa desde las coordenadas del mapa en HGRS 87 a coordenadas cartesianas geocéntricas en ITRF 96)
- El cambio de frecuencia Doppler promedio se calcula mediante el programa *Diapasón CNES* en los inicios del procesamiento y se asume sin errores significativos, que se mantendrá para cada píxel visualizado. El cambio de frecuencia Doppler se expresa en función de la posición del satélite, de los vectores de velocidad y de la posición del objeto visualizado, mediante la siguiente ecuación:

$$\eta(i, j) = \frac{2(\vec{r}(i, j) - \vec{r}(t_1)) \cdot \dot{\vec{r}}(t_1)}{\lambda \left| \vec{r}(i, j) - \vec{r}(t_1) \right|}$$

- Hasta el momento se han acumulado un total de 7 ecuaciones y se ha introducido igual número de incógnitas: tres del vector de posición del satélite, otras tres del vector de velocidad del satélite y una más para el tiempo en particular. Se dispone pues, de un sistema no lineal de siete ecuaciones para la obtención de las siete incógnitas. El sistema se hace lineal mediante una expansión por series de Taylor y se resuelve iterativamente. La solución del sistema mencionado aporta la estimación del vector de posición del satélite, en tanto que las esti-

maciones de la velocidad y del tiempo aparecen como productos adicionales.

- Conociendo los vectores de posición del satélite y del objeto visualizado, el vector unitario de la línea de la visual (LOS) se puede calcular sencillamente mediante la siguiente ecuación vectorial:

$$\text{LOS}(i, j) = \frac{(\vec{r}(i, j) - \vec{r}(t_1))}{\left| \vec{r}(i, j) - \vec{r}(t_1) \right|}$$

- Las coordenadas elipsoidales de la posición del objeto visualizado (latitud y longitud) son calculadas y se expresan sobre el mismo marco de referencia geodésico terrestre empleado para expresar las órbitas y las coordenadas del objeto visualizado en el anterior paso de este procedimiento.
- Una vez conocidas las coordenadas elipsoidales latitud y longitud (ϕ_{ij}, λ_{ij}) del objeto visualizado, las componentes del vector de la línea de la visual se transforman al sistema geodésico local de referencia (delta Norte-**Dn**, delta Este-**De**, delta altitudes-**Du**) mediante una matriz de rotaciones. Esto se expresa mediante la ecuación que sigue:

$$\begin{bmatrix} \text{DX}(t) \\ \text{DY}(t) \\ \text{DZ}(t) \end{bmatrix} \mathbf{R}(\phi_{ij}, \lambda_{ij}) = \begin{bmatrix} \text{Dn}(t) \\ \text{De}(t) \\ \text{Du}(t) \end{bmatrix}$$

- Esencialmente, la tercera componente del vector de la línea de visualización, expresado en el sistema geodésico local de referencia, es actualmente la dirección del coseno del eje hacia arriba del sistema y, consecuentemente, el coseno del ángulo de incidencia **In**. Así pues, el ángulo de incidencia puede deducirse mediante una sencilla operación arco tangente: **In** = arc tan (**Du**)

9. SUAVIZADO DE LOS DESPLAZAMIENTOS DIFERENCIALES VERTICALES

Un examen cuidadoso y detallado del interferograma sin involución revela la presencia de anomalías de fase locales en algunas áreas, que van desde uno a varios píxeles, en cuya fase existen valores muy distantes de los que prevalecen en las zonas contiguas. Estas anomalías han sobrevivido al procedimiento de filtrado descrito previamente.

Queda más allá del ámbito de este proyecto en particular, el explorar y estudiar las causas de estos residuos de fase, pero puede asumirse que proceden de diferencias troposféricas espaciales locales, o de otras formas de decorrelación temporal. Sea cual fuese su causa, no pueden ser atribuidos a la actividad tectónica del terremoto de Atenas. Adicionalmente, se observó que las áreas afectadas por estas anomalías presentan significativamente una baja correlación, tal como se observa en las

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, 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.

Autodesk[®]

Autodesk Map 3D

imágenes de coherencia, y pueden, por tanto, ser excluidas de este análisis.

Se decidió que la exclusión de estas anomalías de fase, en otras palabras, la suavización de las fases del interferograma, debía efectuarse, explotando el bajo gradiente de fase de las deformaciones tectónicas, mediante el ajuste de una superficie matemática tridimensional por mínimos cuadrados sobre las fases $\Phi_{du}(e, n)$ corregidas de línea de la visual del interferograma sin involución. Esta superficie proporcionará las deformaciones verticales para cada píxel visualizado, una vez que se dé como entrada sus coordenadas cartográficas e, n .

Con la finalidad de asegurar unas restricciones minimizadas en el patrón del campo de desplazamientos, se empleó la forma más general de modelo matemático de una superficie tridimensional de grado m :

$$\Phi_{du}(e, n) = -(h) + a_{20} \cdot e^2 + a_{02} \cdot n^2 + a_{21} \cdot e^2 \cdot n + \dots + a_{m0} \cdot e^m + a_{0m} \cdot n^m + a_{21} \cdot e^2 \cdot n + a_{12} \cdot e \cdot n^2 + \dots + a_{m1} \cdot e^m \cdot n + a_{1m} \cdot e \cdot n^m + a_{2(m-1)} \cdot e^2 \cdot n^{(m-1)} + a_{2(m-2)} \cdot e^2 \cdot n^{(m-2)} + \dots + a_{2(m-1)2} \cdot e^{(m-1)} \cdot n^2 + a_{2(m-1)m} \cdot e^{(m-1)} \cdot n^m$$

Tras varios pases, se determinó que un grado de la superficie polinómica superior a tres sería redundante, dado que no aportaba ninguna mejora en términos de la varianza *a posteriori*, ni de los residuos de la medición. Todos los coeficientes de grado superior eran esencialmente cero. En la figura 6 se presenta la superficie, obtenida con dos formas diferentes de visualización, mapa en color y trazado de curvas de nivel.

10. ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS DIFERENCIALES VERTICALES OBTENIDOS MEDIANTE InSAR Y NIVELACIÓN

Usando el modelo tridimensional de la superficie obtenido en la sección anterior, es posible extraer del mismo un perfil de los desplazamientos diferenciales verticales a lo largo del itinerario de la nivelación, tal como los ofrece el InSAR. Una de las ventajas del modelado matemático de los desplazamientos diferenciales verticales es el empleo de la extrapolación, que hace posible obtener unas estimaciones de los desplazamientos en aquellas áreas no recubiertas por el interferograma. Esto fue muy útil en el proyecto, dado que una notable parte de la nivelación queda fuera del interferograma.

Usando el modelo previamente obtenido, el desplazamiento diferencial vertical se estima en las posiciones donde existe referencia de altitudes. De esta forma, la sección del perfil de los desplazamientos diferenciales verticales que ofrece el InSAR a lo largo de los tramos del itinerario de la nivelación se calcula como sigue:

$$[D_{iHR_j}, \Phi_{du}(e_{iHR_j}, n_{iHR_j})]$$

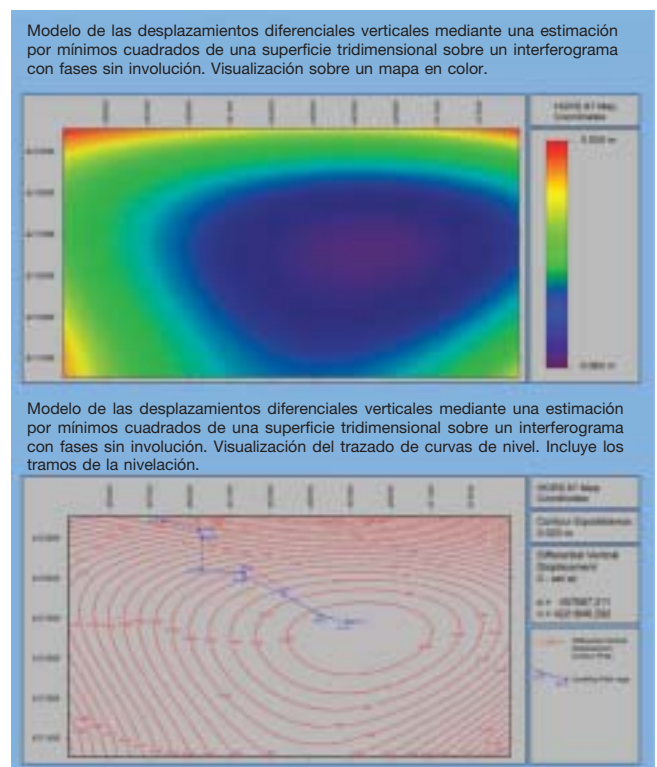


Figura 6. Modelado de los desplazamientos diferenciales verticales por medio de una superficie matemática tridimensional de tercer grado. Arriba se ve una visualización en color y abajo un trazado de curvas de nivel

$D_{HR_{i,j}}$ representa la suma total de las distancias horizontales en los sucesivos tramos de la nivelación, hasta el punto $HR_{i,j}$. Dado que se trata de desplazamientos diferenciales verticales, hay que definir un origen, y se decidió que este fuese el HR_{65} . En consecuencia, su desplazamiento se hace cero. El resto de los desplazamientos diferenciales verticales se dan con respecto al HR_{65} . En la tabla 3 se presentan los datos del perfil del InSAR y de la nivelación; los gráficos se presentan en la figura 7.



Figura 7: Secciones de los perfiles de las desplazamientos diferenciales verticales obtenidos mediante interferometría InSAR y nivelación convencional.

Referencias de altitudes	Coordenadas del mapa posición HGRS 87		Distancias horizontales entre sucesivas referencias de altitudes (m)	Sumatorias de las distancias horizontales de los tramos de la nivelación (m)	Desplazamientos diferenciales verticales con respecto a HR65 (m)		Diferencias de los desplazamientos diferenciales verticales (nivelación – InSAR) (m)
	e (m)	n (m)			Leveling	InSAR	
HR id	e (m)	n (m)	D Hz	ΣD Hz	Leveling	InSAR	
HR 65	457687,211	4221846,292	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
HR 66	459452,656	4221448,342	1809,740	1809,740	-0,0080	-0,0085	0,0005
HR 67	459596,995	4221007,964	463,429	2273,169	-0,0110	-0,0150	0,0040
HR 68	459637,956	4219382,052	1626,428	3899,597	-0,0320	-0,0300	-0,0020
Hr69	461650,111	4219285,583	2014,466	5914,064	-0,0360	-0,0350	-0,0010
HR 70	461704,263	4219080,368	212,240	6126,303	-0,0410	-0,0370	-0,0040
HR 71	463673,404	4218179,781	2165,311	8291,614	-0,0440	-0,0450	0,0010
HR 72	465504,885	4217124,455	2113,773	10405,387	-0,0450	-0,0510	0,0060
HR 73	466827,810	4216790,128	1364,516	11769,904	-0,0480	-0,0530	0,0050
HR 74	467031,711	4216809,064	204,778	11974,682	-0,0490	-0,0530	0,0040

Tabla 3: Desplazamientos diferenciales verticales a lo largo del trayecto de la nivelación y diferencias en el trayecto, tal como se obtienen a partir de la Interferometría de InSAR y de datos de nivelación convencional.

II. CONCLUSIONES

En términos generales, y estudiando los perfiles de la figura 6, se puede concluir que no se han presentado grandes discrepancias en los desplazamientos diferenciales verticales obtenidos mediante Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) y los obtenidos mediante nivelación:


- Ambos casos presentan la misma tendencia (los mismos signos de desplazamiento diferencial vertical en todos los tramos de los dos perfiles) desde la referencia HR65 a la HR74.
- También parece existir un acuerdo entre los dos perfiles en todo lo referente al gradiente del desplazamiento diferencial vertical y no hay evidencia de ninguna desviación sistemática entre ellos.
- Las diferencias de los desplazamientos diferenciales verticales entre los dos perfiles no exceden los 6 milímetros. Estas diferencias se deben a los errores de la nivelación trigonométrica de 1984, a los errores de la nivelación de 2001, al ruido del interferograma InSAR y a los errores inducidos por el modelo digital del terreno en el interferograma (una altitud de la ambigüedad de cerca de -67 metros y la desviación típica del modelo digital del terreno ocasionan ciclos de fase de 0,15).

La conclusión final de todo el trabajo es que no hay duda de que el Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) suministra los desplazamientos con una precisión de escasos milímetros.

REFERENCIAS

- Balodimos D. (1979). "The development of a special trigonometric leveling technique", *Tecnika chronica* Vol. 3, Athens, (in Greek).
- Deltsidis P., Saridakis M. (2001). *Displacement determination with terrestrial and satellite methods*, Diploma Thesis, Dionysos Satellite Observatory, National Technical University of Athens, (in Greek).
- Kontoes C., Elias P., Sykioti O., Briole P., Remy D., Sachpazi M., Veis G., Kotsis I. (2000). "Displacement Field Mapping and Fault Modeling of the Mw = 5.9, September 7, 1999 Athens Earthquake based on ERS – 2 Satellite RADAR Interferometry", *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, No 24, 3989-3992.
- Liu G., Chen Y., Ding X., Li Z. (2002) "Monitoring Ground Settlement in Hong Kong with Satellite SAR Interferometry", FIG XXII International Congress Washington D.C., USA.
- Odijk D., Kenselaar F., Hanssen R. (2003). "Interation of Leveling and InSAR Data For Land Subsidence Monitoring", 11th International FIG Symposium Santorini, Greece.
- Papanastassiou D., Stavrakakis G. Drakatos G. and Papadopoulos G. (1999). "The Athens, September 7, 1999, Ms=5.9, Earthquake: First Results on the Focal Properties of the Main Shock and the Aftershock Sequence", *Ann. Geol. des Pays Helleniq*, submitted for publication.
- Technical Report (1984) *Mornos Aqueduct Leveling*, Higher Geodesy Laboratory, National Technical University of Athens. ■





Las herramientas adecuadas
El soporte apropiado
En el momento justo

Métase de un salto, ajústese el cinturón y agárrese. La revolución en la topografía ha comenzado y Trimble está en primera línea. Mucho más que una empresa vendiendo tecnología topográfica. Disponemos de un experimentado equipo dedicado a ayudarle a alcanzar el éxito. Trimble es un acreditado líder a la hora de proporcionar soluciones topográficas de calidad y versatilidad superiores. Además preparamos su negocio para el futuro, tanto en la oficina como en el campo. Ofreciendo un incremento de la productividad, un rendimiento máximo de los beneficios respecto a la inversión realizada y preparándole ante cualquier imprevisto o sorpresa sobre el terreno, el equipo Trimble estará con usted en cada vuelta.

**NO PIERDA LA OPORTUNIDAD
DE VISITARNOS EN:**

Trimble
DIMENSIONS
2006
6-8 NOVIEMBRE, 2006
HOTEL MIRAGE, LAS VEGAS
www.trimbleevents.com

Trimble Ibérica:
Tel. 91 351 01 00

 **Trimble**

www.trimble.es

El Geoide submétrico de México

Antonio Hernández Navarro

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA DE MÉXICO

Resumen

El incremento en el uso y aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que en los últimos años se ha tenido en México, combinado con la necesidad de poder usar este tipo de equipos en la determinación de posiciones verticales referidos a un sistema de alturas basado en alturas ortométricas, motivaron la necesidad de contar con una solución geoidal para el área mexicana, acorde con la precisión posicional que generan este tipo de instrumentos.

En este trabajo se muestran los avances en el proyecto que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) de México ha tenido con objeto de contar con la solución geoidal posible más exacta, la cual, en principio, será consistente con la que desarrolla la Subcomisión para la Gravedad y el Geoide de Norteamérica del Servicio Internacional del Geoide. A la fecha, se cuenta con una solución preliminar, la cual tiene un error medio cuadrático cercano al metro, buscándose lograr una solución a nivel centimétrico dentro de los próximos tres años. El propósito de este proyecto tiene la intención fundamental de establecer un modelo matemático que defina la forma del geoide, con respecto al elipsoide GRS80, en el área de la República Mexicana, con el propósito de llevar las observaciones terrestres a un sistema geodésico verdadero referido al ITRF92 época 1988.0, el cual es el sistema oficial de México. La solución adoptada emplea el esquema Stokes-Helmert, desarrollado en la Universidad de New Brunswick bajo el liderazgo del Prof. Petr Vaníček.

Abstract

The increasing use and application of the Global Positioning System (GPS) that in the last years has had in Mexico, combined to the necessity at been able to use this type of equipment to determine vertical positions referred to a system of heights based on orthometrics heights, motivated the necessity at counting with a geoidal solution for the Mexican area, according to the positional precision that generate this type of instruments.

This presentation shows advances in the project that the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI) of Mexico is developing in order to have the most accurate geoidal solution for the country as possible, which in principle, will be consistent with the developed for the North American Gravity and Geoid Subcommittee of the International Geoid Service. Up to date we have a preliminary solution, which has a root mean square error near to a meter, trying to achive a solution at centimetric level within the next three years. The purpose of this project has as fundamental intention, determining a mathematical model that defines the form of the geoid, with respect to GRS80 ellipsoid, in the area of the Mexican Republic, in order to take the terrestrial observations to a true geodetic system referred to the ITRF92 epoch 1988.0, which is the official reference frame for Mexico. The solution adopted use the Stokes-Helmert scheme, developed at University of New Brunswick under leadership of Prof. Petr Vaníček.

I. INTRODUCCIÓN

México adoptó el software de Stokes-Helmert para el geoide (SHGEO) con el efecto de disponer de una solución del geoide en todo el país. SHGEO es un software científico para la determinación del geoide con precisión, basado en la teoría de Stokes-Helmert para la determinación del geoide gravimétrico. El software fue desarrollado durante un periodo de más de 10 años bajo la dirección del profesor Petr Vaníček, del Departamento

de Ingeniería Geodésica y Geomática de la Universidad de Nueva Brunswick. Los autores de los programas particulares son M. Najafi, P. Novak, J. Huang, J. Janak y R. Tenzer. También debemos mencionar a Z. Martinec, A. Kleusberg, L.E. Sjöberg, W.E. Featherstone y W. Sun, cuyas investigaciones, presentadas en diversos artículos, fueron incorporadas al programa SHGEO. El programa SHGEO emplea varios modelos globales (como, por ejemplo, el TUG87, el GRIM4-S4 y el EGM96). Estos modelos globales desempeñan un importante papel en el esquema del cálculo del geoide (R. Tenzer y alumnos, 2003).



Figura 1: Estructura del programa SHGEO

El esquema de Stokes-Helmert para la determinación del geoide con precisión puede resumirse en los pasos siguientes:

- Formulación del problema del valor límite sobre la superficie de la Tierra
- Evaluación de las anomalías de la gravedad de Helmert sobre la superficie de la Tierra
- Prolongación hacia abajo de las anomalías de la gravedad de Helmert sobre el geoide
- Integración de Stokes (solución del problema del valor del límite de Stokes)
- Transformación de las altitudes geoidales, desde el espacio de Helmert al espacio real.

La estructura del software de SHGEO se ilustra en la figura 1.

2. LOS DATOS

Para poder determinar, con éxito y precisión, el geoide, los datos de entrada desempeñan un papel fundamental. Los datos deben tener la precisión adecuada y una buena distribución sobre el área en cuestión. El programa SHGEO necesita de al menos dos de los tres distintos tipos de datos, como, por ejemplo, altitudes y valores puntuales de gravedad. El tercero es la topo-densidad, es decir, el modelo de densidad lateral de las masas sobre el geoide.

Los datos de las elevaciones proceden de tres fuentes diferentes:

- De un modelo digital de elevaciones detallado, con una resolución de 3" por 3", o de 1" por 1" si existiera.
- De un modelo digital de elevaciones de altitudes medias, como, por ejemplo, el GTOPO30.
- De un modelo global, como, por ejemplo, el TUG87.

Para completar el primer tipo de datos de elevación, se emplea el modelo digital de elevaciones producido por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), remuestreando los datos de altitudes cada 1" en toda el área de México, y los datos de altitudes obtenidos por el STRM para los EEUU, América Central y zona del Caribe.

Los datos de la gravedad deben estar en dos formas distintas: Valores detallados de la gravedad en los puntos, con una densidad de un valor en cada malla de 5" por 5", y en toda la región de interés. La segunda fuente de datos gravimétricos proviene de los modelos globales, tales

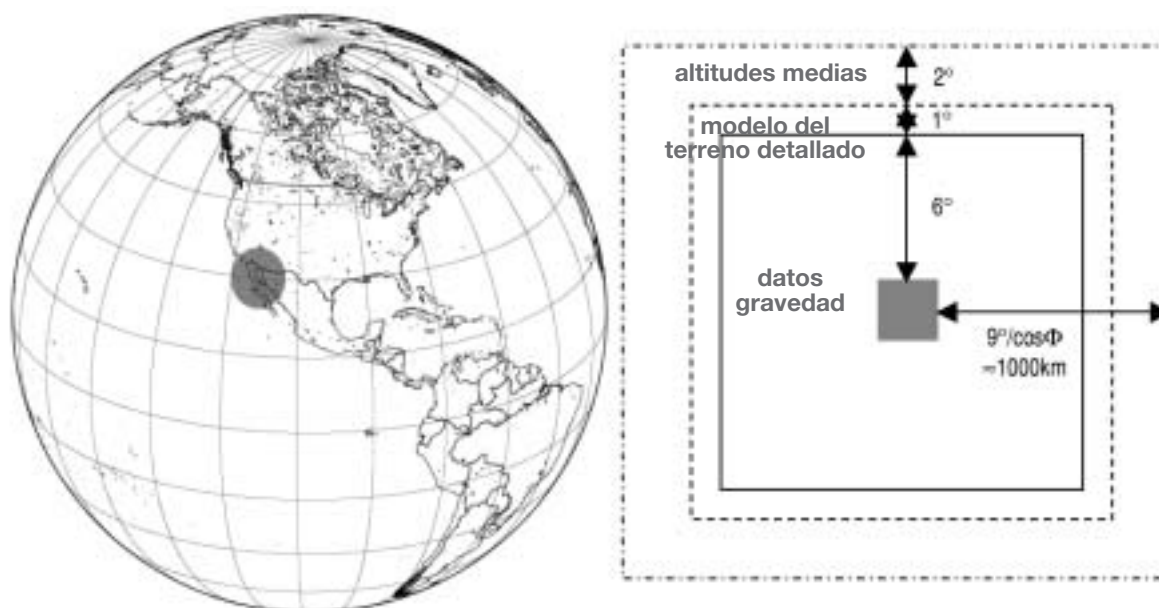


Figura 2: Cobertura recomendada para los datos de entrada al programa

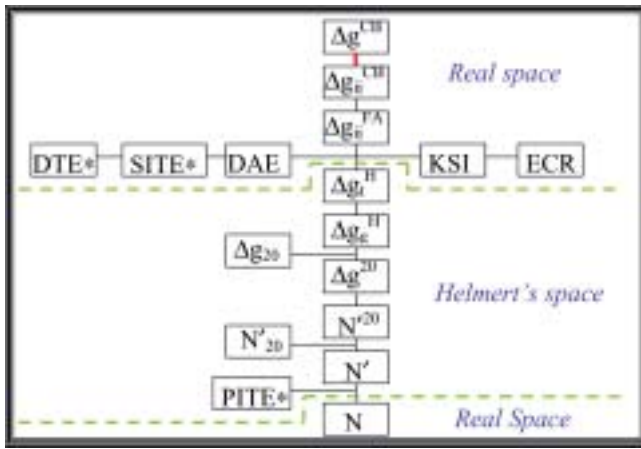


Figura 3: Esquema de los cálculos

como el GRIM-4S en la zona de referencia, y del EGM96 para rellenar huecos en las áreas vacías.

En la actualidad, y en el área en la que nos interesa hallar la solución del geode, se dispone, en la base de datos geodésicos del INEGI, en su rama Gravimétrica, de un inventario con 527.371 estaciones sobre el terreno, con los valores de la gravedad obtenidos mediante observaciones directas, y de 788.556 valores en la zona marina, obtenidos en la misión TOPEX-POSEIDON, lo que supone un total de 1.315.927 valores de la gravedad.

En la figura 2 se muestra la cobertura recomendada de los datos de entrada y en la figura 3 se muestra el esquema de los cálculos. Para una



Figura 4: la solución del geode

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.

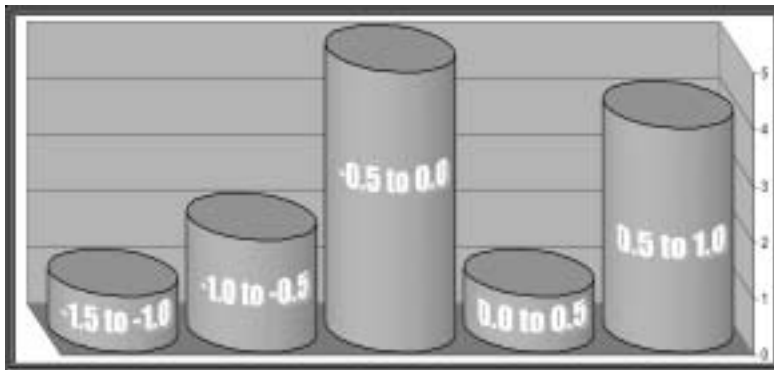


Figura 5: Comparación de la nivelación con GPS con el modelo del geoide

descripción completa del modelo matemático empleado, ver las referencias de la lista (UNB 2002).

3. ÁREA DE PRUEBAS

La solución del geoide aquí mostrada (figura 4), se efectuó durante el curso de formación del programa SHGEO que se impartió en la sede del INEGI durante la segunda mitad de julio del año 2002. Desafortunadamente, tanto los datos de gravedad como los del modelo del terreno estaban sin refinar y la solución geoidal no fue lo suficientemente buena, como debía de haberlo sido de acuerdo con la técnica empleada.

El área para experimentar la prueba numérica se seleccionó sobre la parte central de México y consistió en un cuadrado de 2° de longitud por 2° de latitud. Tal vez el número de datos de gravedad fuera suficiente, pero había en ellos una serie de fallos sin detectar. Además, el modelo digital de elevaciones se generó en dos sistemas de referencia geodésica diferentes, el NAD27 y el ITRF92 época 1988.

Con el fin de obtener una estimación de la calidad del geoide gravimétrico, la solución fue comparada con 13 altitudes geoidales obtenidas a partir de observaciones GPS y realizadas sobre señales de nivelación de primer orden. En relación con estas señales de nivelación, hay una cosa importante a tener en cuenta, y es que, en el área de pruebas y debido a las actividades agrícolas, se está extrayendo del subsuelo una gran cantidad de agua, lo que ocasiona un hundimiento de 1,5 centímetros

por mes. Este valor ha sido observado en la estación GPS de referencia continua situada en la parte central de la zona de pruebas.

El error medio cuadrático obtenido a partir de la comparación entre el geoide gravimétrico y las ondulaciones geoidales obtenidas mediante mediciones GPS, es de $\pm 0,599$ metros. Las frecuencias de las diferencias entre las altitudes gravimétricas geoidales y la ondulación geoidal obtenida mediante mediciones GPS sobre las señales de nivelación, se muestran en la figura 5, en la que todos los valores se expresan en metros. Estas mismas 13 altitudes geoidales fueron comparadas con la solución del geoide MEX97, obtenida por el Instituto Geodésico Nacional

(NGS 2001), y el error medio cuadrático resultante fue de $\pm 0,562$ metros. La diferencia entre ambos errores medios cuadráticos es demasiado pequeña, razón por la cual pensamos que, de haberse refinado y expurgado de errores la información gravimétrica y los modelos del terreno, los resultados obtenidos, al aplicar el método de Stokes-Helmert, hubiesen sido mejores.

Sin embargo, se continuará trabajando en la depuración de los datos fuente, así como en la generación de nuevos datos gravimétricos y nuevas observaciones GPS sobre las señales de nivelación de primer orden, y también efectuando la renivelación de la red vertical nacional de primer orden del país.

Se espera disponer de toda la información necesaria para el proyecto a lo largo de los próximos tres años, con lo que se generará una solución geoidal de precisión para todo el país durante el año 2006.

REFERENCIAS

- NGS, (2001). *What geoid and deflection models has NGS made in the last decade?*. <http://www.ngs.noaa.gov/GEOID>
- Tenzer, R and Juraj Janak, (2003). *Stokes-Helmert's scheme for precise geoid determination*. Revista Cartográfica No. 74-75. Pan-American Institute of Geography and History, Mexico City, Mexico.
- UNB, (2002). SHGEO. *Stokes – Helmert's GEOid software. Reference manual. Software for Precise Geoid Computation*, The University of New Brunswick, Canada. ■

Doce años de la Red Geodésica Nacional Activa de México

Antonio Hernández Navarro

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA DE MÉXICO

Resumen

México es una nación que basa su desarrollo en la información. En febrero de 1992, a través del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), puso en operación la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), la cual es la base fundamental para toda clase de levantamiento geodésico en el país. A la fecha, la RGNA es un conjunto de 15 estaciones de referencia de operación continua de la señal de los satélites NAVSTAR. Esta contribución muestra los resultados que después de 12 años de operación se han tenido, así como los planes futuros para su modernización.

Abstract

Mexico is a nation who based its development in information. In February 1992 through the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), put in operation the National Active Geodetic Network (Red Geodésica Nacional Activa, RGNA), which is the fundamental infrastructure of the country for all kind of geodetic works. To the date, RGNA is a set of 15 stations of continuous operation reference stations of the signal of NAVSTAR satellites. This contribution shows the results that after 12 years of operation has been has, as well as the plan for its modernizations.

I. INTRODUCCION

México es una nación que basa su desarrollo en la información. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) es el organismo oficial en México responsable de elaborar todos los productos geográficos y geodésicos oficiales del país.

En consecuencia, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática ha establecido una Red Geodésica Nacional de GPS de alta precisión, referida al marco de control definido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra/Marco de Referencia Internacional Terrestre (IERS/ITRF). Integradas a este marco de referencia geocéntrico existen 15 estaciones GPS con seguimiento continuo, que reciben el nombre de Red Geodésica Nacional Activa - RGNA (figura 1). La posición de estas estaciones ayuda a materializar el marco de referencia espacial, además de servir para propagar las coordenadas a cualquier otra posición de observación. Una de las principales metas de la Red Geodésica es servir como base o armazón para los recientes trabajos efectuados, con el fin de crear un sistema de catastro rural (PROCEDE). Los objetivos de PROCEDE son buscar y generar las evidencias cartográficas pertinentes que sirvan de base para la transferencia legal de las propiedades en las zonas rurales de México. Esta información se guarda en una base de datos cartográficos, acorde con el ITRF, y que sirve de base para todos los productos cartográficos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Después de 12 años de haberse puesto en marcha la Red Geodésica Nacional Activa en México (A. Hernández y J. M. Cortes, 1996), es hora de hacer algunas reflexiones que contribuyan a evaluar el servicio prestado por las 15 estaciones de referencia continua que la forman y que se hallan definidas dentro de un orden de precisión de 1:10 millones, equivalente al orden A de la propuesta de normas del National Geodetic Survey de los EEUU de América (FGCC, 1988).

Station name	North latitude (° ' ")	West longitude (° ' ")	Geodetic height (m)	Antenna vertical height (m)
CAM2	19 50 39,93767	90 32 24,58870	12,191	0,1440
CHET	18 29 42,99542	88 17 57,20162	3,0126	0,1473
CHI3	28 39 43,89732	106 05 12,25225	1413,1851	0,2570
COL2	19 14 40,00225	103 42 06,77207	528,8403	0,1696
CULI	24 47 54,79178	107 23 02,18514	75,4503	0,1473
HER2	29 05 33,17336	110 58 01,96439	186,9589	0,2224
INEG	21 51 22,15474	102 17 03,12524	1888,316	0,1805
LPAZ	24 08 19,66904	110 19 09,63570	-7,215	0,1326
MERI	20 58 48,16279	89 37 13,13418	7,9119	0,1352
MEXI	32 37 58,76806	115 28 32,51529	-22,4206	0,1488
MTY2	25 42 55,82609	100 18 46,45205	521,7806	0,1410
OAXA	17 04 49,63916	96 43 09,50761	1595,7600	0,1540
TAMP	22 16 41,95723	97 51 50,48937	21,1075	0,1640
TOL2	19 17 35,64431	99 38 36,49337	2651,725	0,1520
VIL2	17 59 25,47706	92 55 51,94738	27,7200	0,1360

Tabla 1. Coordenadas geodésicas de las estaciones GPS con seguimiento continuo

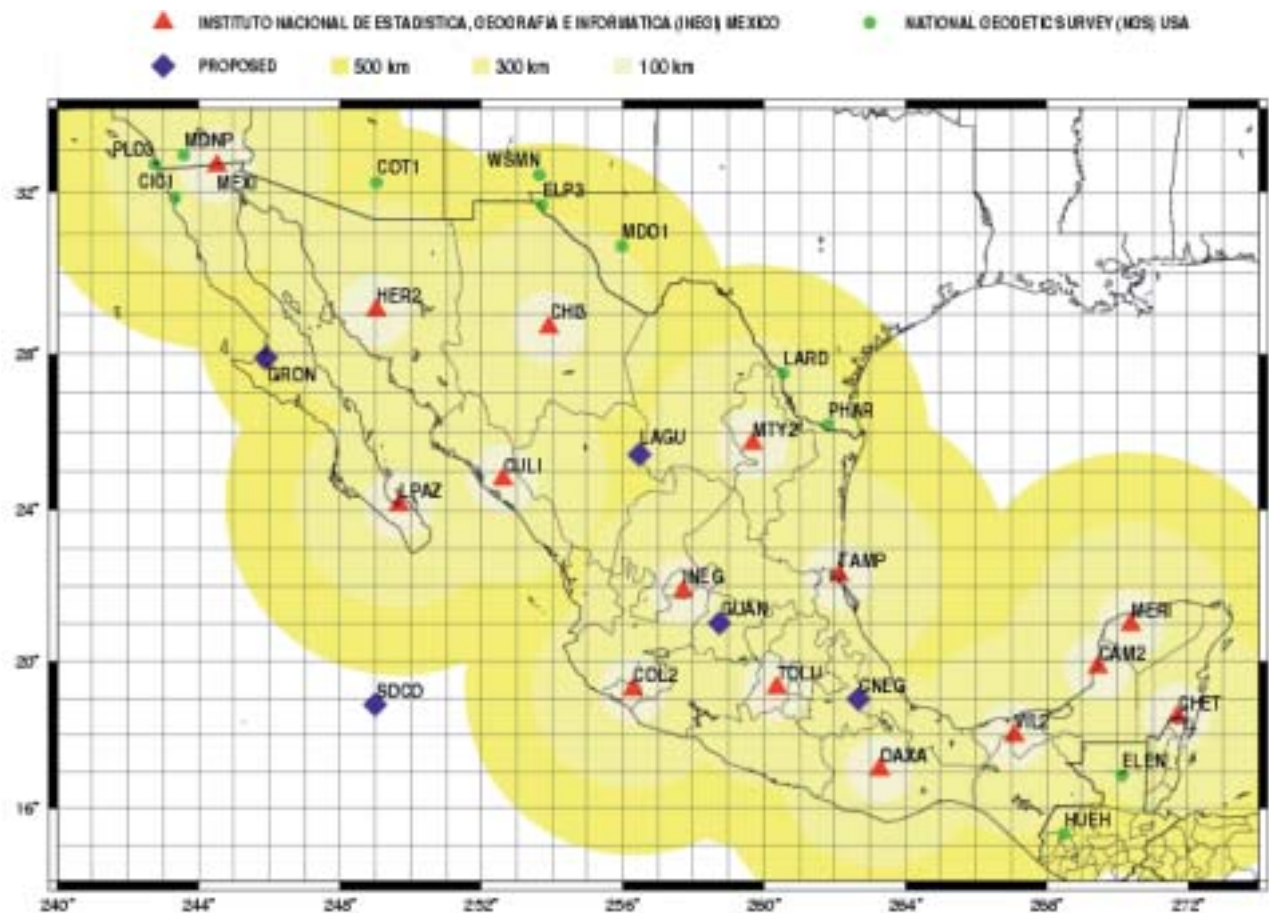


Figura 1. Red Geodésica Nacional Activa RGNA

El criterio que se siguió para el establecimiento de las 15 estaciones fue el asegurar una cobertura a nivel nacional, de manera que cualquier punto localizado dentro del área continental de México tuviera acceso a la información de, al menos, una estación de la red. Con este fin se seleccionó un radio de cobertura de 500 km por estación. Se eligió esta distancia ya que permite, de manera fiable, el procesamiento de la información con los métodos convencionales y con los programas comerciales de cálculo. En la tabla 1 se muestran las coordenadas geodésicas de estas estaciones referidas al ITRF92, época 1988, y con el GRS80 como sistema geodésico de referencia (Soler y al. 1988).

2. EL SERVICIO

La intención de disponer de un sistema de control era acorde con los requisitos de la época y trataba de contribuir, con un marco de referencia uniforme, a la coordinación de todas las actividades de los levantamientos geodésicos dentro de una zona determinada. Aunque es posible realizar las mediciones sin, o con muy pocos, puntos de control, la experiencia ha demostrado que la falta de un sistema de referencia adecuado puede significar, a largo plazo, un incremento en los costes y en las dificultades de los trabajos.

Si se hiciera un análisis de los resultados obtenidos con la Red Geodésica Nacional Activa, se señalaría que fue un acierto el poner en funcio-

namiento esta forma innovadora de referir y ligar los levantamientos a un sistema geodésico de referencia con un alto grado de fiabilidad. Así pues, es posible comentar que el servicio prestado por la Red Geodésica Nacional Activa a sus usuarios ha sobrepasado todas las expectativas, logrando, de esta manera, consolidarse como la mejor alternativa para

Aguascalientes	734	Morelos	614
Baja California	1463	Nayarit	918
Baja California Sur	623	Nuevo Leon	2029
Campeche	862	Oaxaca	1720
Coahuila	717	Puebla	1327
Colima	532	Queretaro	1018
Chiapas	2056	Quintana Roo	705
Chihuahua	3070	San Luis Potosi	1624
Distrito Federal	127	Sinaloa	2616
Durango	3848	Sonora	2491
Estado de Mexico	3671	Tabasco	1618
Guanajuato	2039	Tamaulipas	526
Guerrero	2355	Tlaxcala	945
Hidalgo	1519	Veracruz	6492
Jalisco	2735	Yucatan	2063
Michoacan	3071	Zacatecas	2006

Tabla 2. Puntos de primer orden

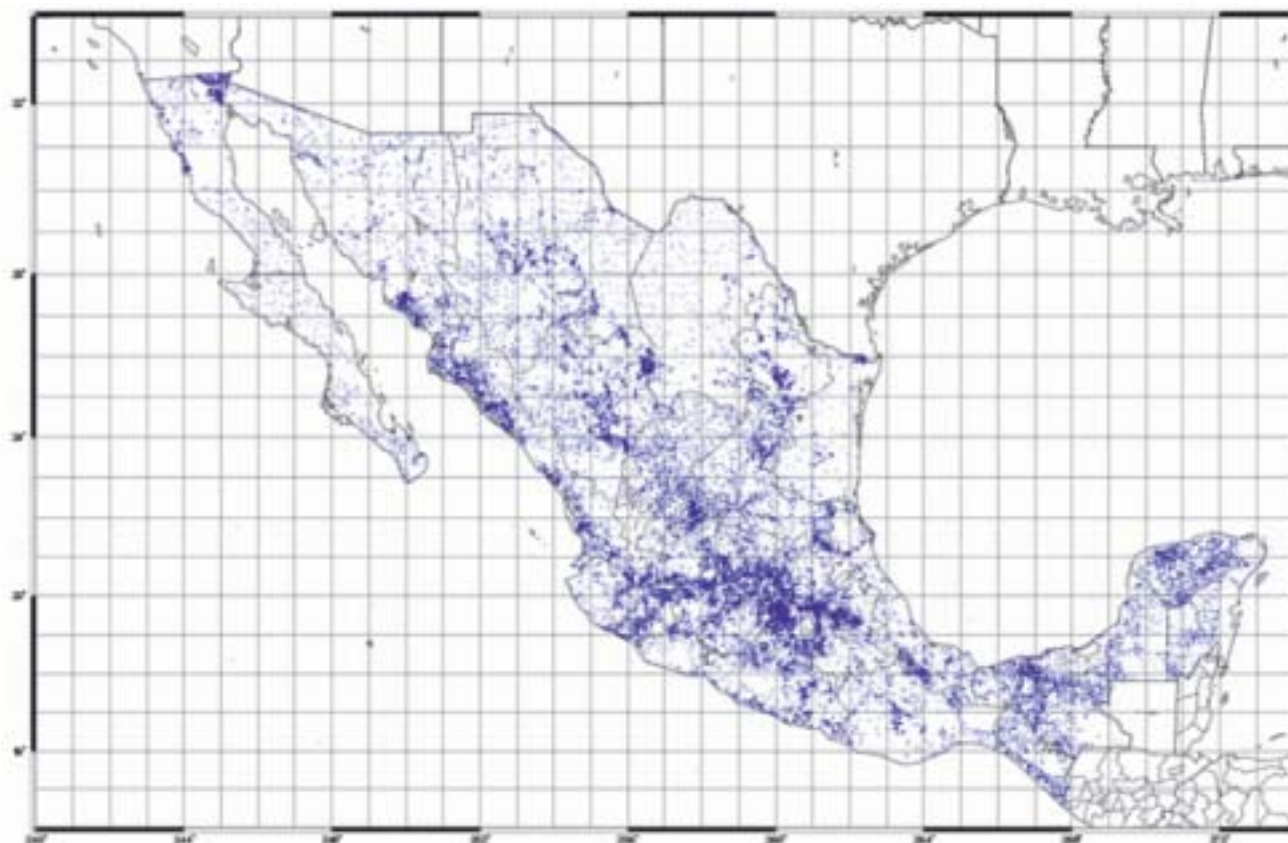


Figura 2. Red geodésica de primer orden

ligar un levantamiento geodésico a un marco de referencia que cumpla las expectativas de los más modernos métodos de medición.

Haciendo un recuento de sus actividades más importantes, desde enero del año 1995 al 31 de diciembre del año 2003, se puede mencionar, por ejemplo, que la demanda de información de las estaciones fijas alcanzó la impresionante cifra de 1.024.438 horas de datos GPS. Con el fin de dar una idea del volumen de información manipulado por la Red Geodésica Nacional Activa, se puede hacer una comparación, diciendo que es equivalente a si se tuviese, de forma imaginaria, trabajando un único receptor de forma ininterrumpida durante 42.684,9 días (116,9 años).

Es posible también mencionar que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática ha levantado hasta el momento más de 63.000 puntos geodésicos de primer orden (1:50.000 [SHCP,1998]) de los cuales más de 58.000 han pasado a través de un proceso de revisión e integración en la base de datos y cuyas coordenadas y croquis de situación se han hecho asequibles a los usuarios. La tabla 2 indica la cantidad de puntos de primer orden que existen en cada estado de México, y la figura 2 muestra su distribución espacial.

3. DISTRIBUCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, consciente de la importancia que la Red Geodésica Nacional tiene para el desarro-



Figura 3. Esquema del depósito y consulta de los datos de la Red Geodésica Nacional

llo de las actividades geodésicas de nuestro país, ha recurrido a la tarea de encontrar un marco de tiempos que haga llegar de forma oportuna la información a los usuarios finales. Para ello ha perfeccionado los modos de entrega de las mediciones, así como las formas de obtenerlas.

Al comienzo del servicio, el usuario interno solicitaba, vía telefónica, a través de fax o bien personalmente, los archivos de una fecha y horas determinadas a las personas a cargo de este servicio en las estaciones GPS de seguimiento continuo, las cuales localizaban dichos archivos y los enviaban, sobre todo a través del servicio postal de correos. Todo esto tenía el inconveniente de que la información llegaba al usuario al menos cinco días después de que se depositara en el servicio postal de correos, por lo que este método era muy lento, no habiendo forma de enviar la información de forma más rápida.

Dadas las evidentes dificultades que presentaba este mecanismo, se estableció un nuevo procedimiento de distribución a través de un servidor, situado en el Centro de Cartografía Automática del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, aprovechando la red de telecomunicaciones de dicho Instituto. En este servidor se centralizan los archivos de observaciones, navegación y mensajes, lo que supone una manera más rápida y eficaz de prestar este servicio, ya que es posible disponer de estos datos inmediatamente.

Este procedimiento consiste básicamente en ofrecer la información de un solo día, que consiste en 27 archivos (de los que 24 son los archivos de las observaciones horarias y los tres restantes son el archivo de los datos de navegación, el archivo de los mensajes del GPS y el último incluye los comentarios), la cual es depositada en el servidor central y se localiza en un directorio asociado con la fecha del registro; éste se encuentra disponible al público durante 90 días.

Los usuarios internos tienen acceso inmediato a los archivos a través de la LAN y la WAN del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Los usuarios externos pueden solicitar dichos archivos a través de los Centros de Información y Ventas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

4. EL FUTURO

En un futuro próximo, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e

Informática va a poner en funcionamiento un servidor de Internet, a través del cual se podrá acceder a la información generada por las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa, ofreciendo una mayor velocidad de transmisión y una mejor calidad, y que dará servicio a todos sus usuarios dentro de una política de datos abierta. Además de la disponibilidad y selección inmediata de los archivos de datos, dispondrá de conexión directa (de la estación de la Red Geodésica nacional al servidor) entre todas las estaciones y las oficinas nacionales y regionales del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Los usuarios externos podrán acceder a la información desde su ordenador personal, con conexión a Internet, y también a través de los Centros de Información y Ventas que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática posee en todo el país. La idea es que esta información sea gratuita para el usuario final en tanto los archivos se encuentren en el servidor. Tras esos 90 días, los archivos de datos se obtendrán con un coste muy pequeño.

En la actualidad, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática cuenta con cuatro equipos adicionales para reforzar la operatividad de la red (ver la figura 1). Está además buscando alianzas estratégicas con otros organismos generadoras de información geodésica, para conformar así una asociación que fortalezca la actividad geodésica a nivel nacional. Además, se está analizando la posibilidad de transmitir radiofónicamente las correcciones diferenciales, con el fin de mejorar la navegación en tiempo real.

REFERENCIAS

- FGCC (1988). *Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using Relative Positioning Techniques*. Versión 5.0, May 1988. National Geodetic Survey, USA.
- Hernández Navarro, A. y Cortés Briano, J.M. (1996). *La Red Geodésica Nacional Activa*. Revista de Geografía, Núm. 7, Vol. VI; August, 1996.
- Soler, T., Hotime, L., Álvarez-García, G., Hernández-Navarro, A. (1996) *GPS High Accuracy Geodetic Networks in Mexico*. Journal of Surveying Engineering, Vol. 22, No. 122
- SHCP (1998). *Normas Técnicas para levantamientos Geodésicos*. Diario Oficial de la Federación, March 28, 1983. ■

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

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) 

5. OBJETIVOS, PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Una vez que ya se tenían coordenadas homogéneas y comprobadas, tanto en planta como en alzado, en las dos bocas, se pasa a describir cuáles son los objetivos de la topografía en el interior de los túneles, qué problemas se pueden encontrar y qué soluciones se pueden adoptar.

El hecho de que el túnel esté calculado para velocidades superiores a 300 km/h implica criterios muy estrictos en cuanto a la precisión del cale, ya que no se tienen muchas posibilidades de variar el trazado, tanto en planta como en alzado. Por todo ello, se han estudiado las experiencias tenidas en el túnel del Canal de la Mancha (48 km) y se ha visitado en Suiza a los responsables de la topografía del Túnel de San Gotardo (57 km). Es importante reseñar que tanto el túnel del Canal de la Mancha como el de San Gotardo están calculados para velocidades de proyecto inferiores a las del Túnel de Guadarrama, con lo que la tolerancia en el cale es mayor que en nuestro caso. Incluso, en el de San Gotardo se ha contemplado un sobreesfuerzo en la sección de excavación para absorber la incertidumbre topográfica. De estos informes y visitas se han sacado una serie de conclusiones que serán expuestas más adelante.

Los objetivos de la topografía en el interior del túnel son:

- Calar el túnel dentro de unas tolerancias aceptables en planta y alzado.
- Que la trayectoria de las máquinas tuneladoras se ajuste lo máximo posible a los trazados, tanto en planta como en alzado.
- Integrar la topografía en la cadena de producción de los túneles, de manera que ésta no interfiera de ningún modo en la ejecución.
- Detectar y controlar los posibles movimientos que pudieran producirse en el túnel una vez ejecutado y que pudieran influir en el cale.
- La toma de perfiles transversales del túnel para el posterior encaje del trazado más óptimo.
- La producción de planos “as build” al final de la obra.

El trabajo consiste en la realización de dos poligonales de aproximadamente 15 km de longitud, unidas con observaciones entre los túneles a través de las galerías de comunicación. Esto conformará una red de coordenadas, lo más precisas posible, para dar apoyo a los sistemas de guiado de las máquinas tuneladoras.

En el cálculo de una poligonal intervienen una serie de errores que pueden ser controlados e incluso anulados con la ayuda de las nuevas tecnologías.

A continuación se relacionan los principales errores que se pueden cometer en la topografía del túnel y sus soluciones.

5.1. Transmisión del Azimut

Este error se produce al transmitir el azimut de partida a lo largo de la poligonal principal del túnel y es la suma de otros errores que intervienen al medir un ángulo con un taquímetro, que son:

- Error de estacionamiento
- Error de puntería
- Precisión de la medida angular del taquímetro
- Error de situación de la puntería
- Posibles errores de transcripción de datos
- Error de refracción horizontal en túnel.

De todos estos errores el más desconocido en cuanto a su magnitud, ya que es variable en función de las condiciones de la atmósfera del túnel, es el de refracción, el cual se tratará con detenimiento en el siguiente punto. Los demás errores se pueden paliar en gran medida, dejándolos en unos valores muy pequeños.

Por medio de las plataformas de centrado forzoso, tanto para aparatos como para señales de puntería, se minimiza el error de estacionamiento y el de situación de la puntería y utilizando una estación total de última generación, alta precisión y usando la regla de Bessel en las observaciones, es decir, visuales en círculo directo e inverso, se minimizan los demás errores que intervienen.

Estos aparatos tienen una precisión de 1,5 segundos centesimales en la medida angular y $\pm 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ en la de distancias. También cuentan con un sistema de puntería automática de más precisión que el ojo humano, entre 2 y 3 mm a una distancia de 500 m. Tienen un sistema de grabación de datos en una tarjeta PCMCIA interna que evita el posible error de transcripción de las lecturas y facilita mucho la descarga de datos directamente al ordenador. Disponen también de un programa de medidas en series, de manera que se puede hacer series de lecturas en círculo directo e inverso, gracias a su motorización, sin tener que tocar el aparato. Esto hace que las series de lecturas sean muy rápidas y precisas, no dependiendo del estado del operador en ese momento.

Es conocido que en toda poligonal los errores angulares se transmiten a lo largo de cada eje, por ello, el uso de aparatos tipo giróscopo evita el encadenamiento de estos errores angulares, al orientar cada eje de una manera absoluta. Es decir, con cada estacionamiento del aparato es como si se comenzara la poligonal de nuevo, angularmente hablando.

El giróscopo es un sistema inercial, basado en el giro de dos rotores, que determina por métodos físicos la dirección del eje de giro de la Tierra en cualquier punto. Bastará calibrarlo en dos puntos conocidos para determinar el error entre el Norte de la cuadrícula de proyecto y el Nor-

te geográfico y así tener azimutes absolutos en cualquier punto del túnel.

5.2. Medida de Distancias

Es el menor de los problemas a los que hay que hacer frente, ya que en la actualidad los distanciómetros de los aparatos de medida tienen una altísima precisión. De todas formas, dada la geometría de este trazado, no será uno de los mayores errores, ya que siempre se transmitirá en el sentido longitudinal de la traza. Esto es debido a que los azimutes entre las tangentes de las alineaciones son muy próximos a 200 grados centesimales, de forma que la componente transversal del error es prácticamente despreciable.

No obstante, se realizarán series de medidas en cada eje y otras medidas de control que abarquen varios ejes a la vez, con el objeto de afinar lo máximo posible.

5.3. Refracción Horizontal

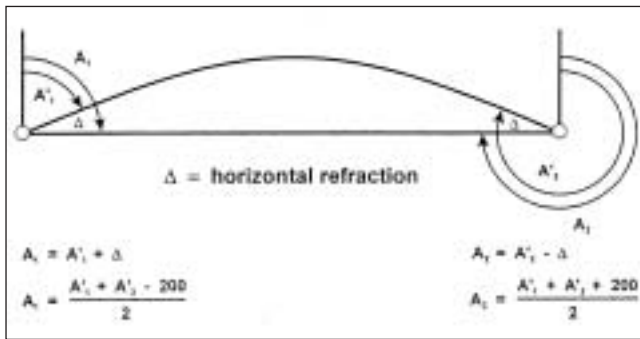
Este fenómeno físico se presenta al cruzar un haz luminoso diferentes capas de aire de distintas densidades.

Es más conocida la refracción vertical, que se pone de manifiesto en la medida de los desniveles y distancias en la superficie terrestre, ya que la atmósfera disminuye su densidad con la altura. Es el conocido fenómeno de la puesta de Sol, es decir, al atardecer se ve el Sol por encima del horizonte aunque realmente ya esté por debajo. La consecuencia es una trayectoria curva de la visual que distorsiona la puntería, haciendo creer que se está visando la señal cuando en realidad no es así. A la intemperie este fenómeno está bastante calibrado; de hecho los distanciómetros modernos cuentan con una corrección automática en la medida en función de la presión y la temperatura atmosféricas.

En el caso de los túneles este fenómeno se presenta al variar la densidad del aire entre el núcleo y los hastiales. Por el centro suele ir el retorno de la ventilación, con lo cual hay una temperatura menor que en las paredes. En los hastiales siempre hay una temperatura diferente que en el núcleo, bien debido al fraguado del hormigón, en cuyo caso sería mayor, o bien por la temperatura inferior de la roca. También influye en este error la carga de partículas en suspensión que pueda haber en el aire que atraviesa el haz visual. Es un fenómeno que no es constante y, por lo tanto, se debe paliar con algún método que lo haga desaparecer totalmente.

Un esquema en planta de la observación de un eje dentro del túnel sería el siguiente:

Como se ve en la figura, un observador situado en el punto **1** apuntando al punto **2** mediría el ángulo A'_1 , cuando en realidad debería medir A_1 . A es el error debido a la refracción.



El sistema para anular este error consiste, de nuevo, en la utilización de aparatos del tipo giróscopo y el método de observaciones recíprocas y simultáneas.

Si se hacen dos visuales recíprocas desde los extremos del eje que se quiere medir, y siempre que se esté con las mismas condiciones atmosféricas (simultáneas), la semisuma del acimut erróneo y su recíproco será el acimut correcto de esta alineación.

Es necesario hacer las dos observaciones con aparatos tipo giróscopo y en el mismo momento, más o menos, para garantizar que la densidad de la atmósfera no haya variado en ese intervalo de tiempo y que los dos errores de refracción **A** sean iguales.

Fruto de la experiencia vivida en la construcción de túnel del Canal de la Mancha, así como las pruebas que se hicieron de los diferentes métodos de observación en una galería de acceso al pozo central del Túnel de San Gotardo, se llega a las siguientes conclusiones al respecto:

- Huir siempre de visuales que pasen a menos de 1,5 m de las paredes del túnel, ya que es ahí donde las diferencias de densidades de la atmósfera se ponen más de manifiesto y, por lo tanto, los errores debidos a la refracción horizontal van a ser más altos y variables. Hay que evitar visuales angulares paralelas a los hastiales y cercanas a los mismos.
- Utilización en la observación angular de un giróscopo que evite, por un lado, el error de refracción horizontal y, por otro, el arrastrar errores de transmisión de acimut desde el principio de la poligonal.

5.4. Guiado de la Maquinaria

Las tuneladoras modernas llevan instalado un sistema de guiado en tres dimensiones centralizado en un ordenador que procesa, en tiempo real, la posición de ésta con respecto al trazado.

Estos sistemas consisten en un taquímetro con un distanciómetro y un dispositivo de puntería automática a un prisma. A su vez, situado en la cabeza de la máquina, cuentan con un dispositivo, distinto según los fabricantes, que calcula el ángulo de incidencia de la visual.

Al medir la distancia a la pantalla desde un punto de coordenadas co-

nocidas, se tendrá la posición absoluta de la máquina y, sobre todo, las desviaciones que la trayectoria de ésta tiene con respecto al trazado teórico. Es decir, con este sistema se puede conocer en tiempo real las rectas de tendencia, en planta y alzado, de la cabeza de la máquina. Por consiguiente, es fundamental que el aparato que está en el guiado esté en unas coordenadas conocidas con la mayor exactitud posible. Por motivos de construcción del propio túnel, este aparato ha de estar estacionado sobre una ménsula sujeta a las dovelas, que la máquina irá dejando atrás conforme avance.

Es la poligonal o red principal desde donde radiaremos la posición del aparato de guiado, a través de una ménsula intermedia.

Toda esta maniobra ha de hacerse en el menor tiempo posible, aprovechando las paradas de mantenimiento, ya que con la máquina en funcionamiento tan cerca, no se debe medir coordenadas, ya que las vibraciones que ésta produce al perforar podrían afectar a las mediciones.

5.5. Movimientos del Túnel

Otro factor importante a tener en cuenta son los posibles movimientos que pudieran tener las dovelas del túnel y el propio túnel.

Las dovelas se pueden mover por reacción a los gatos de empuje de la cabeza del topo, por reacción a los *grippers* antigiro de la misma o por asentamiento de la inyección de mortero entre la dovela y el terreno.

El propio túnel también puede tener movimientos por efecto de convergencias de carga, movimientos tectónicos en fallas o fenómenos más extraños, como el *rock-blasting* (explosión de la roca en monteras muy elevadas).

Como consecuencia de los posibles movimientos de las dovelas, se descarta la posibilidad de colocar la ménsula de guiado a menos de 50 m de la cabeza. Por el mismo motivo, tampoco se darán coordenadas desde una ménsula a la siguiente, sino que siempre se partirá de un punto de la poligonal o red principal, orientando con otro de primer orden, para dar nuevas coordenadas a la ménsula que ha quedado atrás. Será desde esta ménsula trasera, con las coordenadas recién calculadas, desde donde se radiará la posición de la nueva ménsula más adelantada, y que será la que continúe guiando a la cabeza. Se tiene como comprobación la posición de la máquina antes y después de los cambios de posición del aparato, ya que ésta ha de ser la misma.

Como comprobación de los movimientos del propio túnel, se establecerá una campaña de comprobación, observando ángulos y distancias ya medidos cada cierto tiempo.

5.6. Problemas en Altimetría

Una vez dada por buena la nivelación exterior, se debe pasar a lo largo de todo el túnel. Como se vio en su capítulo, a la nivelación geométri-

ca se le aplicaba una corrección por gravimetría. Cuando se nivela, el aparato está definiendo un plano normal a la dirección de la gravedad en ese punto. Cuando se hace una línea de nivelación de varios kilómetros se está calculando desniveles con respecto a una superficie equipotencial de referencia, que es el Geoide. Una definición de Geoide es la superficie media de los mares en calma, es decir, la forma de la Tierra, y es una superficie irregular y muy difícil de definir analíticamente para poder ser utilizada en cálculo, por esta razón se utiliza un elipsoide de revolución como superficie de referencia en las proyecciones.

El gravímetro mide el valor de la gravedad en un punto. Por medio de fórmulas se puede deducir el valor de la corrección a aplicar a un desnivel geométrico, medido con nivel y por lo tanto referido al geoide, para convertirlo en una cota ortométrica **H**, referida al elipsoide de la proyección que se utiliza.

5.6.1. La Nivelación dentro del Túnel

Partiendo de los clavos que se tienen en las bocas, se seguirá nivelando con las mismas tolerancias de calidad con que se han traído las cotas. Se harán anillos de un kilómetro, de ida y vuelta, exigiendo una tolerancia en el cierre de $2\sqrt{K}$. Se realizará con la misma metodología que se vio en el capítulo de nivelación de alta precisión exterior.

En cada kilómetro se dejará un clavo reseñado que servirá para la determinación de la gravedad en ese punto. Estas observaciones de gravimetría serán efectuadas por personal del Instituto Geográfico Nacional a lo largo de toda la obra, con el objeto de tener siempre cerca de la cabeza de excavación cotas ortométricas, corregidas y referidas al elipsoide.

5.6.2. La Nivelación en el Guiado

Dada la imposibilidad de llegar a la ménsula de guiado con la nivelación geométrica (con nivel), no queda más remedio que pasar la cota desde los puntos de primer orden por medio de la nivelación trigonométrica (con taquímetro).

Considerando que se tendrá un punto con cota ortométrica buena cada 50 m, a esas distancias y con la precisión de los aparatos que se han empleado, se garantiza que el posible error sea totalmente tolerable para el guiado de la cabeza. Un control periódico del calibrado de estos equipos garantizará los resultados.

5.7. Otros Trabajos

Además de lo anteriormente expuesto, se han de realizar dos tipos de trabajos al margen del guiado del túnel principal: replanteo de las galerías de conexión y toma de perfiles transversales.

El replanteo de las galerías de conexión ha de ser un trabajo de cierta precisión, ya que se debe replantear el corte que hay que dar a las do-

velas ya montadas, con la forma de la sección de la galería.

La toma de perfiles transversales de la obra ejecutada servirá para tener constancia del resultado del guiado. Estos perfiles servirán, cuando el túnel esté acabado, para poder modificar el trazado en planta y alzado. También se necesitarán para el montaje de los planos "as build" una vez montada la vía.

6. APARATOS DE TOPOGRAFÍA UTILIZADOS

Una vez fijados los objetivos y siendo conscientes de las precisiones requeridas, se realizará la elección de los aparatos a emplear. Se eligieron aparatos de la marca Leica (Suiza) por ser, en principio, la marca que utilizan los dos sistemas de guiado de las tuneladoras. Por otro lado, el prestigio y la experiencia de la marca en el mundo de la tunelería, su robustez, su software, su interfaz de operador y oficina, junto a su precio, muy competitivo en el mercado, nos hizo decantarnos por esta marca.

A continuación se hará una descripción de cada aparato utilizado y sus funciones dentro de la obra.

1 Receptor fijo y 1 Receptor Móvil GPS Leica System 500

DESCRIPCIÓN: Configuración clásica de pareja de GPS, con radio módem de enlace para trabajos en tiempo real.

FUNCIONES: Replanteo de todas las instalaciones exteriores al túnel, cintas transportadoras, caminos, carreteras, plantas de hormigón y mortero, fabricas de dovelas, etc. Comprobación periódica de las coordenadas absolutas GPS de los hitos de la obra.



1 giróscopo DMT (Deutsche Montan Technologie) Gyromat 2000 con Estación Total Leica TCA2003

DESCRIPCIÓN: Giróscopo digital marca DMT, modelo GYROMAT 2000 de última generación de 10 cc de precisión nominal después de una se-



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

rie de 6 observaciones, batería interna, registro interno de mediciones y variables, montando una Estación Total LEICA, modelo TCA 2003 de alta precisión (1,5 cc) motorizada y con seguimiento de prisma.

FUNCIONES: Medición de azimutes absolutos de las direcciones entre bases de la red principal del interior del túnel.



I Estación Total marca LEICA, modelo TCA 2003

DESCRIPCION: Estación Total de 1.5 cc de precisión, distanciómetro infrarrojo de +1mm + 1 p.p.m., servo asistida, seguimiento de prisma, puntería automática, registro de datos en tarjeta PCMCIA, programa de Mediciones en Serie y Avance Estación.

FUNCIONES: Mediciones de ángulos y distancias de la red principal de bases en el exterior e interior del túnel. Toma de datos para la auscultación de los anillos del túnel (convergencias).



I Estación Total marca LEICA, modelo TCA 1800

DESCRIPCION: Estación Total de 3 cc de precisión, distanciómetro infrarrojo de + 1 mm + 1 p.p.m. servo asistida, seguimiento de prisma, puntería automática, registro de datos en tarjeta PCMCIA, programa de Mediciones en Serie y Avance Estación.

FUNCIONES: Mediciones de ángulos y distancias de la red principal de bases en el exterior e interior del túnel. Toma de datos para la auscultación de los anillos del túnel (convergencias). Al ser el mismo modelo de aparato que el que monta uno de los sistemas de guiado de las máquinas (PPS), ha estado de reserva en caso de averías y mantenimiento del aparato principal del citado guiado.



I Estación Total marca LEICA, modelo TCRA 1103

DESCRIPCION: Estación Total de 10 cc de precisión, servo asistida, seguimiento de prisma, puntería automática, registro de datos en tarjeta PCMCIA, con dos distanciómetros, uno convencional para medición de distancias con prisma y otro distanciómetro láser para medición de puntos inaccesibles. Puntero láser visible. Programa Avance Túnel.

FUNCIONES: Replanteo general de las instalaciones donde la precisión del GPS no llega, como pueden ser pórticos, alineaciones, vías, plantas de machaqueo, hormigón y dovelas.



Replanteo vertical para la ejecución de paraguas en emboquilles, así como para la ejecución de túnel convencional. Primeros metros de los túneles principales (pretúnel).

Replanteo y toma de transversales en galerías de conexión.

1 Nivel electrónico digital de alta precisión Leica DNA03 con juego de miras de invar

DESCRIPCIÓN: Nivel electrónico digital de alta precisión, 0,3 mm/km desviación estándar; con memoria interna y tarjeta PCMCIA. Lectura automática sobre las miras de invar con lectura de código de barras, evitando posibles errores de lectura y trascripción.

FUNCIONES: Nivelación interior y exterior de alta precisión para cierre en altura de los túneles.



7. OBSERVACIONES ANGULARES Y DE DISTANCIAS EN EL INTERIOR DE LOS TUNELES

A continuación se pasa a describir el método de observación, tanto angular como de medición de distancias. Para ello refrescaremos algunos conceptos anteriormente citados, que son los principios en los que se van a basar las mediciones.

- El estacionamiento, tanto del aparato como de los prismas, siempre será en bases nivelantes intercambiables de centrado forzoso.
- Se utilizará la puntería automática sobre los prismas (ATR). Esto condicionará si es posible medir o no. Si no funciona el ATR quiere decir que hay demasiado polvo en suspensión y que la calidad de la medi-

ción, si se hiciera manual, sería mala. Por lo tanto, siempre se medirá con la máquina parada, dejando un tiempo prudencial para que se disipe el polvo y el humo que hay en suspensión.

- Las mediciones siempre se harán con el programa de *Medición de series* del aparato; como mínimo cinco visuales en círculo directo y cinco en círculo inverso, calculando *in situ* la desviación estándar de la serie y desechándola si ésta es mayor de 5 cc.
- Las mediciones de distancias se harán sin ninguna constante geométrica, ni de anamorfosis ni de reducción al nivel del mar. Posteriormente, en gabinete, se calcularán para cada observación.
- Es imprescindible tomar la presión, temperatura y humedad relativa con una estación meteorológica para introducirlas en el aparato y corregir las distancias de la constante atmosférica que el propio equipo calcula.

Estos cinco puntos son imprescindibles para una buena medición; la omisión de cualquiera de ellos daría como resultado errores que luego son bastante difíciles de detectar y pueden producir tanto "ruido" como sistematismos en las mediciones.

Después de varias pruebas, se llegó a la conclusión de que la distancia ideal entre los pares de bases en el interior de los túneles es de unos 375 m aproximadamente. Esta distancia viene determinada principalmente por la capacidad del ATR. Digamos que es la distancia más lejana a la que funciona el ATR dentro del túnel, teniendo en cuenta que en el interior del mismo nunca se van a tener unas condiciones perfectas por mucha ventilación que haya.

Esta distancia de 375 m es insuficiente para las labores cotidianas de guiado de la maquinaria. Recordar que el cambio de ubicación del aparato de guiado hay que hacerlo cuando es necesario, no cuando las condiciones son óptimas. En efecto, hay que cambiar el aparato cuando éste llega al final de la máquina y sólo en ese preciso instante, ya que de no hacerlo se quedaría en un lugar bastante inaccesible.

Por esta razón, además de las bases principales cada 375 m, se densifica la red con unas bases intermedias, a unos 180 m de las principales. Si hubiera que hacer un cambio de estacionamiento del aparato de guiado con la máquina en marcha, sería prácticamente imposible orientar a 375 m de distancia, por problemas de visibilidad, de ahí la necesidad de densificación de la red.

Además, aprovechando que se han ido haciendo galerías de conexión para emergencias entre los dos túneles cada kilómetro, se ha colocado en cada galería dos bases, una en cada túnel, con el fin de "coser" las dos redes de cada tubo, formando así una red única.

Veamos ahora cómo se observan las bases principales (croquis 1).

Supongamos que se estaciona el aparato en la base **1**; la vuelta de horizonte que se realizará será **2-3-4-5-6**, es decir, se observará a todas

y cada una de las bases más cercanas a la de estacionamiento. En la primera fase del programa Series se hará puntería con ATR a las bases que se quieren medir, en círculo directo. El propio programa almacena los ángulos horizontales y verticales de cada visual. Sólo resta decirle al programa cuántas series de mediciones a esas direcciones queremos que mida y automáticamente se pondrá a trabajar ininterrumpidamente hasta completarlas, tanto en círculo directo como en círculo inverso.

A la vez, por cada visual efectuada el programa escribe en la tarjeta PCMCIA del propio aparato una línea de observación con unos parámetros que previamente se han configurado. En nuestro caso estos parámetros codificados son:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
11	Nº de punto
21	Lectura horizontal
22	Lectura vertical
31	Distancia geométrica
59	Ppm (Atmosféricas)
88	Altura de estacionamiento
87	Altura de puntería
58	Constante de adición del prisma
19	Fecha y hora de la observación

Es muy importante disponer de todos estos datos de la observación, ya que así siempre se podrá saber cuándo y en qué condiciones se realizó. Se podrá detectar errores humanos, como, por ejemplo, mala elección del prisma, equivocaciones en la medida de las alturas, mala introducción de los valores meteorológicos, etc.

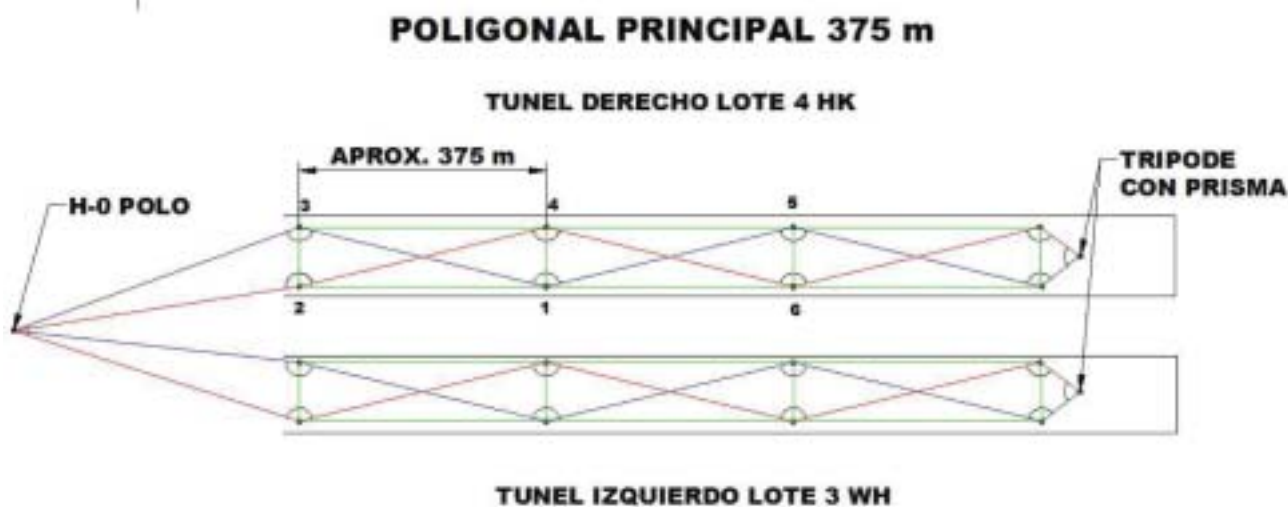
Igualmente, es de gran importancia, al ser el propio programa el que registra todas estas variables, no transcribir ni apuntar en libretas de campo ningún número, esto evitará disgustos y pérdidas de tiempo buscando errores una vez hallamos acometido el cálculo.

Después de realizadas las series, el mismo programa calcula en campo el resultado de las series. Esto es, calcula los ángulos y distancias medios y, lo que es casi más importante, la desviación estándar de la serie y de una medida aislada en ángulos horizontales, verticales y distancias. Estos valores darán una idea de la calidad del trabajo en el mismo momento de acabar la serie y se podrá, a la vista de los resultados, considerar si merece la pena o no seguir midiendo con esas condiciones de contaminación atmosférica en el túnel.

La desviación estándar angular se ha fijado en 5 cc para aceptar como buena esa medición, suspendiendo el trabajo si ésta es superior. Consideramos que es mejor medir menos veces bien que muchas regular o mal, esto dará calidad al cálculo de la red.

Por otro lado, al descargar los ficheros en el PC se tendrá una colección de todas las series observadas durante toda la obra, bien ordenadas, por su fecha y base de estación, en un formato (ASCII) fácil de manipular por otros programas para el cálculo.

Estos ficheros .GSI serán transformados por una macro de EXCEL en ficheros .PAC, descomponiendo en ángulos las lecturas horizontales a cada base. Es decir, observando la figura anterior, se ha estacionado en la base 1 y se ha observado a las bases 2, 3, 4, 5 y 6; la macro descompondrá las lecturas en los ángulos comprendidos entre el punto de estación y 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 3-4, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6, 5-6 y sus inversos. En definitiva, calculará todas las combinaciones angulares posibles de la serie. Estos ficheros .PAC serán importados en una gran base de datos, ordenada por punto de estación, punto visado atrás y punto visado adelante, además de contener en cada línea de observación todos los parámetros pertenecientes a su serie. Esta base de datos de observaciones va a facilitar, como se verá en el apartado de CÁLCULO, la formación de itinerarios de poligonal de una forma automática y sin errores humanos.



Croquis 1

Dentro de las observaciones en el túnel, se ha de considerar dos casos extremadamente delicados, las visuales desde el polo (H-0) y las visuales en las puntas de las poligonales de los túneles.

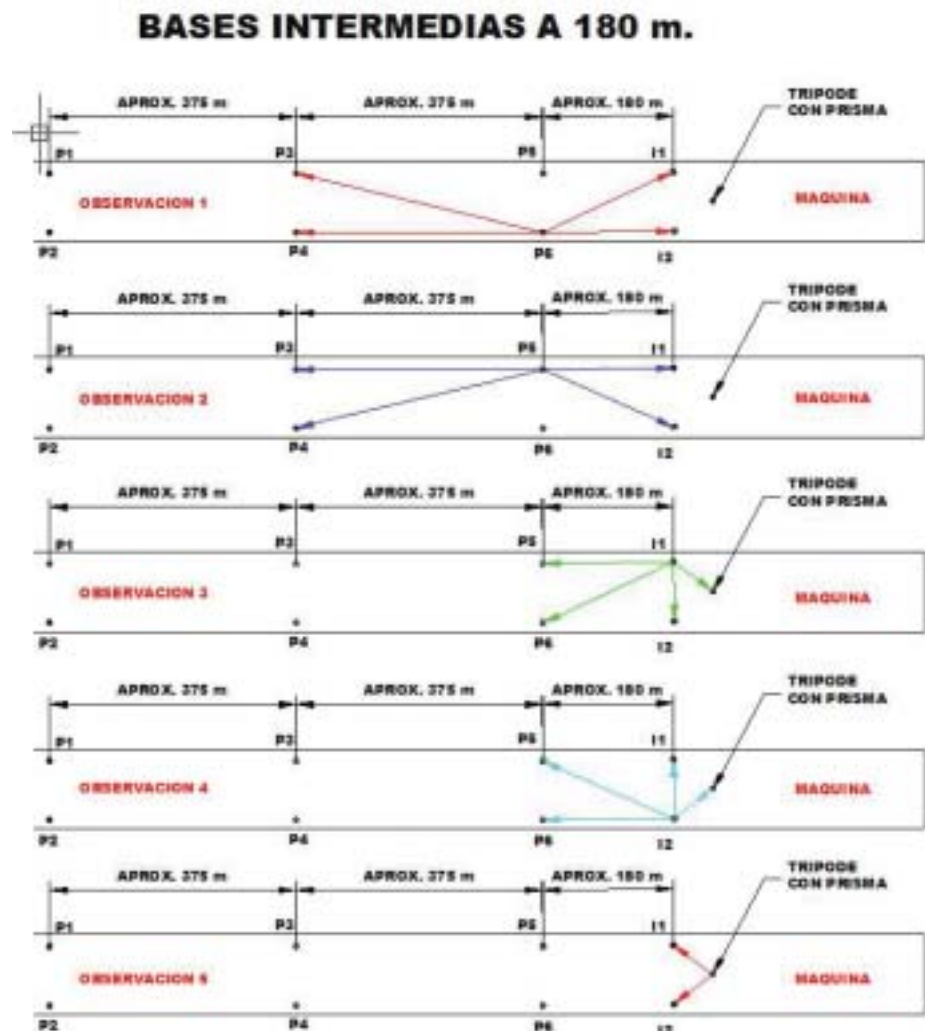
Las visuales desde el hito principal a las primeras bases del túnel son complicadas porque pueden estar sometidas a condiciones atmosféricas externas muy diferentes a las del interior de los túneles, por ello es muy importante medir en días en que las condiciones externas e internas sean muy parecidas. Como ya es sabido, el Sol es uno de los principales enemigos de una buena medición; origina dilataciones en los aparatos que pueden llegar a desnivelarlos, crea distorsiones visuales como la calma, acentúa el efecto de la refracción, etc.

Volvemos a insistir en utilizar el ATR como baremo de la medición, es decir, si el ATR funciona se podrá medir. Por la experiencia tenida, se puede decir que es imposible hacer una buena medición con Sol, se ha de elegir un día nublado, sin brumas ni nieblas y con las temperaturas lo más parecidas a las del interior. Hay que entender que si se entra en el túnel con una mala transmisión del azimut de salida se estará desorientando toda la poligonal, creando unos errores proporcionales a la distancia de ésta. Como se verá en el apartado del giróscopo, precisamente la utilización del mismo paliará el efecto de una mala transmisión de azimut, pero no va a evitar el error que se producirá en el primer tramo y que hay que minimizar en la medida de lo posible.

Otro punto débil de las observaciones es cómo medir un cierre para poder calcular una poligonal de ida y vuelta de un mismo túnel. Como se aprecia en la figura de la poligonal principal, si se quiere crear un itinerario que vaya por las visuales azules y vuelva por las visuales rojas, hay que cambiar de lado en algún momento. Se podría enlazar directamente desde la base del lado derecho a la del lado izquierdo, pero dada la proximidad de estas dos bases, aproximadamente 6 m, las lecturas angulares son malísimas, ni siquiera el ATR ayuda en este caso. Seremos incapaces de medir estos ángulos con la calidad requerida. Por otra parte, hay que entender que el error angular que se comenta se va a transmitir en toda la vuelta, multiplicando su efecto por la distancia y haciendo el error de cierre intolerable.

Otra solución sería hacer una visual paralela al hastial, es decir, medir desde una base del lado derecho a una del mismo lado para, desde ésta, pasar a una del lado contrario. Pero existe el inconveniente de la refracción horizontal en el interior del túnel, que es precisamente en las visuales paralelas y pegadas a los hastiales donde más se manifiesta. También por experiencia se puede decir que es prácticamente imposible llegar a la calidad de medición requerida por este método.

La solución reside en colocar un trípode con base nivelante intercambiable con aparato y prisma en el centro del túnel, equidistante de las dos bases que se quiere enlazar. Con este sistema, y teniendo mucho cuidado a la hora de cambiar de prisma a aparato y viceversa, se podrán conseguir resultados bastante aceptables. Como se verá en la sección de CÁLCULO, las poligonales calculadas con estas observaciones pueden valer hasta una cierta distancia, que ya analizaremos, pero por mucho cuidado que pongamos en la operación de cambio de lado, llegará un momento en que será inviable seguir con el cálculo de poligonal, ya que los errores en el cambio de lado afectarán a las bases del itinerario de vuelta.



Croquis 2

Estas mediciones de las bases principales se repiten otras dos veces, como mínimo, a lo largo del tiempo, de esta manera cada ángulo de la red será medido 15 veces en círculo directo y otras tantas en inverso. De esta forma se puede comprobar, por comparación, que no ha habido errores sistemáticos del aparato ni posibles asentamientos de las dovelas por las inyecciones o por la propia propulsión de la máquina.

Veamos ahora cómo se densifica la red con las bases intermedias, para poder cambiar el aparato de guiado con más facilidad en caso de polución en el túnel (croquis 2).

Para esta operación se va a necesitar cinco estacionamientos, sean P1, P2, P3, P4, P5 y P6 bases de la red principal e I1 e I2 las bases intermedias que vamos a medir:

Como se ve en la figura, se medirá desde P6 y P5 a las dos anteriores principales y a las dos nuevas intermedias I1 e I2.

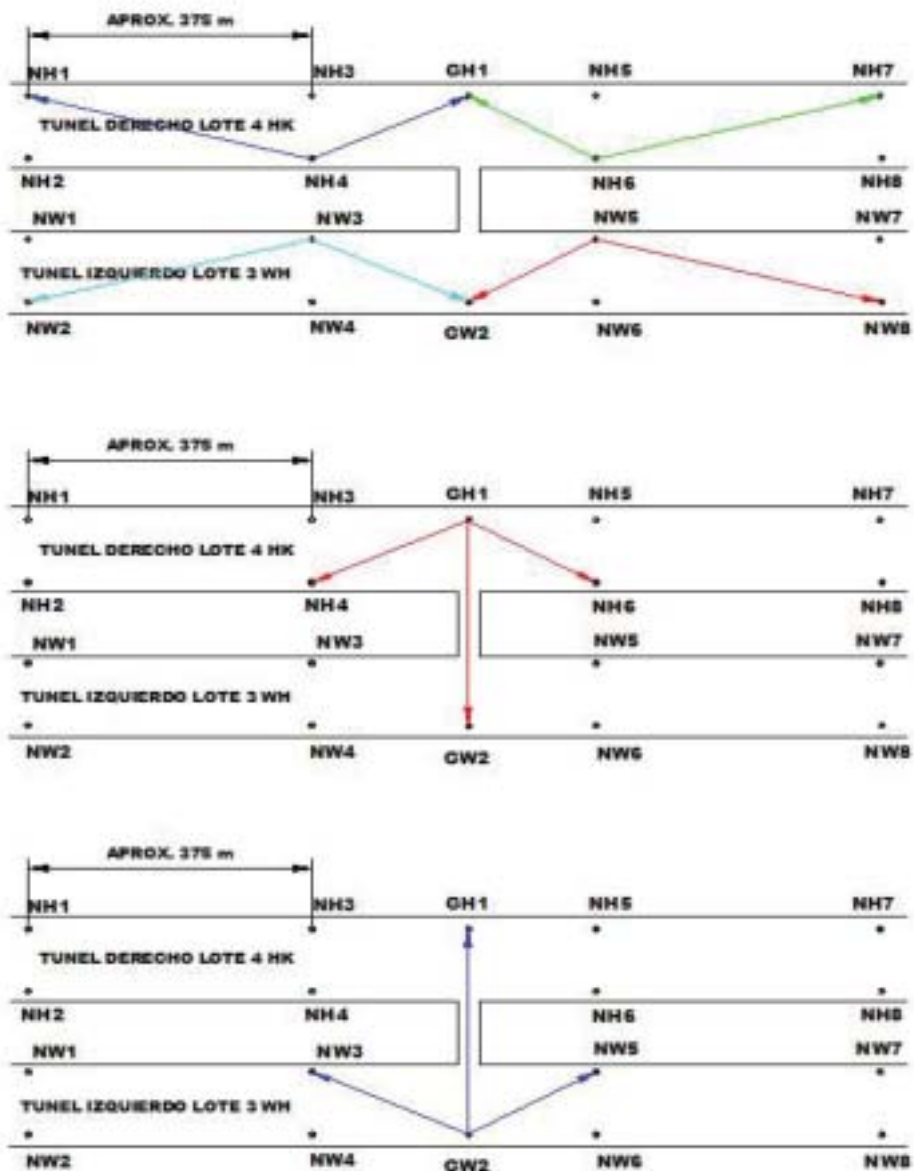
Después se estacionará en las dos bases nuevas intermedias y se visará a las dos anteriores principales, a la de enfrente intermedia y al trípode con prisma auxiliar, que se colocará, como ya se ha comentado, equidistante de estas dos.

Por ultimo, se estacionará en el trípode auxiliar y se visará a las dos nuevas intermedias. De esta forma se integrará perfectamente estas dos nuevas bases en el cálculo, tanto de la red general de los dos túneles como en las poligonales de cada uno. Ya se comentará más adelante el porqué de tener estas dos posibilidades.

Por ultimo, veremos cómo se hace una observación de enlace entre los dos túneles a través de las galerías de comunicación (croquis 3).

En este caso se va a necesitar seis estaciones, como se ve en la figura; primero se enlazarán las bases principales con la de la galería y luego se enlazarán las dos bases de las galerías entre sí y con las bases principales.

ENLACE POR GALERIAS



Croquis 3

Esta operación de unión de las redes de los dos tubos se ha ido haciendo durante la excavación de los túneles aproximadamente cada kilómetro, ya que es a esa distancia a la que se iban perforando las galerías de emergencia. Después se han ido excavando las galerías de conexión cada 250 m y también se han ido enlazando los dos tubos a través de éstas.

Como se puede apreciar, hay un montón de medidas redundantes y de una muy buena calidad, lo que dará la oportunidad en el cálculo de configurar diversas poligonales y redes, como se verá más adelante.

(Continuará) ☞

El record de velocidad para este tramo de carretera
no lo fijó un deportivo, fue un topógrafo.

Es sorprendente la velocidad a la que se puede viajar por una carretera como esta. Especialmente cuando un topógrafo tiene la ventaja de trabajar con las soluciones topográficas Trimble. Nuestros productos no sólo son robustos y ligeros, además están diseñados con un interface de trabajo y datos común. Esto simplifica el flujo de tareas, incrementando la productividad y minimizando la curva de aprendizaje. Adicionalmente los equipos Trimble ya están preparados para el nuevo código L2C. Si desea conocer porqué Trimble debería ser su solución topográfica visitenos en www.trimble.com



 **Trimble.**

www.trimble.es

Distribuidor en España



www.santiagoocintra.es
Tel +34 902 12 08 70

Establecimiento de una Red Catastral con Técnicas GPS en la ciudad de Jaén

Antonio Castillo Vizcaíno
INGENIERO EN GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

I. ANTECEDENTES

Vivimos inmersos en una sociedad donde se maneja continuamente grandes cantidades de información muy diversa. La Cartografía, entendida como información espacial, no es ajena a esta revolución y participa activamente en el avance de la sociedad. La Cartografía está adquiriendo más importancia día tras día y está introduciéndose prácticamente en todos los sectores de aplicación y en todos los ámbitos de la sociedad.

El desarrollo de la Informática ha dado un gran impulso a la Cartografía y ha traído como consecuencia inmediata los Sistemas de Información Geográfica, los cuales nacieron a principios de los años 60 y se han venido desarrollando durante estos más de 40 años. La fusión de la Informática y la Cartografía ha hecho posible la interrelación entre bases de datos cartográficas y bases de datos literales, surgiendo los SIG abiertos que comparten información. Lo más costoso de todo el proceso es la captura y mantenimiento de la información en las bases de datos y el conseguir compartir esta información entre los diferentes SIG para que éstos se conviertan en una herramienta potente de tratamiento de la información (espacial y literal).

Además, hay que tener en cuenta la gran revolución que en esta última década ha provocado el Sistema Global de Posicionamiento (GPS) en los campos de la Geodesia y la Cartografía, modificando el concepto de la observación de redes geodésicas, solventando problemas que antes no podían ni siquiera plantearse por dificultades económicas o técnicas e incluso permitiendo georreferenciar, es decir asociar coordenadas en un sistema de referencia de forma cómoda y en tiempo real, entidades susceptibles de ser incluidos en un SIG para hacer una gran diversidad de consultas.

Por todo ello, pareció interesante idear un marco de referencia común a todo el área metropolitana de Jaén que permita el mantenimiento y actualización de la Base Cartográfica existente con fines de aplicación ca-

tastral, integrando en dicha Base Cartográfica todos los elementos y características que definen la capa catastral que afecta a todos los inmuebles urbanos enmarcados dentro del perímetro de suelo de naturaleza urbana de Jaén y pensando en que esta Base Cartográfica georreferenciada pueda emplearse como base de datos espacial de un SIG.

El marco geodésico de referencia a utilizar en la realización de trabajos cartográficos de cualquier índole, debe de hacerse conforme a las prescripciones que, en forma de normas e instrucciones, determina la Dirección General del Catastro con objeto de la oportuna identificación, descripción y localización de los bienes inmuebles de naturaleza urbana.

2. NORMAS GENERALES DE LA CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA

El marco geodésico de referencia utilizado no es otro que el apoyado en la RED GEODÉSICA NACIONAL. La Dirección General del Catastro ha definido de forma precisa, como se ha dicho, el Sistema de Referencia a utilizar en cualquier actuación cartográfica, el cual se puede resumir en:

1. **Sistema de referencia EUROPEAN DATUM 1950 (ED-50)**, en coincidencia con lo adoptado por las Series Cartográficas Oficiales a partir del Decreto 2303/1970 de 16 de julio y que está constituido por:
 - Elipsoide internacional (Hayford 1924): $a = 6.378,388 \text{ m}$
 $\alpha = 1:297,0$
 - Datum Postdam (Torre de Helmert)
 - Orígenes de coordenadas geodésicas:
 - Latitudes referidas al Ecuador y consideradas positivas al Norte del mismo
 - Longitudes referidas al meridiano de Greenwich y consideradas positivas al Este y negativas al Oeste de dicho meridiano.
2. **Sistema geodésico adoptado es el denominado RE-50** definido a través de la Red Geodésica Nacional (Ley 7/1986 de 24 de enero).

Las altitudes geodésicas de los vértices, obtenidas desde las líneas de Nivelación de Alta Precisión establecidas por el Instituto Geográfico Nacional, quedan referidas al nivel medio del mar definido por:

- mareógrafo fundamental de Alicante para la península
- mareógrafos ubicados en diferentes puertos para el territorio insular y ciudades de Ceuta y Melilla.

3. **Sistema cartográfico de representación es el definido por la utilización de la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)** adoptado para toda la cartografía del Estado español según Decreto 2303/1970 ya mencionado.

Como consecuencia de la inexistencia de una Red Geodésica Catastral Urbana en la ciudad de Jaén que permita una georreferenciación homogénea de la Base Cartográfica existente y pensando en las posibles aplicaciones que puede tener dicha Base Cartográfica con las nuevas herramientas que se están utilizando, como el SIG entre otras, se ha estudiado la implantación, el diseño y la observación de una Red Local Catastral que constituya la infraestructura fundamental del resto de los trabajos cartográficos y que sea el soporte integrador de cualquier tipo de trabajo topográfico o cartográfico que se pueda realizar en el entorno urbano de Jaén.

3. OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este proyecto es la definición de un marco uniforme y preciso en la ciudad de Jaén que sirva de base para la realización de cualquier trabajo topográfico y cartográfico posterior que tenga fundamentalmente algún uso catastral o que acometa algún problema urbano, en particular; y que, a su vez, se pueda emplear para cualquier tipo de trabajo en general. Dicho de otro modo, el objetivo a perseguir es la planificación y diseño de una Red Catastral Local Básica que dé cobertura a Jaén (figura 1) y a sus futuras áreas de influencia, con unos requisitos técnicos, tanto en su densidad como en su precisión relativa y absoluta, que cumplan sobradamente con la calidad impuesta a todas las



Figura 1. Plano de situación

actuaciones cartográficas de carácter catastral coordinadas por la Dirección General del Catastro en nuestro país.

Con este objetivo se diseñó, planificó y se llevó a cabo la implantación normalizada de unos vértices que conformen una Red Geodésica Catastral. Además, se realizó una primera observación mediante técnicas GPS y se obtuvieron sus coordenadas en el sistema de referencia (ED-50) y en el sistema de representación (UTM), por ser éste el oficial para el Estado español.

4. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

4.1. Instrumentación

Para los trabajos de observación se han utilizado equipos WILD GPS de doble frecuencia de la casa Leica, formados por:

- Receptor GPS WILD SR299 y SR399
- Unidad de control GPS WILD CR233
- Tarjeta de almacenamiento de 2 Mb
- Material auxiliar.

Para el tratamiento y procesado posterior de los datos y cálculo de los resultados se ha empleado el paquete informático SKI.

4.2. Planificación

La observación con un equipo GPS actual ha sido convertida por los avances técnicos en algo realmente anodino: en los equipos más evolu-

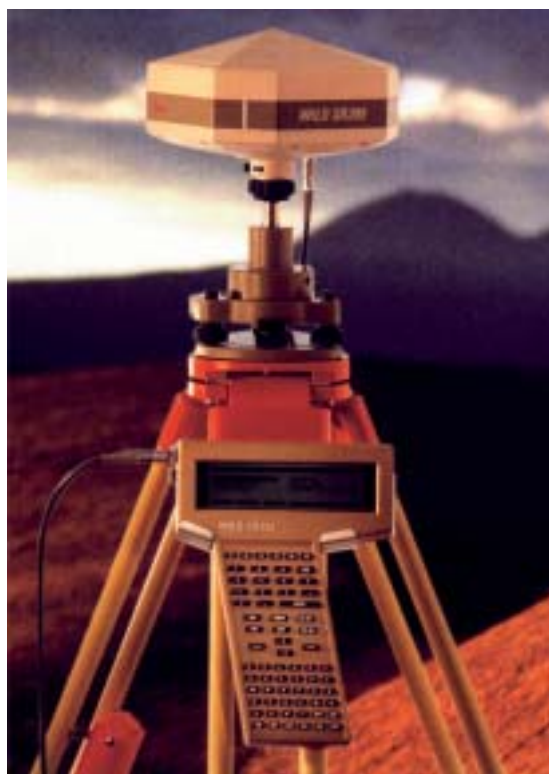


Figura 2: Equipo GPS

cionados sólo hace falta estacionar la antena en el punto deseado y encender el receptor.

No es necesario para el GPS centrar y nivelar meticulosamente el instrumento, orientar, introducir coordenadas, establecer direcciones de observación, etc., siendo además indiferente la visibilidad local; lo único que puede tener en común con los métodos clásicos es medir la altura de la antena y la toma de parámetros meteorológicos para las posteriores correcciones troposféricas.

4.3. Tratamiento de las observaciones, mecánica operativa y obtención de resultados

Cuando se mide con GPS es necesario realizar una transformación, porque las coordenadas medidas por el GPS vienen en un sistema de referencia, el WGS84, diferente al sistema de coordenadas locales que se utiliza en cada país (en España es el oficial ED-50).

Cuando se emplea el término "sistema de coordenadas locales" se refiere a un sistema de coordenadas que se utiliza en un país o en una parte determinada del país. Tal sistema de coordenadas se expresa habitualmente en un sistema de coordenadas cartesianas (X, Y) y alturas sobre el nivel medio del mar, alturas ortométricas, referidas a una proyección determinada.

Los sistemas locales son normalmente planos. Sin embargo, la Tierra puede ser descrita de un modo más preciso por un elipsoide de revolución y, por lo tanto, se debe tener en cuenta la curvatura de dicho elipsoide. Por esta razón los sistemas de coordenadas locales tienen que estar relacionados de alguna manera al elipsoide de referencia a través de una serie de parámetros.

Los elipsoides locales se llaman así porque se aplican a una cierta porción de la superficie terrestre. Las medidas realizadas con el GPS se definen referidas al elipsoide denominado WGS84 (World Geodetic System 1984).

Las alturas que se dan de los puntos de control, vértices geodésicos o puntos NAP, son alturas ortométricas, esto es, referidas al nivel medio del mar. Para determinar la altura elipsoidal es necesario determinar la separación entre el geoide y el elipsoide. La precisión con que se debe conocer la ondulación del geoide es de 1 m para fines cartográficos, 0,5 m para fines geodinámicos y mayor que 0,1 para calcular diferencias de altitudes.

La relación que liga a la altura ortométrica, altura sobre el nivel medio del mar (h), con la altura elipsoidal (H), viene dada por:

$$h = H + N$$

siendo N la ondulación del geoide.

4.4. Conclusiones operativas y características fundamentales del sistema GPS

La utilización del sistema GPS ha significado, para las ciencias geográficas, una revolución, al permitir situar, o posicionar, puntos con una gran precisión en aplicaciones o trabajos geodésicos y topográficos y precisiones sobradamente satisfactorias para navegación en tiempo real ya sea aérea, marítima o terrestre.

5. DESARROLLO DEL TRABAJO

En la creación, establecimiento, planificación, diseño, observación y cálculo de la Red Catastral Local en la ciudad de Jaén hay que destacar los siguientes apartados:

5.1. Especificaciones iniciales

En este apartado se tratará de los requisitos sobre precisión impuestos a los trabajos geodésicos realizados de acuerdo con los fines perseguidos y que pueden resumirse en:

- Para el enlace con la Red Geodésica Nacional, tanto en planimetría como en altimetría, se tiene que realizar esta labor con una precisión menor o igual a 5 p.p.m.
- La precisión en los vértices de la Red Catastral debe ser menor o igual de $\pm 0,05$ metros para planimetría y $\pm 0,10$ metros en altimetría.

5.2. Planificación, Estudio y Diseño de la Red

El área de actuación es el casco urbano de la ciudad de Jaén y sus zonas de influencia, las cuales cubren aproximadamente unas 328 Ha. La metodología a aplicar para la planificación de la red ha sido la de conseguir un marco de distribución de vértices que fuera lo más uniforme posible y que no dejara ninguna zona de la ciudad sin cubrir. Para ello se ha procurado que la distancia de separación entre vértices no fuera superior a 500 m. Este requerimiento es lógico que sufra alguna distorsión en zonas cerradas de edificación, como es el centro de la ciudad, donde la distancia de separación puede verse condicionada por la propia estructura de la urbe. De esta forma se dota a la ciudad de una retícula que es capaz por sí sola de mantener un armazón sólido y encajado globalmente al sistema de referencia vigente en España. A partir de él y por poligonización, se puede densificar la red, utilizando para ello los vértices que se van a implantar con unos condicionamientos técnicos.

Para estudiar la implantación de la red local hay que tener en cuenta, como ya se ha dicho, la falta de intervisibilidad en áreas urbanas debido a la edificación y a la estructura de la red viaria. Por ello se pensó que la solución ideal a aplicar era la metodología GPS como alternativa a la

observación clásica, que necesita de vueltas de horizonte despejadas para poder visar a los vértices adyacentes en todas las direcciones, ya que el GPS no requiere que exista intervisibilidad entre los vértices.

En definitiva, el diseño de la red se hizo en base a los siguientes requisitos técnicos:

- Un número de vértices que oscilase entre 20 y 30, con el fin de cubrir la citada área de forma adecuada, es decir, con una longitud media entre vértices adyacentes de 400 a 600 metros.
- La ubicación de las señales debe ser tal que al menos un 90 % de los vértices queden señalizados en el suelo, es decir, evitando en lo posible las terrazas de los edificios, debido a las dificultades de acceso que entrañan (necesidad de petición de permisos a las comunidades) y a



Figura 3: Detalle visual a la cruz del Castillo de Santa Catalina

las visuales tan inclinadas que resultarían en el caso de llevar a cabo la densificación de la red por poligonización.

- Debe procurarse que cada vértice tenga al menos una visual despejada a puntos o a vértices de coordenadas conocidas que posibiliten conseguir una cómoda orientación desde cada uno de los vértices que conformen la red local catastral. Como ejemplo y como se puede ver en la ilustración 3, desde el vértice implantado se observa de forma clara la cruz del Castillo de Santa Catalina, punto dominante de la ciudad y del que se pueden conocer sus coordenadas si así se desea.
- Por último, los vértices ha de estar necesariamente situados en lugares estables, con la finalidad de la perdurabilidad de las señales.

Con todo esto se está en condiciones de proceder a la señalización de los vértices.

5.3. Señalización de los vértices

En el diseño de la Red Catastral se han establecido 26 vértices, de los cuales 5 están ubicados en áreas no urbanas, es decir, en terreno suburbano (Recinto Ferial de Expoliva, Centro Comercial CARREFOUR, Campus Universitario de la Universidad de Jaén, Recinto Hospitalario Princesa de España y Recinto Ferial de La Vestida). Los restantes vértices se implantaron en zona urbana, de tal forma que menos de un 10%, concretamente 1 (Escuela Universitaria Politécnica Superior de Jaén), quedase ubicado en azoteas de edificios (de difícil acceso normalmente, siempre con autorización de la comunidad de vecinos), 10 en la zona periurbana de la ciudad y el resto sobre la red viaria del casco urbano de Jaén. Con estos condicionantes se prefijaron tres tipos distintos de señalización: Señales sobre terreno suburbano, señales sobre la red viaria y señales sobre azoteas de edificios.

Sin entrar en detalles sobre la monumentación en sí, las señales se ubicaron de acuerdo a cuatro factores de fundamental importancia:

- Estabilidad y permanencia temporal de las señales
- Accesibilidad garantizada
- No existencia de obstáculos o pantallas que hicieran imposible la observación GPS sobre las señales o, lo que es lo mismo, disponer de un horizonte despejado de obstáculos
- Homogeneidad de la Red. Se debe cubrir de forma homogénea y uniforme la ciudad procurando que la distancia entre vértices no sea superior a 500 metros.

5.4. Emplazamiento de los vértices

La situación y emplazamiento de estos vértices vendrá definida por dos condiciones fundamentales, a saber: intervisibilidad rela-

tiva y características de emplazamiento, las cuales se detallan a continuación:

5.4.1. *Intervisibilidad relativa y enlace con la Red Geodésica*

Si se utilizasen métodos clásicos de topografía para el establecimiento de la Red Local Catastral, habría que decir que este parámetro o condición se deberá cumplir de forma que desde cada uno de los puntos se divisen al menos otros dos y para el enlace con la Red Geodésica Oficial será condición obligatoria que al menos uno de los vértices tenga visión directa con la Red Oficial y, si es posible, que sean dos de ellos los que tengan visión directa a la Red Oficial.

Como el método empleado es el GPS, no habrá que tener en cuenta ese parámetro, dado que una de las ventajas de este sistema de posicionamiento es precisamente la no necesidad de intervisibilidad entre los puntos observados.

5.4.2. *Características del emplazamiento*

El emplazamiento de los vértices se realizará de manera que, dentro de la libertad para elegir la ubicación de aquellos en el entorno del núcleo urbano, reúnan las siguientes características:

- Proyectar los vértices en puntos concretos que, a ser posible, se puedan referir a elementos estables próximos (tres), para su replanteo en el supuesto de que desaparezcan con posterioridad a su implantación.
- En el caso de que no se pueda cumplir la premisa anterior, se tendrán que situar los vértices sobre detalles planimétricos permanentes del terreno, tales como unión de lindes, bifurcaciones de caminos estables, arquetas, salida del núcleo, juntas de baldosa, etc.
- Las características definidas en los apartados anteriores para la ubicación de puntos o vértices deben además complementados en lo posible por la "NO AFECTACIÓN DE PROPIEDAD", de manera que se pueda garantizar la máxima permanencia en la señalización y monumentación de los vértices o puntos.

5.5. Monumentación de los vértices

En cuanto a la monumentación de los vértices, éstos se señalarán de forma permanente, siguiendo las prescripciones siguientes:

- La señal tipo normalizada que se utilizará siempre en esta señalización (no hay que olvidar que es una Red Catastral Local) será un clavo de latón, con cabeza en forma de casquete esférico, con un diámetro de 35 mm y una altura de 5 mm, en la que figurará el anagrama y las siglas Dirección General del Catastro y, taladrada en su centro, una referencia de posicionamiento (un granetazo). El espárrago del clavo tendrá una longitud de 60 mm y estará formado por 7 troncos de cono de diámetro máximo 10 mm.
- Cuando aquéllas se sitúen en terrazas o elementos horizontales de edificios, se situará una placa metálica de 0,2 x 0,2 m y 0,5 cm de gro-

sor, en cuyo centro geométrico se adherirá, mediante aditivos especiales a base de resinas epoxit, la placa superior de la señal normalizada para estos trabajos. Se efectuará referencia a tres puntos fijos. Como excepción, y dado que ya existía, la que está situada en la azotea de la Escuela Universitaria Politécnica Superior de Jaén no cumple con esta prescripción, sino que está constituida por una señal reglamentaria, de base prismática cuadrangular de 1 x 1 x 0,2 m y encima, centrado, un pilar cilíndrico de 0,30 m de diámetro y 1,20 m de altura.

- Si el vértice a señalar está en campo abierto, se procurará situarlo sobre rocas o construcciones muy estables, para lo cual se empotrará la citada señal normalizada. Cuando no se encuentren puntos con la estabilidad definida anteriormente y se tenga que señalar sobre el terreno, se ubicará un cuadrado de hormigón de 0,30 x 0,30 m con cimiento mínimo de 0,30 bajo rasante y cuidando de que la parte superior no sobresalga de la citada rasante más de 0,05 m. En el centro de este cuadrado se empotrará la señal normalizada. Se referenciará siempre a tres puntos fijos para asegurar una posterior reposición en caso de pérdida.
- Para señalar vértices ubicados sobre elementos urbanos (aceras, calzadas, monumentos, etc.) se situará en el punto elegido la citada señal normalizada y se tomarán referencias con cinta a tres puntos estables.
- La señalización de vértices para una posible densificación de la red local establecida se efectuará siguiendo las prescripciones citadas para cada caso en los párrafos anteriores.

5.6. Densificación de la Red Local

Cuando las circunstancias de uso algún día exigiesen densificar la red local establecida, se formará una malla, preferentemente a nivel de suelo, y enlazada con la Red Catastral establecida de poligonales de precisión, que servirá de base, junto con la anterior, para facilitar trabajos topográficos posteriores o complementarios.

Las características de esta malla de poligonales serán las siguientes:

1. La longitud total máxima de una poligonal será de 5000 m
2. La longitud de los ejes de poligonal estará entre 500 y 1000 m como máximo
3. Las observaciones angulares se realizarán por el método de recíprocas y simultáneas entre extremos de eje, utilizando teodolitos de precisión mínima 2 segundos sexagesimales. Las correspondientes distancias (2 por eje) se medirán con distanciómetros electro-ópticos de precisión mínima $\pm 5 \text{ mm} \pm 5 \text{ p.p.m.}$
4. Se deberán realizar poligonales que tengan como partida y llegada vértices de la Red Local Catastral o de la Red Geodésica Nacional. No se realizarán poligonales abiertas o poligonales con partida y llegada en el mismo vértice
5. La precisión en coordenadas de los vértices de esta malla de densificación será 0,10 m para planimetría y 0,15 m para altimetría con respecto de la Red Catastral establecida.

6. TOMA DE DATOS. OBSERVACIÓN

La toma de datos se llevó a cabo dividiendo el trabajo en dos partes bien diferenciadas. La primera, consistente en observar una Red Básica de apoyo que permita calcular, en última instancia, los parámetros de transformación necesarios para determinar las coordenadas UTM. En segundo lugar se llevó a cabo la observación de la Red Catastral en el casco urbano de Jaén, como primera y no definitiva observación, dado que no es el objetivo final de este proyecto.

Hay que tener en cuenta que no se conoce con precisión el geoida aplicable a la zona de trabajo. Por tanto, se puede cometer errores en la observación, de ahí que sólo se efectuase una primera observación, pues el objeto del trabajo no es otro que el de planificar y diseñar una Red Catastral en base a unos condicionamientos técnicos que habrá que imponer. A pesar de ello, se ha realizado una observación considerando que los mayores errores se cometerán en altimetría, como ya se dijo.

Como también se dijo anteriormente, para conocer alturas elipsoidales precisas ha de conocerse con precisión la ondulación del geoida, que puede determinarse a partir de un modelo de geoida adecuado. Para ello, la obtención de estas altitudes del geoida pasa por un extenso proceso de cálculo sobre los datos altimétricos de satélite y gravimétricos de una región o país.

Idealmente, debería conocerse la separación del geoida para todos los puntos en los que se utiliza la transformación. En el 99% de los casos esto no es así; en concreto, en este caso se desconoce con precisión la ondulación del geoida (N) en el área de trabajo. También podría existir un modelo del geoida para el país o para la zona local en la que se está trabajando. Si éste es el caso, la separación del geoida puede determinarse a partir del modelo del geoida.

La relación que liga a la altura ortométrica, altura sobre el nivel medio del mar (h), con la altura elipsoidal (H), viene dada, como ya se ha indicado, por $h = H + N$

En áreas montañosas es donde se producen variaciones bruscas en el geoida.

Para la estimación del valor de la ondulación del geoida se ha utilizado el modelo de geoida suministrado por el software SKI.

6.1. Red Geodésica Básica

Para la primera de las partes, se hace necesario elegir al menos tres puntos de coordenadas conocidas. Estos puntos serán habitualmente vértices geodésicos de la Red Geodésica Nacional. En este caso se eligieron los vértices *Piqueras* (del cual se conocen sus coordenadas EUREF), *Carrascosa*, *Telégrafo* y *Calicatas*. El Instituto Geográfico Nacional facilitó las coordenadas UTM de los vértices mencionados. A este diseño se añadió un punto adicional, ubicado en la terraza de la Escuela Politécnica

Superior de Jaén (al que se denominó *EPS*) para, una vez obtenidas sus coordenadas en el sistema ED-50, sirviera como vértice de referencia en la segunda parte del trabajo.

Para realizar la toma de datos se han utilizado 5 equipos GPS bifrecuencia trabajando en código y fase con posicionamiento diferencial. El método de trabajo ha sido el de estático, debido a que es el método que ofrece la máxima precisión para distancias largas (superiores a 20 km) como es el caso. El tiempo de observación ha sido de 3 horas y media en cada vértice geodésico. El e.m.c. de este método está en torno a los 5 mm + 1 ppm, para estas distancias

La constitución de la Red Geodésica está formada por las líneas-base determinadas con estos vértices.

La toma de datos se llevó a cabo en dos jornadas. En ambas participaron 5 operarios con 5 vehículos, lo que se tradujo en un alto rendimiento de trabajo, reduciéndose el tiempo de ejecución de esta fase en una mañana (incluyendo los tiempos de desplazamiento a los vértices), si bien fueron necesarias dos jornadas de observación, pues en la primera de ellas, por contratiempos meteorológicos, resultó del todo imposible observar todos los vértices de forma simultánea. De hecho, sólo se observaron *Piqueras* y *EPS*. Sin embargo, en la segunda sí que se observaron todos los vértices de forma simultánea. En todo momento se utilizó una máscara de observación de 15° de elevación y la toma de datos fue compacta.

6.2. Red Catastral Urbana

Para la toma de datos se usaron tres equipos GPS bifrecuencia trabajando simultáneamente. Se empleó el método estático rápido, para el que la precisión de una línea base se cifra en torno a 5 mm + 1 ppm (e.m.c.).

Uno de los receptores se situó en el vértice *EPS*, en la terraza de la Escuela Politécnica de Jaén, actuando de referencia y trabajando en estático. Los otros dos funcionaban como receptores móviles y se fueron desplazando por los distintos puntos que conforman la Red Catastral.

Los parámetros de la observación fueron:

- Medidas en código y fase
- Observación en estático
- Precisión subcentimétrica
- Máscara de elevación 15°
- Frecuencias L1 + L2
- Intervalo toma de datos 15 sg
- Tiempo de observación 20 min
- Toma de datos Compacta.

En cada punto se anotó las alturas de las antenas antes y después de cada observación y la hora de inicio y fin de la observación. En la tabla I se indican estos datos.

Punto	Altura inicio (m)	Altura fin (m)	Hora inicio	Hora fin
1	1,122	1,121	10:56	11:16
2	1,109	1,109	10:56	11:17
3	1,123	1,123	11:26	11:46
4	1,013	1,013	11:29	11:50
5	1,063	1,063	12:07	12:28
6	1,166	1,166	12:37	12:58
7	1,124	1,123	12:07	12:27
8	1,053	1,053	10:16	10:36
9 (*)	1,173	1,172	12:40	13:00
10	1,108	1,107	10:23	10:43
11 (*)	1,171	1,170	20:54	21:14
12 (*)	1,066	1,066	20:52	21:12
13 (*)	1,145	1,144	20:21	20:42
14 (*)	1,105	1,105	20:17	20:37
15	1,049	1,049	9:39	10:00
16	1,129	1,129	13:18	13:39
17	1,057	1,056	9:35	9:56
18	1,172	1,172	13:24	13:38
19 (*)	1,110	1,110	17:50	18:10
20 (*)	1,066	1,067	17:53	18:14
21 (*)	1,047	1,046	18:27	18:47
22 (*)	1,166	1,166	18:26	18:48
23 (*)	1,085	1,085	19:00	19:20
24 (*)	1,161	1,160	19:07	19:27
25 (*)	1,132	1,131	19:41	20:01
26 (*)	0,994	0,995	19:31	19:51

Tabla 1

En la toma de datos se emplearon 2 jornadas de campo y se llevaron a cabo con 3 operarios y tres vehículos para los desplazamientos, obteniendo, por tanto, un alto rendimiento de trabajo. No hay que olvidar que la observación supuso un continuo desplazamiento por toda la ciudad, lo que supuso un incremento en el tiempo de ejecución bastante importante.

7. PROCESADO DE LOS DATOS. CÁLCULO Y COMPENSACIÓN

Para la realización de este trabajo se ha necesitado ejecutar tres fases bien diferenciadas. En primer lugar, es necesario levantar una red básica de apoyo que permita calcular los parámetros de transformación necesarios para determinar las coordenadas UTM de los vértices que van a conformar la Red Local Catastral que se quiere instaurar. En segundo lugar, se debe realizar una observación, o un levantamiento, de los puntos que luego se convertirán en vértices de la Red Catastral. Y por último, aunque de esto no se hablará, se obtendrá una representación gráfica de la Red mediante un software específico.

Como ya se dijo, cuando se mide con GPS es necesario realizar una transformación, ya que las coordenadas medidas por el GPS están en un sistema de referencia, el WGS84, diferente al sistema de coordenadas locales que se utiliza en cada país, en España el ED-50.

A continuación se describe cada una de las fases seguidas:

7.1. Determinación de la Red Básica

Para ello, y en primer lugar, se hace necesario elegir al menos tres puntos de coordenadas conocidas. Estos puntos fueron tres vértices geodésicos de la Red Geodésica Nacional, concretamente *Calicatas*, *Carrascosa* y *Piqueras*. De ellos se ha facilitado, por parte de la Delegación del Instituto Geográfico Nacional en Jaén, la siguiente información:

Vértice	X _{UTM}	Y _{UTM}	Altitud	Longitud	Latitud
Piqueras	477.794,613	4.206.011,593	635,1	-3,15104685	38,0003136
Carrascosa	456.170,781	4.193.410,632	543,9	-3,29543051	37,53114673
Calicatas	423.222,783	4.191.061,832	600,5	-3,52221363	37,51474095

Además, se facilitaron las coordenadas WGS-84 del vértice *Piqueras*, que son: $X = 5.024.879,643$ $Y = -285.701,542$ $Z = 3.905.835,117$, útiles para el cálculo de los parámetros de transformación.

A estos vértices se añadió el vértice *Telégrafo*, utilizado en el ajuste de la red, y el que se ha llamado vértice *EPS*, punto clave para la observación de la Red Catastral, localizado en la terraza de la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

El Procesado de los datos conlleva tres fases: Determinación de las líneas base, Ajuste de la Red y Cálculo de los parámetros de transformación.

7.1.1. Determinación de las líneas base

Por medio de posicionamiento estático de tres horas y media se establecieron las siguientes líneas base que constituyen la red geodésica observada:

- *Piqueras - EPS*
- *Piqueras - Telegrafo*
- *Piqueras - Carrascosa*
- *Piqueras - Calicatas*
- *Telegrafo- Carrascosa*
- *Telegrafo - Calicatas*
- *Telegrafo - EPS*
- *Carrascosa - Calicatas*
- *Carrascosa - EPS*
- *Calicatas - EPS*.

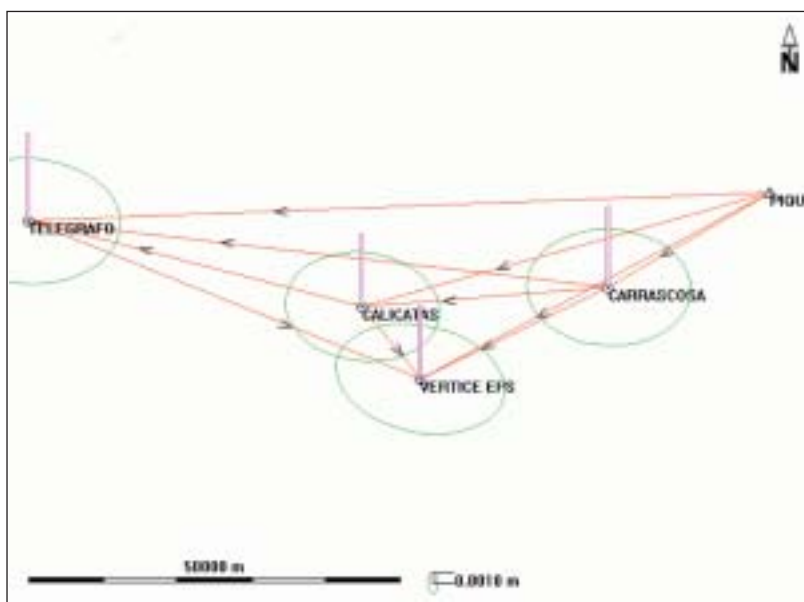


Figura 4: Esquema del ajuste de la Red Básica

7.1.2. Ajuste de la Red

Como segundo paso se debe ajustar la Red mediante mínimos cuadrados. De esta forma se obtiene el ajuste de la Red de la forma que se aprecia en la figura 4: Se comienza fijando el vértice *Piqueras*, luego el vértice *Carrascosa*, a continuación se fijará *Calicatas* y, por último, el vértice *Telégrafo*.

7.1.3. Cálculo de los parámetros de transformación

Por último, y como ya se indicó, hay que relacionar el sistema WGS84 y el Sistema Local. Para ello se ha empleado el método más riguroso y preciso que existe. Éste ha sido una transformación Helmert tridimensional, para lo cual se ha de conocer con precisión, al menos, las coordenadas de tres puntos en el sistema local y en el sistema WGS84. Como ya se dijo, se conocen tres vértices: *Carrascosa*, *Calicatas* y *Piqueras*. Con todo ello se obtienen los parámetros de transformación que permiten calcular las coordenadas del vértice *EPS* en el sistema local ED-50, que son:

Vértice	X _{UTM}	Y _{UTM}	Z
EPS	430.894,528	4.181.386,539	574,9

7.2. Determinación de la Red Catastral

El procesado de los datos conlleva tres fases: Determinación de las líneas base, Ajuste de la Red y Obtención de las coordenadas UTM de los vértices de la Red.

7.2.1. Determinación de las líneas base

En la fase de observación se utilizaron tres equipos trabajando en estático, uno situado en el vértice *EPS* y los otros recorriendo los vértices que conforman la Red Catastral. Así se establecieron las líneas base que constituyen la red catastral observada que son las formadas por *EPS* con todos y cada uno de los vértices y las que forman los vértices entre sí (figura 5).

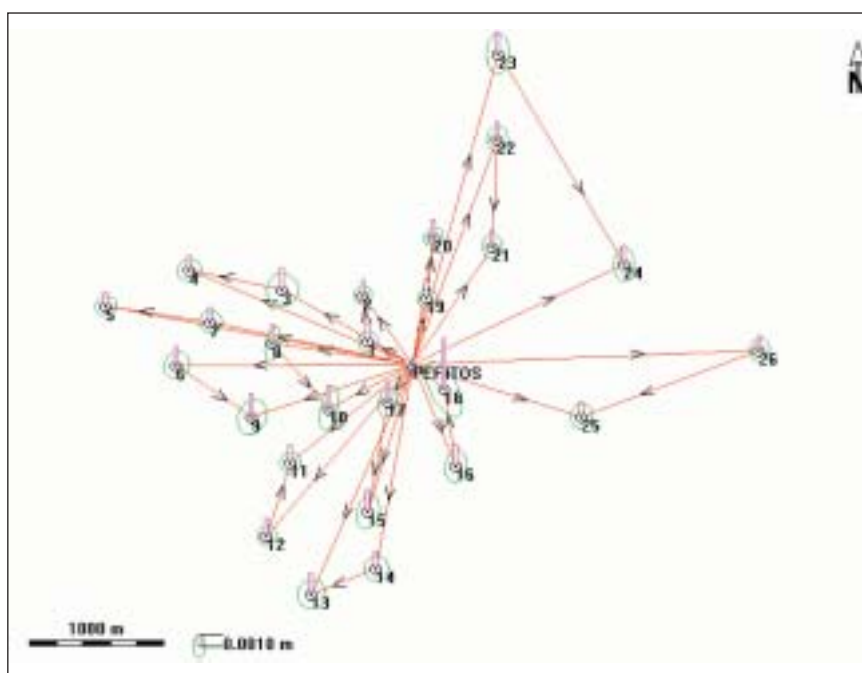


Figura 5: Esquema del ajuste de la Red Catastral

7.2.2. Ajuste de la Red

Como segundo paso, se debe ajustar la Red mediante mínimos cuadrados. De esta forma se obtiene el ajuste de la Red de la forma que se aprecia en la figura 5.

7.2.3. Obtención de las coordenadas de los vértices

Con todos estos parámetros se han obtenido las coordenadas de los vértices de la Red Catastral, que son:

Vértice	X _{UTM}	Y _{UTM}	Z
1	430.583,489	4.181.556,399	550,3
2	430.549,660	4.181.885,628	538,1
3	429.978,312	4.181.930,752	547,1
4	429.318,336	4.182.074,808	551,6
5	428.723,333	4.181.825,203	605,5
6	429.222,698	4.181.400,510	622,5
7	429.468,276	4.181.704,787	571,4
8	429.906,579	4.181.545,584	568,1
9	429.753,677	4.181.025,433	661,4
10	430.301,902	4.181.079,932	602,8
11	430.022,860	4.180.696,280	684,7
12	429.853,957	4.180.177,394	676,5
13	430.167,301	4.179.753,851	640,0
14	430.629,830	4.179.937,238	593,0
15	430.573,632	4.180.341,365	613,9
16	431.198,492	4.180.665,059	577,6
17	430.720,788	4.181.123,955	570,1
18	431.119,643	4.181.210,746	574,2
19	431.003,004	4.181.864,267	533,6
20	431.055,968	4.182.296,952	523,4
21	431.472,043	4.182.228,083	501,5
22	431.514,549	4.182.992,979	490,7
23	431.523,253	4.183.601,996	474,0
24	432.406,726	4.182.091,603	457,7
25	432.096,935	4.181.010,080	528,8
26	433.367,664	4.181.471,791	477,1

8. CONTROL DE CALIDAD

El control de la calidad de un mapa, en cuanto a su precisión o exactitud, tiene por objeto garantizar que la precisión ofrecida por el mapa se cumple en la realidad. La forma más simple de realizar este control es contrastar las medidas proporcionadas por el mapa en una escala conveniente con los correspondientes valores obtenidos por observación directa del terreno. En este caso es imposible llevar a cabo una observación directa de alguna de las líneas base de la Red Básica, por existir excesiva distancia entre los vértices geodésicos empleados. Tampoco es posible hacerlo en ninguna de las líneas base de la red catastral, por existir obstáculos físicos para hacerlo.

Por otro lado, se conocen las precisiones que ofrecen los receptores GPS. Un único receptor SPS monofrecuencia puede dar una precisión en torno a los 100 m. Receptores monofrecuencia diferenciales pueden dar la posición con una precisión entre 1 y 10 m. Un receptor PPS monofrecuencia de la gama alta tiene una precisión de 20 m. Un receptor bifrecuencia de gama alta, trabajando en código y fase, tiene una precisión entre 1 mm y 1 cm. En general, las precisiones dependen de distintos factores, como el número de satélites observados, la geometría de la constelación, el tiempo de observación, las efemérides, las perturbaciones ionosféricas, incidencia de las reflexiones parásitas y la resolución de ambigüedades.

Considerando las precisiones obtenidas en post-proceso del posicionamiento de los vértices que conforman la Red Básica y relacionadas con

las distancias de las líneas base que ofrecen las coordenadas de dichos vértices facilitados por el IGN, se obtendrá un gráfico bastante representativo de la exactitud de la observación realizada en este proyecto. Hay que insistir en que no se trata del objetivo fundamental de este proyecto la observación de la red catastral.

En el caso de la observación de la Red Básica se han obtenido los siguientes residuos (metros):

Vértice	dx	dy	dz
Calicatas	0,0159	0,0084	0,0037
Carrascosa	0,0151	0,0104	0,0066
Telégrafo	0,0189	0,0134	0,0083
Vértice EPS	0,0127	0,0082	0,0034

En el caso de la Red Catastral los residuos han sido los que se indican:

Vértice	dx	dy	dz
1	0,0050	0,0016	0,0024
2	0,0002	0,0001	0,0006
3	0,0048	0,0026	0,0041
4	0,0001	0,0001	0,0002
5	0,0001	0,0000	0,0000
6	0,0024	0,0015	0,0017
7	0,0028	0,0018	0,0028
8	0,0027	0,0011	0,0027
9	0,0002	0,0001	0,0001
10	0,0004	0,0002	0,0003
11	0,0005	0,0003	0,0006
12	0,0031	0,0011	0,0019
13	0,0002	0,0001	0,0001
14	0,0021	0,0012	0,0017
15	0,0007	0,0001	0,0006
16	0,0044	0,0022	0,0039
17	0,0034	0,0010	0,0012
18	0,0014	0,0005	0,0012
19	0,0031	0,0013	0,0025
20	0,0005	0,0002	0,0003
21	0,0000	0,0000	0,0000
22	0,0040	0,0017	0,0024
23	0,0055	0,0020	0,0040
24	0,0002	0,0001	0,0002
25	0,0000	0,0001	0,0000
26	0,0020	0,0011	0,0016

Disponiendo los residuos en función de las distancias, se obtiene un gráfico para la Red Básica (figura 6) y otro para la Red Catastral (figura 7).

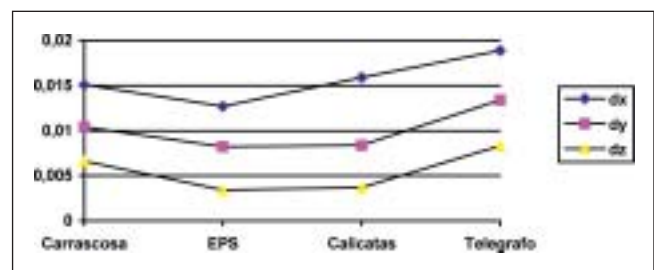


Figura 6 Residuos en la Red Básica

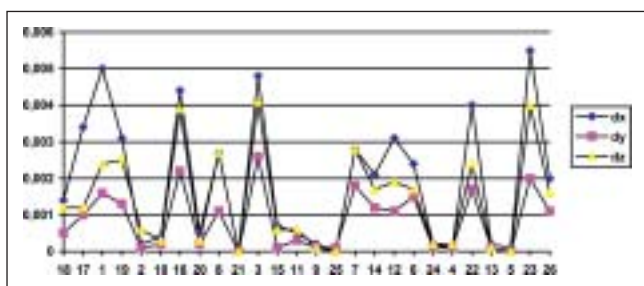


Figura 7: Residuos en la Red Catastral

Como se puede observar, los mayores errores en **X**, **Y** y **Z** son:

	dx	dy	dz
Red Básica	0,0189	0,0134	0,0083
Red Catastral	0,0055	0,0026	0,0041

Estudiando los gráficos, se percibe que los residuos se producen de forma homogénea, es decir, los residuos producidos en cada punto se comportan de forma similar en cuantía. Es decir, que si el residuo en **X** es pequeño, también lo es en **Y** y en **Z** en ese punto y si, por el contrario, en **X** es grande, también lo es en **Y** y en **Z** en ese punto.

9. CONCLUSIONES

En el apartado de conclusiones es obligado comenzar hablando de la técnica GPS, que es la que ha servido para la observación de la Red Catastral de cuya planificación y estudio es objeto este proyecto. Con todo, la utilización de la técnica GPS para los levantamientos topográficos, y más concretamente para los levantamientos cartográficos, se revela como una herramienta potente con la que poder realizar trabajos topográficos y cartográficos.

Asimismo, este sistema ofrece la mejor relación calidad-rapidez para poder posicionar puntos pertenecientes a una Red que sirva de apoyo para poder inventariar de forma precisa y económica la localización geográfica de cualquier dato o elemento urbano, así como posibilitar la obtención de cualquier información georreferenciada de cualquier elemento o dato cartográfico. Estos datos se pueden integrar en un sistema de información geográfico y de esta forma se puede disponer de una base de datos geográfica sobre elementos urbanos clasificados según su importancia, tales como redes de agua, tapas de registros, redes eléctricas, teléfono, mobiliario urbano, etc.

Todo ello convierte a la técnica GPS en una tecnología de posicionamiento valiosa para las continuas actualizaciones o modificaciones cartográficas.

La Red Catastral establecida sirve de base a cualquier ampliación del casco urbano que se quiera realizar en la ciudad de Jaén. De esta forma se pueden incluir las modificaciones en la base de datos del sistema de información geográfico empleado y actualizar de forma cómoda la base cartográfica existente de la ciudad.

Como ventajas del sistema GPS se podrían destacar:

- Total independencia de las condiciones meteorológicas (lluvia, niebla, etc.)

- Facilidad de manejo del equipo
- No es necesario que exista intervisibilidad entre los receptores
- Precisión muy homogénea en **X** e **Y**
- Fiabilidad, gran coherencia de resultados entre diferentes campañas de observación
- Disponibilidad de satélites durante 24 horas para una cantidad ilimitada de usuarios
- Ofrece cobertura nacional totalmente gratuita.

Como inconvenientes se podrían señalar:

- El elevado precio de los equipos
- Los errores introducidos por un conocimiento limitado de la propagación de la señal en la atmósfera tienen un papel importante en el posicionamiento relativo con GPS a media y larga distancia
- El excesivo consumo de memoria
- La necesidad de realizar una red de apoyo para calcular los parámetros de transformación
- Necesidad como mínimo de cuatro satélites para realizar la medición
- Disponibilidad en todo momento de una buena geometría de la constelación de los satélites con valores de GDOP siempre inferior a un valor de 5
- Posibilidad de realizar las observaciones sólo a cielo abierto, con el menor número de obstrucciones.

Se debe hacer hincapié en las limitaciones que deberán tenerse en cuenta en una futura observación de la Red Catastral establecida. Éstas son:

- Conocimiento preciso del modelo del geoide de la zona
- Observación desde más vértices para el posterior cálculo de los parámetros de transformación
- Observación desde puntos NAP para dotar de altimetría a la Red Catastral.

Por último, decir que la aplicación fundamental que resume la futura utilidad de la red catastral implantada no es otra que la de que sirva de base para la generación de cartografía catastral y urbana apta para ser integrada en un sistema de información geográfico.

BIBLIOGRAFÍA

- HERRING, T.A. (1996). "El sistema de posicionamiento global". *Investigación y Ciencia*, Núm. 235. Abril 1996.
- SEVILLA, M.J. (1991). "Criterios de Precisión Cartográfica". *Catastro*. Año III. Núm. 8, Abril de 1991.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO. *Pliego de Condiciones Técnicas para la Realización de Cartografía Catastral Urbana, año 1998*.
- NUÑEZ. *GPS. La nueva era de la topografía*.
- ASHKENAZI, V. (1995). "El GPS y los mapas". *Revista de Topografía y Cartografía*.
- Página oficial de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG: International Association of Geodesy).
- ENRIQUEZ, C. (1998). "Aplicación del GPS a la Cartografía Actual". 6º Congreso Nacional y 3º Internacional de Topografía. Medellín (Colombia). Pendiente de publicación.
- RODRIGUEZ, Y. (1998). *El Sistema GPS. Una herramienta de la cultura del siglo XXI al servicio del catastro*. ■

La Georreferenciación mediante Callejero en el Ámbito Municipal

Vicente García Núñez (garcianv@munimadrid.es)

INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

AYUNTAMIENTO DE MADRID

Carlos López Borra (carloslopezborra@yahoo.es)

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

Resumen

El desarrollo de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) está convirtiendo la información cartográfica en un producto de consumo generalizado. En la Administración Local la gestión se desarrolla en torno a dos entidades fundamentales: los ciudadanos (padrones de habitantes) y los inmuebles (censos de edificios), teniendo ambas una componente geográfica evidente.

La georreferenciación es fundamental para conseguir una gestión integral del territorio. Implica introducir la componente geográfica en dicha gestión, como referencia común de carácter universal dentro de la propia organización, que permite situar, gestionar y analizar de modo espacial toda su actividad.

El método de georreferenciación descriptiva mediante callejero normalizado conforme con la normativa al respecto, es una forma adecuada de mejorar la eficiencia en la gestión y redundante en una mejora del servicio al ciudadano.

El callejero, como sistema proveedor de información, bien en forma de datos o de servicios, también debe dar cabida a la información histórica y a la toponimia en su sentido más amplio, así como ofrecer alternativas para la normalización de direcciones, todo ello sustentado en una estructura multidimensional de la información.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El desarrollo de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) está permitiendo la popularización de la información cartográfica, que pasa así de ser un elemento técnico, de uso restringido en entornos especializados, a convertirse en un producto de consumo generalizado.

Esta tendencia se manifiesta por igual en el seno de las Administraciones Públicas como en la sociedad, tanto en el ámbito empresarial como en el particular.

Como consecuencia de ello, los sistemas de información geográfica de los diferentes organismos públicos están evolucionando en dos líneas paralelas.

La primera de ellas camina hacia la apertura, la difusión, el conocimiento y empleo masivo del dato cartográfico. Está enfocada básicamente hacia el exterior y se aglutina dentro de las iniciativas que confluyen hacia Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), que, bajo los estándares de-

finidos por la propuesta de directiva europea INSPIRE¹, se están llevando a cabo en las Administraciones Públicas.

La segunda se orienta hacia la integración de la información cartográfica como un elemento más de los propios procesos de trabajo, lo que se conoce con el término inglés *geoworkflow*.

Sin embargo, el uso generalizado del dato cartográfico no se debe limitar al aspecto pasivo de una consulta o a la anexión en informes y documentos. La potencialidad del mismo se manifiesta realmente cuando se consigue una integración activa en los procesos y se posibilitan los análisis conjuntos de datos de diferente naturaleza y orígenes diversos, en los cuales la componente espacial debe entenderse como una variable más de dicho análisis.

¹ Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad (INSPIRE), Bruselas, 23.7.2004 2004/175 (COD).



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

Todo ello sólo puede realizarse satisfactoriamente mediante una correcta georreferenciación, no sólo de las diversas fuentes geográficas sino también de la información no cartográfica.

Es en este segundo aspecto donde se centra el presente artículo. Estructurado como un conjunto de preguntas y respuestas que pretenden organizar de modo intuitivo el tratamiento del tema, con la intención de facilitar su consulta. De este modo, tras una primera lectura, se intenta que el lector pueda localizar de manera rápida aquella cuestión más frecuente sobre la que requiere una aclaración. En la medida en que lo hayamos conseguido se habrán cumplido nuestros objetivos.

2. ¿POR QUÉ LA GEORREFERENCIACIÓN?

Las Administraciones Públicas trabajan con múltiple información, que generalmente se gestiona mediante bases de datos de diferente envergadura.

Si se analiza esta información, enseguida se descubre que, en gran medida, gira entorno a dos entidades fundamentales: los ciudadanos y los inmuebles.

Centrémonos un poco más en esta idea, mediante algunos ejemplos situados en el ámbito de la administración local.

- **Urbanismo:** Interesa conocer la evolución urbanística de la ciudad como consecuencia de la propia gestión urbanística, que, de forma intuitiva, se materializa en aquellas parcelas y edificios en los que se conceden licencias urbanísticas.
- **Hacienda:** ¿Qué ciudadano abona o debe un determinado impuesto, tasa, sanción, etc.?
- **Turismo:** ¿En dónde se encuentra un monumento, museo, espectáculo, actividad de ocio, etc.?
- **Información al ciudadano:** Bien es cierto que en este caso es frecuente la pregunta ¿Cómo debo hacer una determinada gestión, qué trámites son necesarios? Pero, inmediatamente después, ésta lleva asociada la siguiente: ¿Dónde debo dirigirme para realizarlo?
- **Servicios de emergencia:** ¿Dónde se ha producido un determinado suceso?
- **Servicios sociales:** ¿Dónde reside un ciudadano al que se está dando un servicio? ¿Cómo se distribuye geográficamente un determinado colectivo al que hay que dar una asistencia?
- **Gestión administrativa:** ¿Se puede ubicar espacialmente cualquier expediente administrativo?

Las dos entidades que interesan, ciudadanos e inmuebles, se registran respectivamente en los padrones de habitantes y en los censos de edificios.

Ambas tienen una componente geográfica indudable: de un inmueble es imprescindible conocer su ubicación; pero un ciudadano finalmente

tiene una dirección que la Administración utiliza para relacionarse con él.

La gestión municipal se basa, de manera generalizada, en estas dos entidades, de clara componente geográfica. Sin embargo, es poco frecuente que dicha gestión se apoye en información geográfica y tampoco en información alfanumérica estructurada de direcciones. Por el contrario, lo más habitual es que ésta se reduzca a meros datos complementarios, sin una estructura lógica y sin un plan de mantenimiento que le dé fiabilidad y potencia. Suele materializarse en uno o varios campos literales de una tabla que registra una entidad de naturaleza diferente, y en los que suele haber casi de todo.

Frente a esta situación ¿Qué se entiende por georreferenciación? Se trata de introducir la componente geográfica en la gestión propia de la organización como un elemento de base, estructurado y potente, sobre el que apoyar la información específica de cada área o servicio.

Pero ¿Qué aporta la georreferenciación? Una referencia común, de carácter universal dentro de la propia organización, que permite situar, gestionar y analizar de modo espacial toda su actividad.

Con ello se aporta calidad a la información, evitando redundancias y faltas de normalización; se facilita el acceso y la recuperación de datos para consulta y análisis; permite compartir información entre diferentes servicios; da fiabilidad a las estadísticas y facilita su elaboración e interpretación mediante mapas temáticos.

Concretamente, en el caso de la Administración Local, posibilita la gestión integral del territorio, al incorporar la componente geográfica en la gestión, mediante un sistema de referencias territoriales unívocas.

3. ¿QUÉ CLASES DE GEORREFERENCIACIÓN EXISTEN?

Se distinguen dos clases diferentes de georreferenciación: descriptiva y matemática (o topográfica).

La primera de ellas, la descriptiva, se sustancia en una expresión o en un código abstracto que identifica una ubicación, ya sea puntual, lineal, superficial o volumétrica. En este conjunto se ubica la toponimia.

La segunda se concreta en un conjunto de coordenadas sobre un sistema de referencia establecido, que ubica espacialmente el objeto a georreferenciar.

Este artículo se centra en la primera de estas formas, de escaso tratamiento metodológico, a nuestro juicio, y no aborda la segunda de ellas, ampliamente desarrollada en la bibliografía geodésica y topográfica.

Es evidente que la manera más precisa de ubicar una determinada entidad es mediante sus coordenadas, las cuales, para una escala definida, dan una ubicación con la máxima precisión.

Sin embargo, la manera habitual de referirse a los lugares no es por sus coordenadas, sino mediante una descripción, un topónimo, o cualquier otro convencionalismo de tipo descriptivo, como puede ser, en el ámbito urbano, una calle y un número.

Y aunque esta última manera se apoya, finalmente, en la primera, se convierte, a su vez, en el instrumento de georreferenciación que sirve de puente entre la forma de uso general y la técnica.

Se identifican así dos maneras de georreferenciación que se pueden considerar como primarias: Para la forma matemática sería el conjunto formado por la cartografía de referencia adoptada y la red geodésica y topográfica en la que se apoya esta cartografía, mientras que para la forma descriptiva se opta por el callejero oficial, que en el ámbito de la administración local queda justificado por las razones que se exponen a continuación.

4. ¿POR QUÉ EL CALLEJERO COMO HERRAMIENTA DE GEORREFERENCIACIÓN?

Se podría adoptar como forma para la georreferenciación cualquier expresión o código que identifique un lugar. Así, serían opciones válidas, entre otras, las siguientes:

- *Expresiones:* Un topónimo, una dirección, el nombre de una figura de planeamiento...
- *Códigos:* La referencia catastral de una parcela, el código postal o cualquier código propio, por ejemplo el código asociado a un número de policía (código de NDP).

La decantación por el callejero oficial, en el caso de la Administración Local, responde a los cuatro motivos fundamentales que seguidamente se indican. A su vez, dentro del callejero, la utilización del código de NDP en lugar de la expresión sintáctica de una dirección, permite dotar al sistema de una dimensión espacio-temporal, ya que aquél corresponde a una dirección normalizada en un espacio de tiempo determinado, como se verá en el capítulo dedicado a la estructura del callejero.

Los motivos son los siguientes:

1. Existe legislación para la normalización de direcciones a nivel nacional².
2. La propia Administración Local tiene la competencia de su actualización y mantenimiento³, convirtiéndose así en el proveedor primario del dato, que garantiza su actualización y fiabilidad.

² Ministerio de la Presidencia (BOE 087 de 11/04/1997). Resolución de 9 de abril de 1997, de la Subsecretaría, por la que se dispone la publicación de la resolución de 1 de abril, de la Presidenta del Instituto Nacional de Estadística y del Director General de Cooperación Territorial, por la que se dictan instrucciones técnicas a los Ayuntamientos sobre la gestión y revisión del padrón municipal. Páginas: 11449 – 11473.

³ Ver 2.

3. Es el de mayor detalle de los disponibles, ya que, en última instancia, se refiere a una posición única en el terreno (materializada en cada uno de los accesos por un edificio o parcela).
4. En asociación con los códigos de Aproximación Postal Primera (APP1) y Segunda (APP2), permite aproximarse a la ciudad hasta el nivel de calle+número+escalera+planta+puerta. Es decir, el nivel máximo para referir el censo de edificios y el padrón de habitantes, enlazando así estos dos instrumentos fundamentales.

Así, la adopción del callejero oficial como instrumento de georreferenciación, cuando éste se apoya en un sistema de información dotado de una estructura sólida y que ofrece un conjunto versátil de servicios de localización, abre un enorme abanico de posibilidades de consulta, localización y recuperación de información, entre las cuales se indican a continuación algunos ejemplos⁴:

- Por denominaciones incompletas, aproximadas, erróneas:

Posibilidades de consulta	Datos de entrada	Respuesta del sistema
Por dirección completa	CALLE DE LA ABADA 14	CALLE DE LA ABADA 14
Por dirección parcialmente cualificada	MAYOR	CALLE MAYOR PLAZA MAYOR
Por denominación incompleta	BARÓN DE CHIREL	CALLE DEL BARÓN DEL CASTILLO DE CHIREL
Por denominación errónea	VALLEJO NÁJERA	PASEO DEL DOCTOR VALLEJO NÁJERA
Por clase de vía	PLAZA	Relación de todas las plazas
Por clase de topónimo	URBANIZACIÓN	Relación de todas las urbanizaciones
Por edificio singular	JUNTA MUNICIPAL CENTRO	PLAZA MAYOR 3* CALLE IMPERIAL 8*
Por dirección aproximada	GRAN VÍA 17	GRAN VÍA 17 A GRAN VÍA 17 B
Por dirección errónea	SEGOVIA 1 BIS	SEGOVIA 1 DU*
Por vías sin numeración	EMILIO CASTELAR	GLORIETA DE EMILIO CASTELAR

- Por direcciones históricas:

Posibilidades de consulta	Datos de entrada	Respuesta del sistema		
		Vigencia desde hasta		
Considerando denominaciones históricas	PRÍNCIPE DE VERGARA	PRÍNCIPE DE VERGARA	25/01/1980	
		GENERAL MOLA	12/12/1940	25/01/1980
		PRÍNCIPE DE VERGARA	01/01/1914	25/01/1980
Considerando numeraciones históricas	CALLE DE LA SIERRA GADOR, 50	CALLE DE LA SIERRA GADOR, 50	27/01/1998	
		AVENIDA DE LA ALBUFERA, 480	01/01/1991	27/10/1998

Mediante estos ejemplos es posible hacerse una idea de las posibilidades que aporta la georreferenciación mediante el callejero a la hora de ac-

⁴ Ejemplos extraídos del callejero del Ayuntamiento de Madrid: www.munimadrid.es/urbanismo/callejero/consulta_avanzada Consultado durante octubre de 2005, excepto *.

ceder y explotar la información de la organización, que de lo contrario quedan muy limitadas.

5. ¿EN QUÉ CRITERIOS SE BASA LA GEORREFERENCIACIÓN DESCRIPTIVA?

El objetivo de la georreferenciación es, como se ha dicho, adoptar un sistema de referencias territoriales unívocas o, más intuitivamente, que *“todos aquellos que se refieran a un mismo lugar lo llamen de la misma manera”*.

Para que una georreferenciación descriptiva cumpla este objetivo debe ajustarse a los siguientes criterios:

UNIVERSALIDAD

Se trata de que toda la organización emplee el mismo sistema de georreferenciación. En la medida en que éste se implanta en los diferentes subsistemas de gestión, facilita el intercambio y reutilización de datos entre servicios, optimizando la gestión.

NORMALIZACIÓN

La normalización tiene dos aspectos importantes en los que nos detendremos: normalización de datos y normalización del acceso a los datos.

La normalización de datos resulta obvia. Toda la información de callejero de la organización debe tender a estructurarse de forma unificada, de acuerdo con la base de datos proveedora, y ésta debe, a su vez, ser conforme con la normativa al respecto.

Según la Normativa INE⁵, las direcciones se deben estructurar en los siguientes componentes:

- CLASE
- PARTÍCULA
- DENOMINACIÓN
- NÚMERO
- CALIFICADOR

Veamos cómo resulta en un ejemplo. La dirección normalizada es

CLASE	PARTÍCULA	DENOMINACIÓN	NÚMERO	CALIFICADOR
AVENIDA	DE	ASTURIAS	28	B

De esta forma parece resolverse el problema de la normalización, sin embargo, inmediatamente surge un nuevo problema, el mantenimiento de esa información.

Si los datos de callejero se repiten en bases de datos propias de otros sectores de negocio o competencias, que están diseñadas para sus

propios fines, en el momento en que se modifica un dato en la base de datos proveedora se debe producir una acción en cadena hacia las bases de datos clientes. Esto sólo está justificado en aquellos casos que necesitan disponibilidad ininterrumpida, tales como servicios de emergencia, ciertos servicios de Internet, etc., que no pueden depender del acceso a un servicio externo. En todos los demás casos, la información de callejero no debe repetirse en los sistemas departamentales o sectoriales. Éstos únicamente deben almacenar referencias mediante códigos fijos, estables en el tiempo, cuya decodificación o traducción debe hacerse en la base de datos proveedora, mediante un servicio normalizado de acceso a datos.

Se nota así que en la estructura final la normalización de datos afecta especialmente a la base de datos proveedora, mientras que en las bases de datos que hacen uso de esta información sólo debe afectar a los códigos fijos comunes. Por el contrario, el sistema proveedor de callejero se ve afectado significativamente por la normalización de los accesos a los datos.

Abordemos, por tanto, el segundo aspecto de la normalización, más importante aún si cabe que el primero la normalización del acceso a los datos de callejero.

Se debe dotar al sistema de georreferenciación de un servicio de acceso a datos normalizado que explote la información de la base de datos y la sirva a los sistemas solicitantes, pues sólo así se garantiza el dato más fiable, el más actualizado y el más completo, aprovechando en toda su potencia la información y estructura de la base de datos proveedora.

Por añadidura, mediante este sistema se fomenta la reutilización del código, evitando desarrollos redundantes que además restan fiabilidad al sistema global.

Estos criterios resultarían, si cabe, demasiado obvios, pero... ¿Quién no se ha encontrado una dirección “rara” (léase errónea) entre las bases de datos de su organización o en su uso como particular? Sin duda muchos los hemos echado en falta, y aún lo hacemos, cuando nos enfrentamos a las direcciones que almacenan las bases de datos de nuestras propias organizaciones, en un intento por normalizarlas, o como particulares, cuando intentamos dar de alta un servicio de suministro en nuestra vivienda y nos encontramos que la dirección en la que se supone que vivimos “no existe” para la empresa proveedora (o lo que es lo mismo, no está normalizada).

Resumiendo, si además de cumplir los criterios de universalidad y normalización, se consigue que la expresión sea conforme con la normativa al respecto y su uso se extiende a toda la organización, mediante herramientas comunes de acceso a los datos, entonces se habrá dado un paso importante hacia la eficiencia en la gestión, y en el caso de las Administraciones Públicas, redundará en una mejora del servicio al ciudadano.

⁵ Ver 2.



EPOCH™

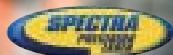
RECEPTOR TOPOGRÁFICO INTEGRADO L1 GPS. COLECTOR DE DATOS MULTIUSO. FLEXIBLE SOFTWARE DE CAMPO DE FÁCIL USO. AMPLIA PANTALLA TÁCTIL EN COLOR. TRANSFERENCIA DE DATOS RÁPIDA.



M3 ESTACIÓN TOTAL M3

PRÁCTICAS FUNCIONALIDADES DE HARDWARE Y SOFTWARE. PROBADA ÓPTICA NIKON Y SOFTWARE TRIMBLE INTERNO. CARACTERÍSTICAS EXCLUSIVAS PARA ASEGURAR PRECISIÓN Y FIABILIDAD EN LA MEDICIÓN.

Última tecnología para hacerle el trabajo más fácil



TopoCenter® PUNTOS DE APOYO TOPOCENTER EN SU ZONA:
BARCELONA 93 340 05 73 - 655 559 111 | MADRID 91 371 82 98 - 629 590 874 | LEVANTE 961 460 839 - 618 557 128
PAIS VASCO 945 13 10 24 - 616 012 096 | GALICIA 986 848 021 - 618 303 238 | BALEARS 971 438 065 - 618 285 080

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



6. ¿CÓMO INCORPORAR LA GEORREFERENCIACIÓN?

Una vez establecido el callejero como el instrumento adecuado para una georreferenciación generalizada, procede identificar la secuencia de acciones más relevantes para su implantación en la organización:

1. Determinación de las necesidades reales y potenciales de georreferenciación, para establecer un equilibrio entre la inversión a realizar y las prestaciones del sistema.
2. Identificación de la fuente más fiable de datos de callejero y el servicio encargado de su mantenimiento, que será, a su vez, el proveedor primario de dicha información, en forma de datos y servicios. Es imprescindible la definición de un plan de mantenimiento para garantizar la fiabilidad de la información.
3. Definición e implantación de una base de datos estructurada de callejero. Es necesario disponer de un sistema gestor de bases de datos geográficos, dimensionado conforme a la demanda. Asimismo, requiere de un adecuado sistema de mantenimiento de la información mediante herramientas SIG.
4. Desarrollo de los servicios de callejero para poner a disposición de los usuarios finales y de las aplicaciones esta información. En este sentido, resultan imprescindibles las herramientas de consulta unificada y suministro de información, ya sea de modo interactivo a un usuario final o bien mediante funciones que facilitan a otras aplicaciones los datos necesarios para georreferenciar la información específica de cada servicio, en definitiva, se trata de normalizar el acceso a los datos.
5. Generalización del uso de la consulta unificada de callejero desde las diferentes aplicaciones y sistemas de cada servicio. Para ello es necesaria una política adecuada de difusión y fomento de esta información, así como un plan de formación específico.
6. Sustitución de los callejeros departamentales, sectoriales y propietarios, por referencias normalizadas al callejero unificado, minimizando la información de callejero almacenada en los sistemas. Como se vio en el apartado anterior; no es eficiente que una base de datos distinta del callejero almacene direcciones con su calle y número, sino el código de cada posición, de forma que si una dirección varía y se registra el cambio en el callejero, no sea necesaria ninguna acción de mantenimiento sobre la base de datos específica. Con frecuencia esta sustitución implicará modificar la estructura de las bases de datos y adecuar los sistemas de gestión y explotación de esta información. También es imprescindible incluir entre los servicios del sistema proveedor herramientas para la normalización de callejeros.
7. Incorporación de la componente geográfica normalizada en todos los sistemas de gestión susceptibles de emplazamiento que no la incluyan. Esto implica, necesariamente, la modificación de la estructura de las bases de datos, así como la adecuación de las herramientas de ges-

ción y explotación. Inevitablemente, esto conduce a la evolución de los sistemas de flujos de trabajo, o *workflow*, hacia los sistemas de *geoworkflow*, como se apuntaba en la introducción de este artículo.

7. ¿CÓMO RESOLVER LAS DIRECCIONES NO NORMALIZADAS?

En este artículo se viene hablando reiteradamente de normalización. Se ha expuesto la estructura que debe tener una dirección para que se considere normalizada conforme a la normativa vigente y se han indicado los beneficios que aporta en la gestión.

Procede ahora hacer un análisis de en qué medida se aproxima la información de callejero de nuestras organizaciones a esta estructura, qué nivel de redundancias tenemos y cuál es la eficiencia de nuestros servicios de callejero para hacer disponible esa información.

En este sentido, aparecen con demasiada frecuencia en nuestros sistemas direcciones no normalizadas y "buzones" de no normalizados. El problema es recurrente, afecta a la eficiencia de los servicios y puede adquirir tal envergadura que haga inoperante el sistema.

En este apartado se hará un análisis somero de la tipología de las direcciones no normalizadas, para pasar posteriormente a una propuesta de resolución, dando respuesta así a la cuestión planteada en el título de este apartado.

Partiendo de una dirección normalizada:

CLASE	PARTÍCULA	DENOMINACIÓN	NÚMERO	CALIFICADOR
AVENIDA	DE	ASTURIAS	28	B

En contraste con ella, se encuentra diversa problemática de la que a continuación se exponen algunos casos.

Respecto a las denominaciones:

Expresiones que se almacenan en un único campo, sin estructura

AVENIDA DE ASTURIAS

Uso indiscriminado de abreviaturas en las clases de vía

AV. DE ASTURIAS
AVD. DE ASTURIAS
AVDA. DE ASTURIAS

Ausencia de partículas

AVENIDA ASTURIAS

Indeterminación de la clase de vía

SEGOVIA	¿corresponde a?	CALLE, PLAZA, AVENIDA
---------	-----------------	-----------------------

Abreviaturas en la denominación

M ^a GUERRERO	en lugar de	MARÍA GUERRERO
DTOR VALLEJO NÁJERA	en lugar de	DOCTOR VALLEJO NÁJERA
PPE. DE VERGARA	en lugar de	PRÍNCIPE DE VERGARA
S. BARTOLOMÉ	en lugar de	SAN BARTOLOMÉ

Errores en la denominación

ODONEL	en lugar de	O'DONNELL
--------	-------------	-----------

En cuanto a numeraciones:

Sin números

AVENIDA DE ASTURIAS S/N

Con vuelta a otra vía

AVENIDA DE ASTURIAS C/V PLAZA CASTILLA
--

Calificadores no normalizados

BIS, DUPLICADO, POSTERIOR...

Numeración ambigua

AVENIDA DE LOS INSTITUTOS 20-22

También es recurrente el uso de direcciones inexistentes o la persistencia en el uso de direcciones históricas para fines que requieren necesariamente una vigente. Y, por supuesto, cualquier combinación posible entre varias de estas formas.

La problemática de las direcciones no normalizadas es frecuente, no tanto en las bases de datos propias de callejero, que están condicionadas por la obligatoriedad de remitir esa información al INE⁶, lo cual obliga a un esfuerzo de normalización, como en otras bases de datos que usan esta información de manera auxiliar o complementaria. Es aquí donde debe centrarse el esfuerzo para abordar el problema.

Se plantean dos tipos de soluciones: una *a priori*, en la entrada del dato, y otra *a posteriori*, para reducir los "buzones" de no normalizados ya existentes. Con este doble enfoque se aborda el problema de forma global y al introducir la normalización *a priori* se aporta eficiencia, ya que se reduce la entrada de nuevos errores.

La normalización *a priori* se sustancia en una herramienta abierta, en forma de servicio web o API (Application Program Interface), que analiza la dirección introducida y propone los candidatos al operador, con una filosofía similar a la del servicio de consulta unificada de callejero, expuesto anteriormente, y que sea invocada desde las diferentes aplicaciones, de manera automática, siempre que se introduce una dirección que no existe en el callejero oficial.

⁶ Ver 2.

El sistema formula la propuesta de candidatos mediante un conjunto de reglas configurables, que se obtienen por el análisis de la casuística de las direcciones no normalizadas y su recurrencia, conforme se ha indicado en la primera parte de este mismo apartado. Mediante este servicio se pueden corregir los errores sintácticos y ortográficos más frecuentes (las abreviaturas, las faltas de estructura de la información, las ambigüedades en la numeración, etc.).

En cuanto a la normalización *a posteriori*, requiere varias acciones:

- Desarrollo de un servicio de normalización de callejeros, de carácter asistido o semiautomático, de forma que analice y proponga la corrección de la mayoría de los casos, conforme a las mismas reglas determinadas para el módulo de normalización *a priori*. El servicio debe ser asistido, porque, en última instancia, es el operador quien debe aceptar o rechazar la propuesta de normalización o elegir entre varios candidatos posibles.
 - Creación de un "buzón" de no normalizados centralizado, donde re-vertan los de las diferentes aplicaciones, identificando la procedencia de cada uno y clasificándolos. Este buzón central debe mantenerse *on-line* desde las distintas aplicaciones, reemplazando a sus buzones particulares. A su vez, es el utilizado por el servicio de normalización. Es imprescindible protocolizar la forma y requerimientos mínimos para aceptar la petición de normalización; por ejemplo, es necesario que se identifique geográficamente la situación de cada no normalizado, preferiblemente mediante cartografía, fotografías, croquis, etc., o, en su defecto, mediante descripciones literales de tipo registral.
- Este buzón de no normalizados centralizado debe disponer de herramientas de gestión, para que un equipo especializado de normalización (probablemente el mismo que se ocupa del mantenimiento del callejero), analice los casos problemáticos o atípicos y los normalice.
- Finalmente, es necesario implantar un procedimiento para la normalización que incluya alarmas cuando se generan nuevos no normalizados y la comunicación de la resolución a la aplicación y al tramitador que lo generó.

Concluyendo, la existencia de direcciones no normalizadas suele ser un problema de gran trascendencia en la georreferenciación de los sistemas de las organizaciones, que además crece continuamente y afecta a la mayoría de los subsistemas y aplicaciones, repercutiendo en la recuperación de datos, en la fiabilidad de las estadísticas y, finalmente, en la eficiencia del propio sistema, que, no obstante, puede ser atajado de forma global de una manera eficaz, según se ha expuesto.

8. ¿POR QUÉ UNA ESTRUCTURA MULTIDIMENSIONAL?

Como primer paso para implantar la georreferenciación se habló de crear una base de datos estructurada, que además debe tener datos normalizados y ha de dotársela con unos servicios también normalizados.

Pero ahora, intentando dar un paso más en cuanto a potencia del sistema, nos encontramos ante un apartado un tanto ambicioso. Por ello, lo primero que se debe hacer es explicar el concepto que lo sustenta para después desarrollar el núcleo de la estructura subyacente que permitirá dar el servicio.

Estamos acostumbrados a desenvolvemos en un mundo tridimensional y en él todo nos resulta familiar. Sabemos lo que está cerca, lo que está lejos, más arriba o más abajo.

Incluso, cuando hablamos de sistemas de información geográfica ha sido tradicional hablar de dos dimensiones, por las propias limitaciones de los sistemas hasta no hace demasiado tiempo, si bien es cierto que gran parte de éstos actualmente son tridimensionales.

Pero cuando se empieza a hablar de sistemas de información geográfica con planes de mantenimiento establecidos, inmediatamente se advierte que se trata de información dinámica, viva, que cambia en el tiempo.

Si además, lo que se gestiona son, en esencia, los nombres con los que se conocen los diversos emplazamientos, se añade una componente descriptiva que se convierte en una variable más.

De este modo, se entienden los datos de direcciones y toponimia como una información que al menos tiene cinco dimensiones y el callejero como el sistema capaz de gestionar estas cinco dimensiones de forma simultánea y coherente.

Resumámoslas:

- **Ubicación o emplazamiento:** Requiere un espacio tridimensional para definirlo (según los usos se puede simplificar en dos dimensiones).
- **Evolución temporal:** Introduce la cuarta dimensión, la componente tiempo, que indica cuándo aparece una expresión y durante cuánto tiempo permanece vigente.
- **Toponimia:** El conjunto de expresiones con las que se denominan los lugares debe ser concebido como una quinta dimensión, ya que se rige por sus propios criterios en cuanto a evolución temporal, repeticiones de uso, extensiones, etc.

Bien, ya se han definido las dimensiones fundamentales de un callejero, pero... ¿Cómo se gestionan simultánea y coherentemente?

Se necesitará una estructura que lo soporte y un sistema capaz de gestionarla.

Para simplificar la exposición, nos centraremos en el caso de direcciones, por ser la situación predominante y porque el tratamiento del resto de entidades no difiere sustancialmente de éste. El núcleo estructural es el siguiente.

Cada emplazamiento se identifica por un código único, asociado a una posición (código de NDP) o a un recinto concreto (código de vía o de topónimo), que son permanentes en el tiempo.

Cada expresión se asocia a su vez a un código mediante una relación biunívoca. En el caso de una numeración este código lo llamamos *código de APP* y para un topónimo o vía lo definimos como *código de la denominación*. Ambas entidades son completamente autónomas y se relacionan entre sí mediante las fechas de vigencia, en una relación de varios a varios, que permite registrar su doble componente variable.

Así, si se toma como referencia una dirección, hoy se refiere a un lugar, pero anteriormente se ha referido a otros emplazamientos diferentes. Recíprocamente, un emplazamiento hoy responde a una dirección, pero en el pasado ha podido tener otras direcciones.

Evidentemente, el diseño físico de la base de datos es más complejo en cuanto a número de tablas y relaciones entre ellas, pero simplificada-mente debe responder al esquema anterior.

9. LA DIMENSIÓN HISTÓRICA

A lo largo del tiempo la denominación de los lugares cambia, incluso una misma expresión hoy se refiere a un ámbito, pero en el pasado se pudo referir a otro emplazamiento.

En este sentido son especialmente significativos, por su frecuencia, los cambios en los nombres de los viales y, aún más frecuentes, las renumeraciones de los mismos. No hay más que comprobar lo frecuente que es ver en un portal la expresión “*número 100, anterior 80*”, u otras similares, que no reflejan sino la punta del iceberg de la evolución histórica de las direcciones.

Este aspecto, lejos de tener un interés meramente cultural o de investigación histórica, repercute de modo significativo en la gestión administrativa, en temas tan relevantes como la gestión de expedientes, la resolución de conflictos judiciales, la gestión del archivo, la comunicación con el ciudadano, etc.

Resulta obvio, por tanto, que todo callejero de referencia debe incluir información histórica. Sin embargo, éste no debe concebirse como un mero archivo que almacena nombres y direcciones históricas, sino como un servicio capaz de gestionar la evolución en el tiempo de estas direcciones y topónimos.

De esta forma, la *información histórica* se convierte, desde nuestro punto de vista, en la *dimensión histórica*, es decir, en una de las bases del concepto de callejero y de la estructura subyacente, como se indicó en el anterior apartado.

Así, se transforma la pregunta clásica de *¿Dónde está la calle tal número cual?*, en *¿Dónde está o estuvo la calle tal número cual en el año n?*; convirtiendo lo que antes era la pregunta genérica, en un simple caso concreto de una pregunta mucho más genérica.

Veámoslo con dos casos que ya se anticiparon en el apartado *¿Por qué el callejero como herramienta de georreferenciación?*

Geo center

VENTA

ESTACIONES - NIVELES OPTICOS
NIVELES LASER - ACCESORIOS

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



SERVICIO TECNICO

NUEVOS SERVICIOS

Calibraciones 24 horas
Calibración cita previa
Contratos de mantenimiento a medida

ALQUILER

GPS - ESTACIONES - NIVELES OPTICOS
NIVELES LASER

¡¡LLAMENOS!!

siempre tenemos
estaciones disponibles



Posibilidades de consulta	Datos de entrada	Respuesta del sistema		
		Vigencia desde hasta		
Considerando denominaciones históricas	PRÍNCIPE DE VERGARA	PRÍNCIPE DE VERGARA	25/01/1980	
		GENERAL MOLA	12/12/1940	25/01/1980
		PRÍNCIPE DE VERGARA	01/01/1914	25/01/1980
Considerando numeraciones históricas	CALLE DE LA SIERRA GADOR, 50	CALLE DE LA SIERRA GADOR, 50	27/01/1998	
		AVENIDA DE LA ALBUFERA, 480	01/01/1991	27/10/1998

Se comprueba, por tanto, que es fundamental asociar a las direcciones y topónimos el periodo en el cual están vigentes y conservar la secuencia de su evolución en el tiempo. Este doble problema se resuelve con una estructura como la que esquemáticamente se ha explicado en el apartado anterior:

10. LA TOPONIMIA

El callejero, por su propia naturaleza, debe incluir la información toponímica, de la cual el conjunto de viales y su numeración, aún con ser la clase más numerosa, no deja de ser un subconjunto de aquellos.

Ahora bien, el callejero, entendido como un servicio que posibilita la georreferenciación, no puede limitarse a recopilar la información toponímica y actuar únicamente como almacén de la misma, sino que debe ser capaz de gestionarla eficientemente.

El potencial de esta información se manifiesta al considerar las relaciones espaciales entre los distintos topónimos.

Veamos un ejemplo ilustrativo, aunque sea de forma muy simplificada: el ámbito de la Ciudad Universitaria de Madrid.

Aquí nos encontramos en primer lugar con el topónimo *Ciudad Universitaria* que determina todo el ámbito a considerar. Dentro de este ámbito existe una red viaria compuesta por avenidas, calles, plazas, etc., con sus correspondientes numeraciones, que constituyen las direcciones postales.

A su vez, existen edificios o conjuntos de edificios con nombre propio, por ejemplo *Facultad de Medicina*, que estamos acostumbrados a utilizar y que por tanto deben servir como instrumentos de georreferenciación. Por último, se menciona, aunque no se incluirá en el análisis por no hacerlo demasiado extenso, que estos conjuntos constructivos pueden estar constituidos por edificios simples que también tienen un nombre propio que se debería recoger como topónimo.

Una vez descritos los topónimos que intervienen, además de almacenarlos hay que preguntarse ¿Qué se necesita obtener de ellos? Enseguida surgen algunas cuestiones básicas:

- ¿Qué dirección tiene la *Facultad de Medicina*?
- ¿Tiene una única dirección dicha facultad o, por el contrario, tiene acceso desde distintas vías o desde más de un portal?
- ¿Qué viales hay dentro de la *Ciudad Universitaria*?
- ¿Un vial está dentro de la *Ciudad Universitaria*? ¿Lo está en su totalidad o sólo parcialmente?
- ¿Qué edificios singulares hay dentro de la *Ciudad Universitaria*?

Este tipo de relaciones cruzadas sólo pueden gestionarse eficientemente considerando relaciones de inclusión y pertenencia de niveles jerárquicos ilimitados.

El mantenimiento de estas relaciones puede simplificarse en gran medida mediante el uso de información geográfica, pero finalmente deben ser almacenadas también en modo alfanumérico, para poder dar respuesta a todo tipo de usuarios y demandas, ya que no se puede limitar el acceso sólo a usuarios dotados de sistemas gráficos.

11. LA CALIDAD DEL SISTEMA

Se entiende la calidad de un sistema según el concepto de calidad total que aporta el INSCAL⁷ “*Es la satisfacción de las expectativas del cliente externo e interno al menor coste posible*”. En este contexto, es fundamental establecer un sistema de calidad total para el sistema de georreferenciación, contrastado conforme a alguno de los instrumentos que existen al respecto (por ejemplo el modelo EFQM⁸ de excelencia).

De esta manera se garantiza la fiabilidad de la información y de los servicios, asegurando su trazabilidad dentro del propio sistema. Con este enfoque se aborda de forma global la calidad del sistema en su conjunto, siendo, por tanto, mucho más completo que los conceptos de control de calidad⁹ y aseguramiento de la calidad¹⁰ que se manejan con frecuencia.

El desarrollo de este apartado es materia suficiente para un artículo específico, excediendo el alcance que se pretende dar aquí. No obstante, sí queremos detenernos, aunque de forma muy superficial, en una serie de cuestiones que permitirán, conforme al conocido ciclo PDCA¹¹, tener una visión global y dinámica del sistema que facilite hacer una gestión de calidad total del mismo:

⁷ Dirección General de Inspección, Simplificación y Calidad de los Servicios. www.igsap.map.es

⁸ EFQM: European Foundation for Quality Management.

⁹ Control de calidad: Concepto enfocado a productos finales, que asegura la conformidad con unas determinadas normas, desarrollado en entornos industriales en los años 1940-50 y exportado a otros ámbitos posteriormente.

¹⁰ Aseguramiento de la calidad: Concepto orientado a los procesos de producción que garantiza la conformidad con unas determinadas especificaciones de uso, desarrollado en entornos industriales en los años 1950-70.

¹¹ Ciclo PDCA, o ciclo de Shewhart, corresponde a las siglas inglesas de: *Plan, Do, Check, Act*, que podemos traducir por: Planificar, Realizar, Controlar y Actuar en consecuencia.

Planificación.— Han de formularse preguntas tales como:

- ¿A quiénes va dirigida nuestra información y servicios, tanto a nivel interno como externo?
- ¿Qué demandan los clientes/usuarios/ciudadanos? ¿Todos tienen las mismas necesidades o hay varios niveles de demanda?
- ¿Cómo satisfacer sus necesidades? Es necesario identificar la información y los procesos necesarios para ofrecer los servicios que se demandan.

Ejecución.— Las preguntas son:

- ¿Quién, cómo, cuándo y dónde se realiza? Es decir, la construcción del sistema conforme a la demanda detectada.
- Especial importancia tiene aquí identificar las fuentes de información ¿Quién aporta qué al sistema?, y contrastarlas (completitud, actualidad, compromiso, garantía de mantenimiento, estabilidad en las condiciones de uso y difusión, etc.).
- Sin embargo, no se debe limitar la calidad a la información, sino que se debe extender al sistema en su totalidad.
- Se debe identificar todos los procesos y ser capaces de establecer la trazabilidad de la información a través de todo el sistema y las posibles transformaciones de la misma, desde su introducción hasta que ésta es servida en forma de datos o servicios.
- Se debe también identificar los servicios que se ofrecen y ser capaces de definir niveles de servicio de los mismos, que se materializan mediante *cartas de servicios*¹², que constituyen un compromiso y al mismo tiempo una garantía de los mismos, estableciendo formas, plazos, responsables, calidad de los datos, disponibilidad, accesibilidad, etc.
- No menos importante debe ser el establecimiento de la infraestructura tecnológica en la que se apoye el sistema (hardware, software, aplicaciones, comunicaciones, etc.), el plan de evolución del mismo, de forma que se garantice la inversión, la política de seguridad de todo el sistema, etc.

Evaluación, control.— Las preguntas son:

- Es imprescindible evaluar o medir el sistema, para conocer si finalmente responde a las expectativas del cliente, y todo ello al menor coste posible, cumpliendo así el principio de calidad.
- Se debe saber qué hay que evaluar, quién lo hará, cuándo, dónde y cómo.
- El nivel de satisfacción del cliente, ya sea este interno o externo a la organización, puede cuantificarse como la adecuación a sus necesidades, también mediante el nivel de utilización, mediante la relación entre el uso real y el potencial, etc.

¹² Las **Cartas de Servicios** son documentos escritos que constituyen un instrumento a través del cual los órganos de la Administración General del Estado, sus Organismos Autónomos y las Entidades Gestoras y Servicios Comunes de la Seguridad Social informan a los ciudadanos sobre los servicios que tienen encomendados y acerca de los compromisos de calidad en su prestación, así como de los derechos de los ciudadanos y usuarios en relación con estos servicios. (Real Decreto 1259/1999 de 16 de julio).

Actuación.— Hay que preguntarse:

- ¿Se realizaron todas las actividades previstas?
- ¿Dónde, cuándo y en qué medida no se ha conseguido satisfacer al cliente?
- A partir de estas preguntas y del análisis de todo el sistema, se deben definir y llevar a cabo las necesarias acciones correctoras y de mejora.
- Finalmente, todo el sistema se configura como sucesivos ciclos de mejora continua que permitirán la aproximación cada vez mayor a las expectativas que el cliente (ciudadano y usuario de la propia organización) tiene del servicio de georreferenciación, mejorando progresivamente la calidad del mismo.

12. CONCLUSIONES

La georreferenciación mediante un servicio de callejero normalizado es el método adecuado para la transición de los actuales sistemas de gestión de las Administraciones Públicas hacia sistemas georreferenciados, acordes con la actual demanda de servicios de los ciudadanos y con la generalización del uso de la información geográfica en la sociedad.

Su implantación redundará en una optimización de la información gestionada, evitando redundancias e inconsistencias de datos. Facilita la transparencia y accesibilidad de la información. Minimiza los recursos para mantenimiento de los datos. Por todo ello, supone un ahorro y, en el caso de las Administraciones Públicas, una mejora en la gestión de recursos públicos y finalmente una mejora en el servicio al ciudadano.

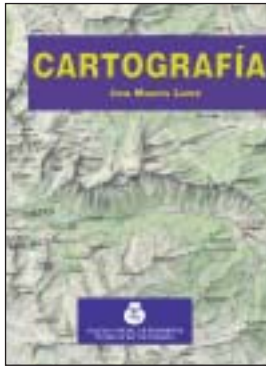
Por tanto, las Administraciones Públicas deberán abordar ineludiblemente la transición hacia dichos sistemas de gestión georreferenciados.

En esta transición la calidad de la información y de los servicios de cartografía y callejero que se puedan ofrecer será un elemento clave para el éxito de la misma.

REFERENCIAS

1. Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad (INSPIRE), Bruselas, 23.7.2004 2004/175 (COD).
2. Ministerio de la Presidencia (BOE 087 de 11/04/1997). Resolución de 9 de abril de 1997, de la Subsecretaría, por la que se dispone la publicación de la resolución de 1 de abril, de la Presidenta del Instituto Nacional de Estadística y del Director General de Cooperación Territorial, por la que se dictan instrucciones técnicas a los Ayuntamientos sobre la gestión y revisión del padrón municipal. Páginas: 11449 – 11473.
3. Aparisi Laporta, Luis Miguel, 2001, *Toponimia Madrileña: Proceso evolutivo*. Madrid: Gerencia Municipal de Urbanismo.
4. Ayuntamiento de Madrid. Consulta del callejero municipal. www.munimadrid.es/urbanismo/callejero/consulta_avanzada.
5. Dirección General de Inspección, Simplificación y Calidad de los Servicios. www.igsap.map.es
6. Ministerio de Administraciones Públicas (2000): *Guía para la implantación de Cartas de Servicios*. Madrid, MAP.
7. Sección de Calidad en las Administraciones Públicas (AEC) (200): *Guía para la Gestión de la Calidad de los Servicios Públicos (Adaptación de la Norma UNE-EN-ISO 9004-2)*. Madrid, AEC/MAP/Gobierno de Canarias. ■

Libros Técnicos



Título: Cartografía
Autor: José Martín López

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



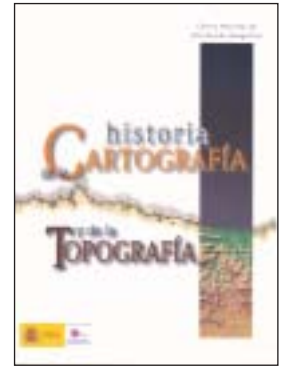
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

21,03 € Ref.: 038



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

27,10 € Ref.: 021



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

41,60 € Ref. 039



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

43,34 € Ref. 5006



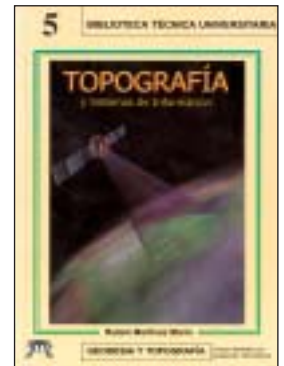
Título: Fotogrametría analítica
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

11,54 € Ref.: 804



Título: Redes Topométricas
Autor: Juan Pedro Carpio Hernández

22,83 € Ref. 6008



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

18,10 € Ref.: 6006



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

10,20 € Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

11,75 € Ref.: 5003



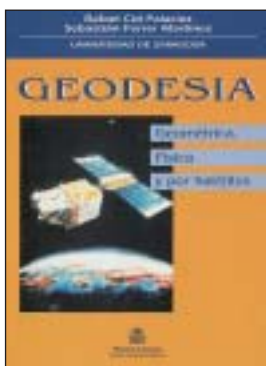
Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

8,70 € Ref.: 5002



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

18,54 € Ref.: 5004



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

24,10 € Ref.: 030



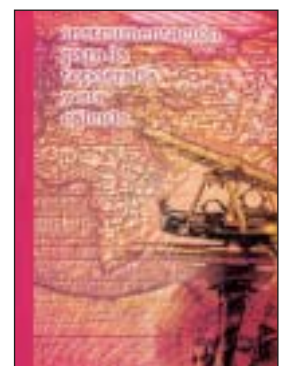
Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

32 € Ref. 205



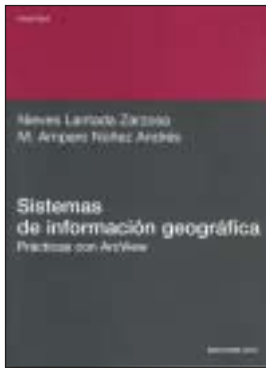
Título: Transformaciones de coordenadas
Autores: J. A. Pérez y J. A. Ballell

18 € Ref.: 6007



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

26,75 € (+CD por 33,70 €)
Ref. 7001



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



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



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



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



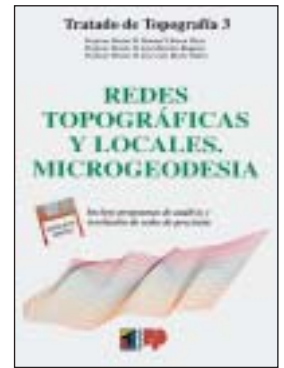
Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
15,70 € Ref. 6003



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

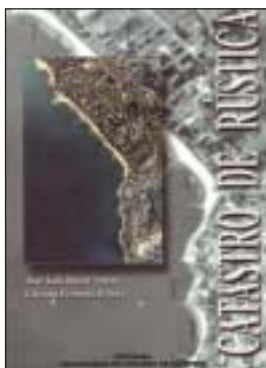


Título: **Tratado de Topografía 2**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
51,10 € (42,10 € coleg.) Ref. 2002

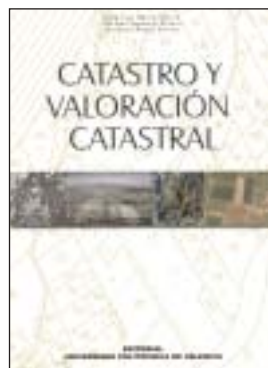


Título: **Tratado de Topografía 3**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
36,10 € (30,10 € coleg.) Ref. 2003

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



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



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



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



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

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

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total

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

Nombre

Dirección Tel.

Ciudad Provincia C.P.

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

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

Novidades Técnicas

AUTODESK CIVIL 3D 2007 UTILIZA LA TECNOLOGÍA GOOGLE EARTH PARA SU SISTEMA DE PREVISUALIZACIÓN

Autodesk, Inc. ha presentado la extensión de Autodesk Civil 3D 2007 para la previsualización con tecnología Google Earth. Esta nueva funcionalidad está específicamente diseñada para Agencias gubernamentales, firmas profesionales de ingeniería, empresas de servicios públicos y desarrolladores comerciales que necesiten mantener siempre informadas a todas las partes involucradas en un proyecto, desde la fase de planificación hasta la aprobación pública, acerca de los datos más recientes y concretos sobre el estado del diseño.

Con una interfaz guiada por un asistente, los ingenieros y los aparejadores pueden publicar rápidamente objetos en Autodesk Civil 3D 2007 y datos de diseño en Google Earth, lo que permite a todas las partes involucradas crear, gestionar y compartir sus proyectos de diseño con numerosos equipos y mejorar los materiales que publican en un contexto rico e interactivo.

"Al explotar las posibilidades de visualización geoespacial en Google Earth, la herramienta de Autodesk supone un paso adelante muy significativo a la hora de compartir datos complejos de diseño, tanto con audiencias profesionales como técnicas que estén interesadas en seguir de cerca la planificación, construcción y gestión de importantes proyectos de infraestructura", afirma Gary Lang, vicepresidente de la División de Soluciones de Infraestructura de Autodesk.

La extensión Autodesk Civil 3D 2007 para la previsualización con tecnología Google Earth ofrece a los profesionales de forma rápida y sencilla, la posibilidad de:

- **Publicar en Google Earth:** Mediante la interfaz guiada por asistente, los ingenieros y los aparejadores tienen un control completo sobre los

datos que quieren publicar (tales como puntos, parcelas, alineamientos, modelos de corredor, superficies e infraestructuras hidráulicas) y cómo quieren que aparezcan mostrados.

- **Compartir datos con equipos muy numerosos:** Esta utilidad crea un archivo KML que puede ser abierto directamente en Google Earth, permitiendo a los colegiados ver y navegar en el proyecto del diseño dentro de la aplicación web.
- **Diseños más ricos:** Dentro de Google Earth, los miembros del equipo pueden añadir capas de datos, incluyendo edificios, sistemas de transporte, etc., para mejorar el asunto central con información adicional sobre el contexto que le rodea.
- **Navegar por un lugar:** Para proporcionar vistas de proyecto desde diferentes posiciones, los diseñadores pueden incluir capacidades de visualización tan ricas como paseos reales por el camino y tomas instantáneas de las localizaciones.
- **Entrega de presentaciones sin igual:** El realismo de los modelos Civil 3D puede ser mejorado al asociarles puntos de diseño con contenidos 3D similares a los de la vida real, como farolas, casas y coches a lo largo de una calle.

La extensión de Autodesk Civil 3D 2007 para la previsualización con tecnología Google Earth está ya disponible gratuitamente. Para ejecutar este programa, los usuarios deben tener instalado tanto el software Autodesk Civil 3D 2007 como Google Earth (la extensión de Autodesk es compatible tanto con la versión gratuita de Google Earth como con Google Earth Plus y Google Earth Pro). Para descargar esta utilidad, visite: www.autodesk.com/google

SOKKIA NET1200 + 3 DIM: UNA COMBINACION SIN PRECEDENTES PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

SOKKIA amplía su gama Industrial con el nuevo sistema de medición industrial Monmos de la nueva estación 3-D NET1200 y 3 DIM Observer; controlador/software PC.

Monmos 3-D abre una nueva dimensión de precisión, gama y velocidad para estructuras grande-escaladas y medidas tridimensionales. El NET1200 puede generar datos de alta precisión durante la realización de proyectos industriales intensivos; con su 0,1 mm de resolución, es una fuente vital para las medidas industriales. El NET1200 tiene control semiautomático y su uso junto con 3-DIM Observer; permite un excelente ahorro de tiempo en el trabajo.

El control del instrumento, la evaluación y documentación de resultados se realiza usando el software 3-Dim Observer; controlador desarrollado por GLM (socio industrial de Sokkia), instalado en un colector de datos externo.

Cuando se aplica a medidas de productos en serie, la evaluación es automática, generando un proceso muy rápido de garantía de calidad.

Esta combinación realiza medidas 3D muy precisas y útiles para medidas de deformación de desprendimientos de tierras, túneles, barcos, turbi-



nas, presas, edificios y superficies; perfiles de túneles, supervisión de construcción, forma y medida dimensional de cúpulas, instalación de grandes piezas en fábricas, etc.

Para obtener más información visitar www.sokkiaditac.es o contactar con info@sokkiaditac.es



Vida Profesional

XIII JORNADA TÉCNICA SAN ISIDORO EN GALICIA

El pasado 6 de mayo se celebró, como ya es tradicional, la XIII Jornada Técnica San Isidoro, organizada por la Delegación Territorial en Galicia del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

En esta ocasión el marco elegido fue el Hotel Gastronómico Bonabal de Santiago de Compostela.

Las Conferencias Técnicas corrieron a cargo de tres Ingenieros Técnicos en Topografía. En primer lugar, D. Javier Guerreiro Prieto, de la empresa Lógica, disertó acerca de *"Topografía de Alta Definición, Aplicaciones y Resultados"*. A continuación, D. Felipe Carrascosa Hernández, de G.O.C., expuso el tema *"Control Geométrico de Viaductos en el Morrazo"*. La tercera y última conferencia, que versó sobre el Catastro, corrió a cargo de D. Pedro Alcázar Tejedor, de la Dirección General del Catastro. Una vez concluidas las conferencias, se produjeron debates de cierto interés entre los asistentes.

Finalizada la parte técnica, tuvo lugar una amena cata-maridaje de



Comida de fraternidad de la XIII Jornada Técnica San Isidoro

vinos-quesos, en la terraza del Hotel, que permitió "diluir" las últimas discusiones técnicas, para luego disfrutar, en grata camaradería, de una comida de fraternidad, al final de la cual se hizo entrega de un obsequio a los conferenciantes e insignias de bienvenida a los colegiados ingresados en el último año.

CELEBRACIÓN DE SAN ISIDORO EN MÁLAGA

El pasado 19 de mayo tuvo lugar la celebración de San Isidoro en la Delegación Provincial en Málaga del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

El acto tuvo lugar en el Mesón Agustín de la ciudad de Málaga, donde, tras disfrutar los asistentes de un selecto menú, se procedió a la entre-

ga de una placa conmemorativa al colegiado recién jubilado D. Inocencio Serrano García, por la labor realizada a lo largo de su trayectoria profesional. Asimismo, también se hizo entrega de un obsequio al colegiado D. Fernando Muñoz Martín, como distinción al colegiado con mayor número de visados durante el año 2005 en la Delegación Provincial en Málaga del COITT.



D. José Carlos Rivas Lafuente, Delegado Provincial del COITT en Málaga, haciendo entrega de la placa a D. Inocencio Serrano García



D. Fernando Muñoz Martín recibiendo un obsequio de manos del Delegado Provincial en Málaga del COITT

Tú eres la Mutua.
Tú eres el N°1



En Mutua Madrileña, todos somos el N°1.

Esa es la diferencia entre ser MUTUALISTA o ser asegurado. La diferencia que nos motiva a seguir superándonos para ofrecer a nuestros mutualistas la más amplia gama de productos y toda la experiencia de la aseguradora más sólida y rentable. Si puedes elegir, elige la Mutua. Elige ser el N°1

“ MUTUAMADRILEÑA”

9 0 2 5 5 5 5 5 5

www.mutua-mad.es

II TALLER TÉCNICO SOBRE LA TOPOGRAFÍA Y LA CARTOGRAFÍA EN ANDALUCÍA

El 12 de mayo pasado tuvo lugar en Sevilla el II Taller Técnico sobre la Topografía y la Cartografía de Andalucía. El taller, organizado por el Instituto de Cartografía de Andalucía (Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía) y la Delegación Territorial en Andalucía del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, se celebró en el antiguo Convento de Santa María de los Reyes, edificio histórico de gran belleza, restaurado por la Junta de Andalucía.

El acto comenzó a las 9 de la mañana con la apertura del taller a cargo de D. Rafael Martín de Agar, Director del Instituto de Cartografía de Andalucía, quien dio la bienvenida a los asistentes y confirmó la celebración de este acto en años sucesivos. Seguidamente, comenzó el ciclo de conferencias, que, salvo una pausa para el desayuno y otra para la comida, que se sirvieron en el hermoso patio del Convento, se prolongó hasta las 19 horas, de acuerdo con el siguiente programa:

- “*Cartografía Histórica*”, D. Joaquín Cortés José, Técnico de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía
- “*La Base de Datos de Toponimia del MTA*”, Dña. M^a Teresa Garrido Borrego, Técnico del Instituto de Cartografía de Andalucía
- “*Puntos de Información Catastral PIC*”, D. Miguel Ángel Castilla Blázquez, Jefe de Servicio de la Dirección General de Catastro de Granada y Delegado Provincial del COITT en Granada
- “*Estado actual y perspectivas de la nueva titulación en Ingeniería en*



De izquierda a derecha, D. Antonio García Hernando, I.T. en Topografía del ICA, D. Rafael Martín de Agar, Director del ICA, y D. Antonio Nuevo Bono, Delegado Territorial en Andalucía del COITT

Geomática y Topografía”, D. Pedro Cavero Abad, Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía

- “*La nueva Red de Nivelación de Alta Precisión del IGN*”, D. Fernando de la Cruz Argibay, Servicio de Geodesia del IGN y Secretario General del COITT
- “*Datum, Sistemas Geodésicos y Transformación de Coordenadas*”, D. José Lázaro Amaro Mellado, I.T. en Topografía del IGN y Secretario de la Delegación Territorial en Andalucía del COITT
- “*Cámaras Fotogramétricas Digitales y LIDAR*”, D. Mateo J. Pastrana Martínez, STEREOCARTO S.L.
- “*La red Andaluza de Posicionamiento (RAP), estado actual*”, Dña. Cristina Torrecilla Lozano, Departamento de Ingeniería Gráfica de la E.S. de Ingeniería de Sevilla
- “*Cartografía Territorial y Urbana ICA*”, D. Víctor Corral Pinel y D. Antonio García Hernando, I.T. en Topografía del ICA.

A continuación tuvo lugar un muy animado coloquio entre conferenciantes y asistentes, que se prolongó más allá del horario en principio programado, demostración clara del gran interés de los temas tratados en el ciclo de conferencias.

Felicitemos a los organizadores de este acto por su buen hacer y la excelente selección de las conferencias que, sin dejar de tener un gran contenido técnico y científico, abordaron de forma amena y clara temas de gran interés para la comunidad topográfica.





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

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

Indice Comercial de Firmas



Alquiler y venta de instrumentos topográficos

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




SERVICIO TÉCNICO OFICIAL

BATIMETRÍAS

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

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

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



BERDALA
INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS
Y GEODÉSICOS
SERVICIO TÉCNICO

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



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

EDEF
Estudio de Fotogrametría

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

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

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



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

<http://www.geocenter.es>

DISTRIBUIDOR OFICIAL
VENTA Y ALQUILER




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



Grafinta
SOCIEDAD ANÓNIMA
Distribuidor en España

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

ACRE

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

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




S&C
Geosystems

Distribuidor 

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

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

Sistemas G.P.S. 

Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

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

Ningún equipo
está completo, sin un
buen

GUIA

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



CENTRO NACIONAL
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



Y además...

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

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