



Nuestra portada:

*Boca de entrada del Túnel de
Guadarrama para el Tren de Alta
Velocidad*

Vol. XXIII - N.º 133

Marzo-Abril

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

La Topografía en los Túneles de Guadarrama para el Tren de Alta Velocidad Pedro Arranz Chacón	3
Posicionamiento y Vertidos con Gánguil en la ampliación del Puerto de Barcelona, Dique Este Alfonso Alcaraz, José Antonio Anta y Carles Confría	16
Levantamientos arqueológicos efectuados en Grecia empleando un helicóptero controlado por radio D. Skarlatos, D.Theodoridou y D. Glabenas	20
Programa TRES para la enseñanza de Trigonometría Esférica Mª Carmen Morillo y José Fábrega	28
Utilización de un Sistema de Barrido por Láser en estructuras tecno-hidráulicas Alojz Kopacik y Thomas Wunderlich	33
El Efecto de Soporte de Información en Imágenes Digitales Fotogramétricas Jorge Delgado García, F.Javier Cardenal Escarcena y Alfonso Gómez Molina	37
Las Claves Geodésicas de la Gran Pirámide reveladas por Charles Piazzi Smyth (1819-1900) Mario Ruiz Morales	50
Novedades Técnicas	66
Bibliografía	72
Vida Profesional	74
Índice Comercial	79

TCP-MDT

Nueva Versión

5

Levantamientos

Proyectos

Replanteos

Carreteras

Urbanizaciones

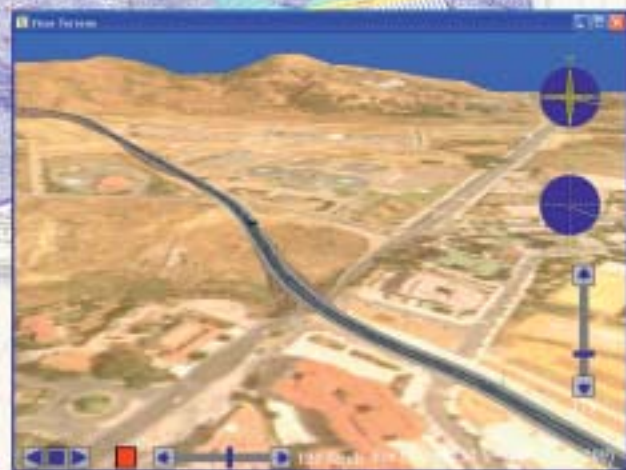
Canteras

Topografía

Construcción

Urbanismo

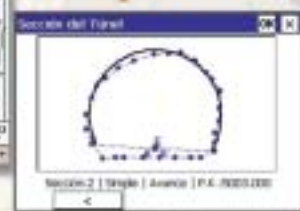
Ingeniería



Aplicaciones para Dispositivos Móviles



Gestión de Dibujos con potente CAD



Replanteo y Toma de Datos con GPS y Estación Total

Control de Obras de Túneles

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

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

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.

I. INTRODUCCIÓN

Los túneles de Guadarrama constituyen el problema fundamental del enlace ferroviario de alta velocidad con el Norte y Noroeste de España. Los 28,4 km de longitud de los túneles, diseñados para velocidades superiores a los 300 km/h, los convierten en una de las obras más importantes de ingeniería en el mundo.

El doble túnel está diseñado con galerías de conexión separadas cada 250 metros y, para hacer realidad el proyecto en el plazo más corto posible, la excavación se empezará simultáneamente desde las dos bocas mediante cuatro máquinas tuneladoras (TBM) de doble escudo.

Por todo ello, la topografía y geodesia tienen una gran trascendencia para el éxito de la perforación de los túneles. El hecho de que los túneles proyectados no cuenten con galerías exteriores intermedias a lo largo de los 28,4 km de trazado y que la velocidad de diseño sea de 350 km/h, con las exigencias geométricas que esto conlleva, hacen de la topografía un factor determinante para que el proceso de construcción se encuentre dentro de las magnitudes esperables y tolerancias aceptables.

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Como punto de partida para la ejecución, desde el punto de vista topográfico, de los túneles de Guadarrama, se cuenta con cartografía 1/5.000 y 1/1.000 incluidas en el Proyecto Constructivo.

La cartografía 1/5.000 sirvió como soporte para el encaje, tanto en planta como en alzado, de la trayectoria de los túneles, al basarse en una red de vértices perteneciente a todo el desarrollo del túnel. Como consecuencia de ello, se debe tomar ésta como el único elemento geométrico de unión entre las dos bocas.

Esta cartografía fue realizada por restitución fotogramétrica, apoyada por una triangulación, observada con GPS en tiempo real a partir de los vértices geodésicos de la zona, de la red ED50 (ROI, Red de Orden Inferior) y alguno de primer orden.

La precisión con que cuenta esta red es suficiente para la creación de una cartografía a escala 1:5.000, ya que si se multiplica el límite de apreciación visual de 0,2 mm por el denominador de la escala 5.000, se observa que la precisión requerida para el trabajo es de +1 m. Esto quiere decir que un objeto menor de 1 m no tiene representación a esa escala.

Por lo tanto, se puede decir que el trabajo realizado es correcto en lo que a la cartografía se refiere. No se puede decir lo mismo de esta precisión, cuando se debe considerar las coordenadas de las bases de replanteo para la ejecución de una poligonal de 15 km para el túnel, ya que si se toman dos bases del proyecto para orientar la poligonal interior de los túneles, se tendría un cierre mayor que la tolerancia para el trabajo a realizar.



Para conocer en profundidad los errores de la triangulación, se contactó con la empresa responsable de la cartografía, la cual facilitó todas las observaciones de GPS de los vértices de la triangulación de apoyo del vuelo. A la vista de estas observaciones, se hizo una transformación con todos los vértices que habían intervenido, dando como resultado un residuo máximo de esta triangulación que estaría alrededor de los 70 cm. Eliminando del cálculo los vértices que ofrecían mayores residuos, se llegó a un resultado más favorable de unos 30 cm. En ambos casos el error máximo está dentro de la tolerancia de la cartografía, pero igualmente, en ningún caso podrían valer para calar un túnel de 28 km.

Otra comprobación que se realizó fue a través de las coordenadas WGS84 (GPS) del único vértice de la red REGENTE. Tomando como origen estas coordenadas y con las observaciones facilitadas, se calcularon las coordenadas GPS absolutas de todos los vértices. Se observó que la discrepancia en latitud y longitud con las coordenadas del trabajo oscilan en un rango de 22 cm y de 43 cm respectivamente.

Por todo ello, se considera imprescindible la realización de una campaña de observación con GPS que cierre las dos bocas del túnel con la suficiente precisión como para garantizar el éxito de los trabajos.

No obstante, para el comienzo de los trabajos preliminares de movimiento de tierras y de instalaciones, que no requieren de tan alta precisión, se trabajó con la transformación calculada para GPS más favorable, comentada anteriormente.

Respecto a la cartografía 1:1.000 presentada en el Proyecto Constructivo, que ha servido para el proyecto más prolijo de las boquillas, co-

mentar que es una cartografía hecha en dos partes, es decir, no enlaza en ningún caso la boca norte con la sur.

Con los parámetros utilizados para el replanteo de los trabajos preliminares, que no requieren de tan alta precisión, se comprobó la otra cartografía a escala 1:1.000 realizada.

El resultado de la comprobación fue lo suficientemente satisfactorio como para poder dar por bueno lo proyectado en esta cartografía, habida cuenta de que no se replantearía nada que tuviera que ver con el futuro cierre en planimetría del túnel.

Un caso similar ocurre con la altimetría de proyecto, ya que es suficiente para la cartografía utilizada, pero de todo punto inaceptable para calar un túnel de 28,5 km.

Como consecuencia de todas estas comprobaciones, se llegó a las siguientes resoluciones:

- Encargar un cierre en planimetría con la suficiente precisión que garantice la conexión entre las dos bocas y, por lo tanto, el éxito del proyecto.
- Encargar un cierre en altimetría, a través de una nivelación de alta precisión, que garantice lo mismo, ya que tan importante es calar bien en el plano **X, Y** como en vertical.
- Dar por buenas las cartografías y datos de proyecto, siempre y cuando no se utilicen para replantear cosas que ligen una boca con la otra, como, por ejemplo, pueden ser las vías o el inicio de los túneles, aunque sea por métodos tradicionales.

En el caso particular de la Boca Norte, se ha utilizado para los trabajos de trinchera y plataformas un conjunto de transformación basado en las observaciones facilitadas en proyecto en cuanto a planimetría, y en cuanto a la altimetría, con cota aproximada a la nivelación de alta precisión de la zona, facilitada por la UTE Segovia (tramo de TAV siguiente al Túnel de Guadarrama) y comprobadas por otros datos facilitados por la topografía de la autopista San Rafael – Segovia.

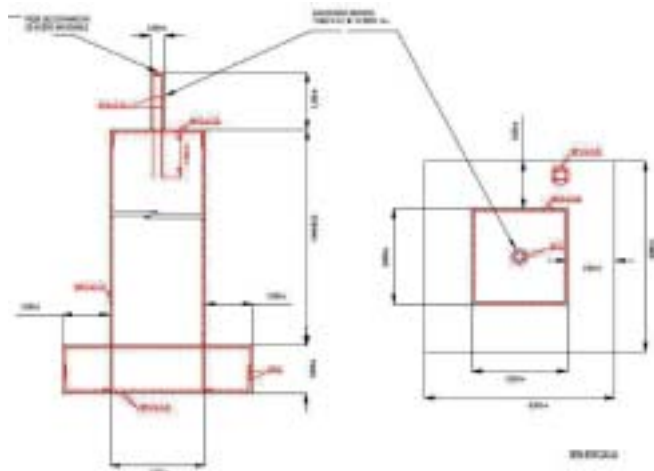
En la Boca Sur se adoptó como sistema de coordenadas, tanto en planta como en alzado, el de la cartografía a escala 1:1.000, comprobándose más tarde con la nivelación de alta precisión que las cotas tenían un error de unos 9 cm, suficientes para el tipo de trabajos que se realizaron con estas coordenadas.

3. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA RED PLANIMÉTRICA EXTERIOR

Vista la necesidad del cierre de precisión en planimetría, hay que considerar los siguientes factores para la red de puntos necesarios para la topografía de alta precisión que necesita la obra a ejecutar:

- **Homogeneidad:** Es decir, se necesita que la red sea homogénea y que, por lo tanto, no tenga holguras internas. El sistema de referencia europeo (ETRS), conforme con el sistema internacional (ITRS), está materializado en su marco ETRF89 y es en el que se proporcionan las coordenadas de la red REGENTE del IGN, de precisión centimétrica. La inclusión en el proyecto de unos cuatro puntos de dicha red, distribuidos en ambas vertientes de la Sierra, proporcionan precisión de coordenadas, verificación de escala y orientación de la red que constituirá el sistema local. Es el sistema de observación y cálculo.
- **Localidad:** Se necesita que la nueva red se ajuste lo más posible a la transformación realizada para restituir la cartografía a escala 1:5.000 que ha servido para proyectar el trazado de los túneles. Por lo tanto, es imprescindible incluir en la observación vértices de la ROI para el cálculo de las coordenadas locales.
- **Practicidad:** La red ha de servir para el replanteo del interior de los túneles, por lo tanto se ha de incluir una colección de vértices en las dos bocas, desde los cuales se pueda calibrar el teodolito giroscópico y replantear los sistemas de guiado de las máquinas tuneladoras. En definitiva, serán las futuras bases de replanteo a las que hemos de dar coordenadas en el sistema.
- **Relación con la altimetría:** Se debe acercar las cotas de nivelación de alta precisión a la red básica para no distorsionar en modo alguno el cálculo por culpa de cotas no reales. Es decir, se debe incluir en los vértices observados cotas dadas a través de una nivelación de alta precisión (NAP) sobre el geoido.

Una vez trazadas las necesidades de la red, se debe considerar su planificación. Para ello se cuenta con la colaboración de los responsables del área de Geodesia del IGN y profesores asociados de la Escuela de Ingenieros en Geodesia y Cartografía de la Universidad de Alcalá de He-



nares, Don Adolfo Dalda y Don Francisco Javier González Matesanz. Por otro lado, también se mantienen contactos con los responsables de la topografía del Túnel de San Gotardo en Suiza, para contrastar opiniones y métodos a aplicar en los trabajos de geodesia de ambos túneles, que mantienen niveles de exigencia similares en temas de precisión.

Como ya se ha comentado, desde un punto de vista práctico, lo primero que había que hacer era la implantación de los hitos topográficos de obra. Estas señales son las que se van a utilizar como punto de partida de las poligonales y redes que se medirán y calcularán más tarde. Estos hitos han de ser estables y perdurables durante toda la obra, por ello han de ser grandes y de cómodo acceso, ya que serán utilizados frecuentemente y habrá que subir a ellos equipos topográficos pesados e incómodos de manejar, como, por ejemplo, el teodolito giroscópico. También es fundamental que estén ubicados en terrenos consolidados, para garantizar que no se moverán a lo largo del tiempo por problemas de asentamiento del terreno.

Hay dos factores fundamentales a la hora de elegir la ubicación de los hitos: la distancia entre los mismos y su disposición entre sí y con respecto a las boquillas de los túneles y al resto de las instalaciones de obra.

La distancia entre los hitos viene determinada por la precisión del aparato que se va a utilizar. En este caso los hitos van a servir para calibrar un teodolito giroscópico que tiene una precisión en su medida de 10 segundos centesimales. Como el error absoluto de un punto medido con GPS es alrededor de 1 cm, la distancia mínima a la que se deben colocar los hitos es de $0,01 / \text{seno}(0,001) = 636 \text{ m}$. No se deben colocar los hitos a menos de esta distancia, así la precisión de la puntería siempre será superior a la precisión del aparato.

La geometría de los hitos alrededor del central o polo ha de ser lo más parecida a un triángulo equilátero, intentando que haya visuales entre todos ellos, ya que una vez observada la figura con GPS también se realizarán observaciones por topografía clásica de alta precisión para compensar la figura e integrarla en la red de cálculo.

Es muy importante tener en cuenta la situación de las futuras instalaciones de la obra, de esta forma se evitarán sorpresas desagradables cuando, por la construcción más adelante de las mismas, se pierda la intervisibilidad directa entre algunos hitos.

Una vez ubicados los hitos de las dos bocas, se pasó a la observación propiamente dicha.

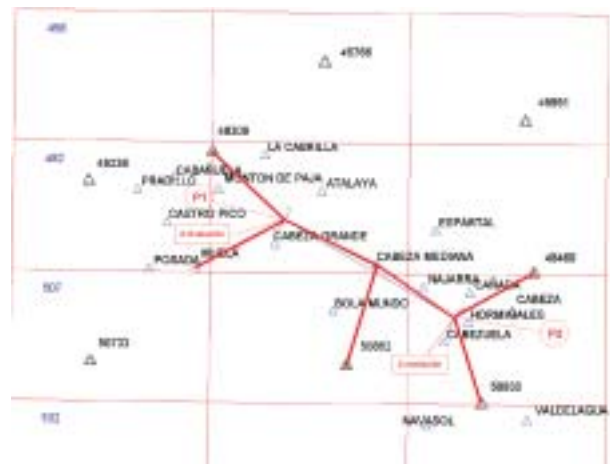
Como se había considerado en la propuesta-anteproyecto, el objetivo último es unir con la máxima precisión 4 vértices construidos al efecto en cada una de las bocas, los cuales van a garantizar el éxito en el seguimiento y control durante el proceso de perforación de los túneles.

Se decide hacer la observación en tres días con un total de doce receptores GPS Leica SR530 trabajando a la vez:

- *Primer día:* Unión de un “punto principal” de cada boca con los vértices ROI que servirán para enlazar los sistemas de referencia ED50, usado para proyectar, y ETRS89, usado en observación, cálculo y compensación.



- *Segundo día:* Unión de un “punto principal” de cada boca con dos vértices ROI y dos puntos de nivelación de precisión próximos a cada boca y dos vértices ROI en la zona intermedia, que sirven para “partir” la longitud de los vectores y unir mejor ambos lados.



- *Tercer día:* Unión de los cuatro puntos de control de cada boca con uno de los de nivelación en cada lado y los dos vértices ROI en la zona intermedia, que sirven para “partir” la longitud de los vectores y unir mejor los de control de las dos partes.



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.

De acuerdo a una distribución geográfica, se seleccionó una serie de vértices ROI y REGENTE, así como una serie de NAPS (puntos de nivelación de alta precisión, dos en cada boca), con el objetivo de que la figura geométrica que se formara con las observaciones fuera lo más compensada posible.

Los puntos seleccionados son los siguientes:

Punto	Nombre	Tipo
48356	ATALAYA	Vértice ROI
48332	CABEZA GRANDE	Vértice ROI
48380	CABEZA MEDIANA	Vértice ROI
50914	CABEZUELA	Vértice ROI
50938	CAÑADA	Vértice ROI
50926	HORMIGALES	Vértice ROI
48290	MUELA	Vértice ROI
50862	COBERTEROS	Vértice REGENTE
48309	RIVILLA	Vértice REGENTE
50930	LA OLLERA	Vértice REGENTE
48460	MONTE	Vértice REGENTE
22220	Hito norte 0	Vértice de obra
22221	Hito norte 1	Vértice de obra
22222	Hito norte 2	Vértice de obra
22223	Hito norte 3	Vértice de obra
11111	Hito sur 1	Vértice de obra
11112	Hito sur 2	Vértice de obra
11113	Hito sur 3	Vértice de obra
11114	Hito sur 4	Vértice de obra
22005	NAP aux norte 05	Clavo auxiliar de nivelación
22010	NAP aux norte 10	Clavo auxiliar de nivelación
11009	NAP aux sur 09	Clavo auxiliar de nivelación
11018	NAP aux sur 18	Clavo auxiliar de nivelación

Sabiendo de antemano que el acceso a los vértices geodésicos podía ser problemático, se realizó una visita previa a cada uno de ellos, para asegurar el acceso a los mismos en el día y la hora señalados.

Se calculó el tiempo necesario para alcanzar cada uno de los puntos, se definió el vehículo a utilizar más apropiado y se aseguró que las puertas de las vallas permaneciesen abiertas durante los días designados para hacer la observación.

Los únicos vértices que presentaron problemas de acceso fueron *Atalaya* y *Cabeza Mediana*. En el caso de *Atalaya*, fue necesario hablar con los dueños de la finca para que no cerrasen los tres candados existentes. Para *Cabeza Mediana* hubo que realizar los trámites con el representante de la empresa dueña de los terrenos donde está situado el vértice (Sociedad Anónima Belga de los Pinares del Paular), así como con la oficina comarcal de Oteruelo (Consejería de Medio Ambiente) por ser un Parque Natural. El resto de los vértices no tuvieron problemas.

En el caso de los puntos de nivelación de alta precisión, se visitaron todos los de la zona, descartando aquellos que, sobre todo debido a la vegetación, no tuvieran el horizonte despejado.

El método de observación ha sido el habitual para redes de alta precisión, consistente en 4/2/4 horas, de tal forma que se divide cada sesión diaria en dos de cuatro horas, mañana y tarde, separadas 6 horas, para tomar la constelación opuesta en la segunda de ellas. Otros condicionantes fueron:

- 10 grados de máscara de elevación
- 15 segundos de cadencia de registro
- Todos los observables en ambas frecuencias (C1, L1, P2, L2) con recuperación de fase sin código en la segunda portadora mediante técnicas que minimicen la pérdida de relación señal ruido en ésta.

Para asegurar la buena marcha de las observaciones, se estructuró un protocolo de observación cuya estructura se incluye a continuación.

PROTOCOLO DE OBSERVACIÓN

HORARIO

29/06/2002	8:30 - 12:30	15:00 - 19:00
30/06/2002	8:30 - 12:30	15:00 - 19:00
01/07/2002	8:30 - 12:30	15:00 - 19:00

ACTUACIÓN

- 1º Asegurarse de llevar todo el material necesario, y en condiciones de funcionamiento, avisando de cualquier anomalía detectada al coordinador de la zona.
Baterías cargadas tanto las del receptor como las del tf. móvil.
- 2º Llamar al coordinador de la zona para confirmar la salida desde nuestro el domicilio.
- 3º Llamar al coord. de la zona en caso de producirse cualquier incidencia durante el trayecto que pueda alterar el horario previsto.
- 4º En el momento de estacionar el GPS, se pondrá especial cuidado en orientar las antenas con el conector del cable de antena (TNC) orientado al sur
- 5º Llamar al coordinador de la zona para confirmar la llegada, la puesta y correcto encendido del GPS.
- 6º Realizar y anotar las medidas oportunas: altura de la antena, acotaciones del vértice, croquis...
- 7º Cada 15 min. comprobaremos que:
El sensor está encendido.
El estado de la batería es suficiente para completar el periodo de observación.
Recibe señal de la mayoría de los satélites, y en ambas frecuencias.
(Llamar al coordinador de la zona si se produce una incidencia que no podamos resolver.)
- 8º Cada 2 h. Llamar al coordinador de la zona para comentar incidencias.
- 9º Llamaremos al coordinador de la zona antes de detener la observación, para confirmar que el periodo de obs. no ha sido ampliado.
Repetiremos este ciclo desde el punto 4º para la 2ª sesión de observación.
En caso de no poder contactar con el coordinador de la zona, hacerlo con el coordinador gral. u otra persona que pueda hacerlo.

Punto	Nombre	Tipo	Estacionamiento
48356	ATALAYA	Vértice ROI	Basada con “punzón” centrador sobre granetazo en la terminación de la ferralla del cilindro.
48332	CABEZA GRANDE	Vértice ROI	
48380	CABEZA MEDIANA	Vértice ROI	
50914	CABEZUELA	Vértice ROI	
50938	CAÑADA	Vértice ROI	
50926	HORMIGALES	Vértice ROI	
48290	MUELA	Vértice ROI	
50862	COBERTEROS	Vértice REGENTE	Basada estándar tipo WILD de tres patas
48309	RIVILLA	Vértice REGENTE	
50930	LA OLLERA	Vértice REGENTE	
48460	MONTE	Vértice REGENTE	
22220	Hito norte 0	Vértice de obra	Plataforma nivelante roscada directamente sobre el vértice
22221	Hito norte 1	Vértice de obra	
22222	Hito norte 2	Vértice de obra	
22223	Hito norte 3	Vértice de obra	
11111	Hito sur 1	Vértice de obra	
11112	Hito sur 2	Vértice de obra	
11113	Hito sur 3	Vértice de obra	
11114	Hito sur 4	Vértice de obra	
22005	NAP aux norte 05	Clavo auxiliar de nivelación	Estacionamiento en trípode
22010	NAP aux norte 10	Clavo auxiliar de nivelación	
11009	NAP aux sur 09	Clavo auxiliar de nivelación	
11018	NAP aux sur 18	Clavo auxiliar de nivelación	

Tabla 1

El esquema de estacionamientos garantiza la repetibilidad de las medidas durante toda la observación y, si así se requiriese, en posteriores comprobaciones. Se distinguen los siguientes tipos de estacionamiento (ver tabla 1).

Se utilizaron 12 equipos Leica (receptor SR530 y antena AT502) de idénticas características, con el fin de asegurar la homogeneidad de las medidas. Se cuidó especialmente la antena, asegurando que todas fueran idénticas y estuvieran perfectamente orientadas al Norte, para prevenir la influencia de excentricidades radio-eléctricas de ambos centros de fase, unos 2 mm en la componente Este.

Las ventanas de observación de cada antena quedan reflejadas en los siguientes gráficos.



Segundo día

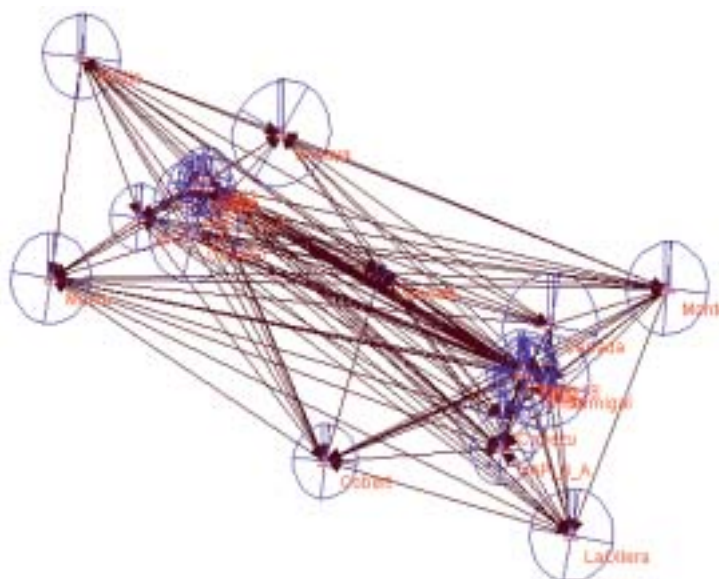


Primer día



Tercer día

Los criterios han sido basados en la mejor posible de las soluciones que ajuste a la red REGENTE, pero conservando la calidad intrínseca de nuestra propia observación. Para ello, se ha considerado, en un cálculo preliminar, una red compuesta por todos los puntos REGENTE, con el objeto de dotar de coordenadas al vértice *Cabeza Mediana*, situado en el baricentro de la red y sensiblemente centrado sobre el trazado del túnel. Esta red se calculó en ITRS2000 utilizando efemérides precisas IGS, los vectores obtenidos se constriñen a los vértices REGENTE (ETRS89), proporcionando las coordenadas de partida para los posteriores cálculos ajustados a dicho vértice.



Con las coordenadas de *Cabeza Mediana* obtenidas en el paso anterior, se calcularon por sesiones independientes, mañana y tarde, para posteriormente, con los vectores procedentes de la compensación libre de cada sesión, unirlos en una sola y realizar el ajuste final constreñido en el vértice ya citado.

Se calcularon todos los vectores de cada una de las 6 sesiones de observación bajo los criterios siguientes:

- Solución dobles diferencias con cálculo de ambigüedades en enteros L1, L2, Lw y Ln
- Solución libre ionosfera para los vectores
- Intervalo de procesamiento 15 segundos
- Máscara de elevación 17° para cálculo.

Del análisis previo estadístico de cada periodo de observación por separado, se ha estimado que la solución libre ionosfera (**Lc**) proporciona la solución mejor y más homogénea para proceder a la compensación conjunta, aún cuando la desviación estándar fue menor en alguna de las otras 4 soluciones.

La depuración de cada uno de los vectores se ha realizado de la forma siguiente:

- Número de pérdidas de ciclo, detección y posible corrección
- Borrado de ventanas temporales con los criterios siguientes:
 - Satélites con poco tiempo sobre el horizonte o mala relación señal ruido
 - Residuo de las triples diferencias al código
 - Geometría de la observación
 - Estimación demasiado pesimista u optimista de la calidad del vector.

Se han generado 6 grupos de vectores libres para todas las sesiones de mañana y tarde, comprobando en cada una de las sesiones si existe algún error grosero mediante test Tau correspondiente, filtrándose adecuadamente las escasas anomalías detectadas.

El resultado proporciona el mejor ajuste posible a la traza de proyecto en planimetría y altimetría. El conjunto final de coordenadas en datum ED50 con alturas ortométricas a tope de pilar, se muestra en la tabla 2.

En la tabla 3 se pueden observar las elipses estándar de error de los diferentes vértices que han formado parte de la observación.

En conclusión, los procesos de observación, cálculo, compensación y transformación de datum han dado resultados excelentes, como se pone de manifiesto a lo largo del trabajo. El resultado ha sido un conjunto de coordenadas lo más cercanas posible al ED50-proyecto. La transformación de datum empleada es un modelo simple, que propor-

Coordenadas ED50 finales proyección UTM, elipsoide Internacional. Alturas ortométricas

Nº	x	y	H	Nombre
48356	415878,239	4532511,423	1647,736	ATALAYA
48332	409124,660	4525007,548	1429,173	CABEZA GRANDE
48380	423678,936	4522074,516	1692,955	CABEZA MEDIANA
50914	433195,471	4511059,040	926,517	CABEZUELA
50938	436848,710	4518041,603	1038,366	CAÑADA
50862	419313,977	4507800,827	1024,834	COBERTEROS
50926	436660,869	4513802,956	1042,616	HORMIGALES
50930	438509,123	4502262,106	889,979	LA OLLERA
48460	445932,588	4520837,246	1006,802	MONTE
48290	397971,406	4521603,453	1110,340	MUELA
48309	400341,653	4538251,365	996,373	RIVILLA
22220	409828,145	4528646,510	1115,703	Hito norte 0
22221	410251,286	4528487,221	1136,269	Hito norte 1
22222	409916,232	4529284,396	1114,485	Hito norte 2
22223	409188,357	4528623,199	1120,476	Hito norte 3
11111	434699,560	4514338,143	1013,088	Hito sur 1
11112	434830,949	4514536,302	1019,350	Hito sur 2
11113	434982,037	4514260,564	1002,659	Hito sur 3
11114	435461,956	4513779,074	989,386	Hito sur 4
22005	404818,065	4526161,612	1076,010	NAP aux norte 05
22010	408625,979	4527341,325	1145,328	NAP aux norte 10
11009	433113,115	4508687,620	914,782	NAP aux sur 09
11018	434628,111	4514643,083	1020,982	NAP aux sur 18

Tabla 2



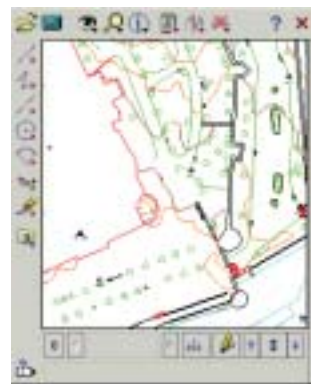
POCKET & CARTOMAP 5.5

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.

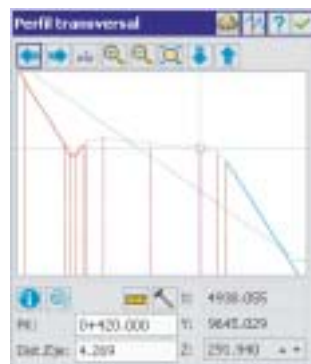
Captura de datos · Topografía analítica de campo · Modelo del Terreno · Curvado · Completo CAD 2D/3D · Croquis automático asociativo · Perfiles longitudinales · Perfiles transversales · Rasantes · Replanteo · Control de calidad · Secciones tipo · Ficheros shapefiles · y mucho más...



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€!

Point	A [mm]	B [mm]
Atalaya	1,8	1,6
CabeGr	1,7	1,6
CabeMe	0,0	0,0
Cabezu	1,8	1,7
Canada	2,0	1,8
Cobert	1,3	1,2
HiN0	1,1	1,0
HiN1	1,2	1,1
HiN2	1,2	1,2
HiN3	1,2	1,1
HiS1	1,3	1,2
HiS2	1,3	1,2
HiS3	1,1	1,1
HiS4	1,3	1,3
Hormigal	1,7	1,5
LaOllera	1,7	1,6
Monte	1,7	1,5
Muela	1,6	1,5
NAP_10_A	1,4	1,3
NAP_18	1,4	1,3
NAP_5_A	1,2	1,2
NAP_9_A	1,3	1,2
Rivilla	1,6	1,5

Tabla 3

ciona una linealidad en la transformación asegurando que no se pierda la calidad de los vectores GPS, como se requiere en infraestructuras de este calibre.

No hay que olvidar que las coordenadas finales están dadas en una proyección cartográfica que coincide con la del proyecto y replantearlas espacialmente requerirá del uso correcto de los elementos de la proyección: reducción al elipsoide, reducción espacial, convergencia etc. Únicamente de esta forma se conseguirá llevar a buen puerto los trabajos de calado del túnel, por lo que nos permitimos insistir una vez más en el correcto uso de la proyección.

4. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA RED ALTIMÉTRICA EXTERIOR

Como se ha visto anteriormente, no se ha realizado en el proyecto cierre alguno en altimetría geométrica entre las dos bocas del túnel. No se puede considerar como válida la nivelación por GPS realizada por el proyecto, ya que al hacer una mínima comprobación con datos de la Nivelación de Alta Precisión del IGN, se observó que estaba por debajo de la precisión requerida.

Por todo ello, se planteó la posibilidad de realizar una campaña de nivelación de alta precisión entre las dos bocas, espaciadas unos 70 km por

carretera. Esto se descartó en principio por su larga duración y, sobre todo, por la imposibilidad de cruzar la sierra con una nivelación en esa época del año, invierno.

Por consiguiente, se contactó con el Instituto Geográfico Nacional, Departamento de Nivelación de Alta Precisión, para ver los clavos de nivelación más cercanos a las dos bocas.

Allí se nos informó de que éstos estaban en la estación de ferrocarril de Las Navas de Riofrío-La Losa para la Boca Norte y unos clavos situados en el puente que cruza la autovía de Colmenar Viejo con la carretera de San Agustín de Guadalix para la Boca Sur. De estos clavos se facilitaron reseñas y cotas.

No obstante, se contactó con el responsable del Departamento de Nivelación de Alta Precisión del IGN, el Ingeniero Geógrafo Don Antonio Barbadillo, para comentar la fiabilidad de los datos facilitados.

De esta entrevista se dedujo que, aun siendo los facilitados datos fiables, era posible afinar más, debido a que los clavos de la Boca Norte y los de la Boca Sur no estaban integrados en el mismo itinerario de nivelación. Los clavos del puente de la autovía de Colmenar Viejo pertenecen al cinturón de nivelación de Madrid, mientras que el clavo de la estación de Las Navas de Riofrío-La Losa pertenece al ramal norte que va desde Madrid a Medina del Campo. Es decir, estos clavos están afectados por dos compensaciones de redes distintas.

Estas dos redes tienen un nodo común en la estación de ferrocarril de Torrelodones, por lo que se planteó un cálculo especial para obtener el desnivel exacto entre los dos clavos.

Este cálculo consistió en obtener los desniveles relativos entre los clavos desde las libretas de campo, es decir, los desniveles observados en campo en cada uno de los itinerarios con sus correcciones de gravimetría aplicadas en su momento. Con estos desniveles se creará un nuevo itinerario que englobaría los dos anteriores, liberando así las compensaciones que afectaban por los itinerarios de origen. En definitiva, este cálculo simulará un itinerario desde los clavos de Colmenar Viejo hasta el de La Losa pasando por el de la estación de Torrelodones. También con los antiguos datos de la corrección por gravimetría se puede pasar de las cotas geométricas a las ortométricas, que en definitiva son las que se van a usar.

Decidido el método, se encargó al CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica) el desnivel ortométrico real entre los citados clavos, que unirían en cota las dos bocas del túnel.

Una vez conseguido el desnivel ortométrico entre los clavos de Colmenar Viejo y los de la estación de Las Navas de Riofrío-La Losa, quedaba pasar las cotas ortométricas hasta las boquillas. Para ello se encargó una nivelación de alta precisión (2 mm de tolerancia) a la empresa Cartosistemas, que uniera estos clavos con las bocas del túnel por medio de dos

itinerarios de aproximadamente 15 km en cada boca. Como resultado de esta campaña se obtuvieron los desniveles geométricos entre las bocas y sus respectivos clavos de nivelación.

El siguiente paso sería determinar las cotas geopotenciales. Para ello se dejaron unas señales cada kilómetro en los dos itinerarios, donde se tomaron datos de la gravedad actual con el fin de hacer la corrección de gravimetría y transformar los desniveles geométricos, fruto de la nivelación, a los desniveles ortométricos, que serán los que se usen en el interior del túnel.

Los itinerarios se efectuaron a lo largo del mes de febrero de 2002. Al ser una nivelación de alta precisión con una tolerancia $2\sqrt{K}$ mm, donde K es la longitud del itinerario en km, es necesario utilizar aparatos y métodos especiales determinados por la precisión.

También en este caso fue el IGN el que facilitó una relación de empresas homologadas por el propio Instituto para este tipo de trabajos, siendo elegida Cartosistemas.

La nivelación de alta precisión requiere niveles electrónicos calibrados por el IGN, miras de invar de lectura por código de barras, haciéndose las lecturas automáticamente, eliminando así los posibles errores de transcripción. La distancia entre el nivel y las miras ha de ser medida con cinta y ser la misma en la lectura de espalda y la de frente, no siendo ésta mayor de 25 m. Cada kilómetro de itinerario ha de ser señalado con un

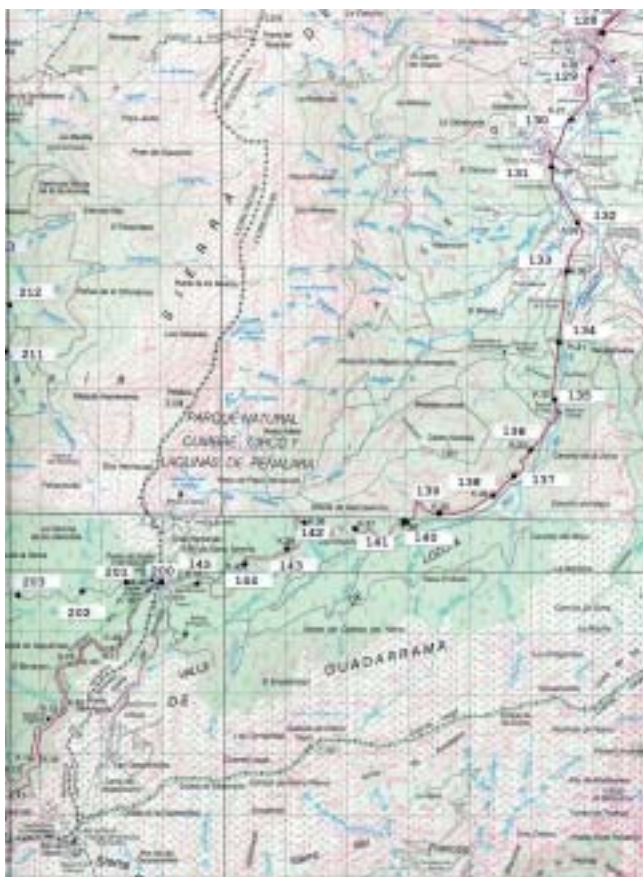
clavo de nivelación con su correspondiente reseña y posición. En éstos se hará una determinación de la gravedad. Debido a que las superficies equipotenciales no son paralelas, las cotas geométricas dependerán del camino elegido. Para independizarlo del itinerario, se define la cota geopotencial como la sumatoria del producto de la gravedad por la diferencia de altura $C = \sum g dh$. Si se divide la cota geopotencial entre una gravedad media, se obtendrá el desnivel ortométrico $H = C/\bar{g}$ que es el que se utilizará en adelante.

Posteriormente, y con motivo de la observación con GPS de la red local de los túneles, se tomaron varios puntos de la anterior nivelación con el objeto de comprobar si había algún error grosero que no se hubiera localizado. El resultado de esta observación confirmó las cotas que se habían calculado virtualmente.

En el verano de 2003 se hizo por fin la nivelación de alta precisión que uniría físicamente las dos bocas por medio de un itinerario desde la Boca Sur, por el Puerto de la Morcuera, Rascafría, Cotos, Valsaín y Boca Norte. Esta nivelación también fue realizada por Cartosistemas.

La nivelación entre las dos bocas se llevó a cabo con las mismas prescripciones técnicas que la anterior campaña, dejando señalización de los puntos cada kilómetro con el objeto de medir la gravedad. Con esta corrección se pasará de cotas geométricas a ortométricas. En las siguientes figuras se ve el itinerario completo.





El resultado de esta nivelación dio como resultado una diferencia entre los desniveles calculados virtualmente por Don Antonio Barbadillo y los medidos, de 43 mm.

	ENLACE VIRTUAL	ENLACE NIVELACIÓN
BOCA SUR	1023,721331	1023,721331
BOCA NORTE	1129,210983	1129,25361
DESNIVEL	105,489652	105,532279

Esta diferencia está dentro de las tolerancias marcadas para la ejecución de los túneles. En aquel momento se quedó a la espera de que el Instituto Geográfico Nacional realizase otra nivelación por otro itinerario distinto. Ya se ha realizado la citada nivelación, esta vez desde Colmenar por el Puerto de Guadarrama hasta la estación de la Losa, cerca de la Boca Norte. En ambas líneas se ha pasado el gravímetro para el cálculo de la cota ortométrica. El error de cierre del anillo ha sido de 15 mm. Esta comprobación viene a confirmar que los datos de partida de las dos bocas son correctos.

(Continuará)

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



Sistema Trimble R8 GNSS

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

Soporte GNSS

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

Sistema de probado diseño

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

Conéctese

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

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



CONNECTED
SURVEY SITE
READY

Posicionamiento y Vertidos con Gánguil en la ampliación del Puerto de Barcelona, Dique Este

Alfonso Alcaraz

FOMENTO DE CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS

José Antonio Anta

MICROGESA

Carles Confría

AL-TOP TOPOGRAFÍA

ANTECEDENTES

El Puerto de Barcelona no es la primera vez que se amplía. En sus cerca de 600 años de historia, se han realizado tres grandes obras de ampliación de sus infraestructuras (dársenas, muelles y superficies terrestres) con las que se ha duplicado y configurado el puerto que actualmente se conoce.

Partiendo de un puerto inicial que finalizaba en la actual Torre del Reloj, en 1860 se inició la primera ampliación, que superó la Barceloneta; en 1900 se alargaron los muelles hasta Montjuïc. En 1965 se dobló el puerto existente hasta entonces, llegando hasta el Llobregat.

Actualmente se está realizando la cuarta ampliación histórica, más grande que las anteriores, tanto por el impacto de su configuración infraestructural, ya que se volverá a duplicar la superficie portuaria actual, como por el gran desembolso económico que supone.

Estas ampliaciones se enmarcan en un escenario de evidente déficit de espacio e infraestructuras. El ritmo de crecimiento del puerto ha sido espectacular, con una actividad comercial que en los últimos 10 años ha superado el 150%, con un tráfico de vehículos de 170.000 a 650.000, y con 1.049.230 cruceristas que sitúan el puerto de Barcelona como el primero de Europa en este segmento de tráfico. Este ritmo de crecimiento evidencia la necesidad de iniciar obras de ampliación y de finalizarlas lo antes posible.

Toda esta ampliación supondrá un crecimiento en la línea de atraque, superficie terrestre, nuevos accesos y en nuevas líneas marítimas, nuevos servicios, nuevas conexiones, etc. Todas estas actuaciones consolidarán

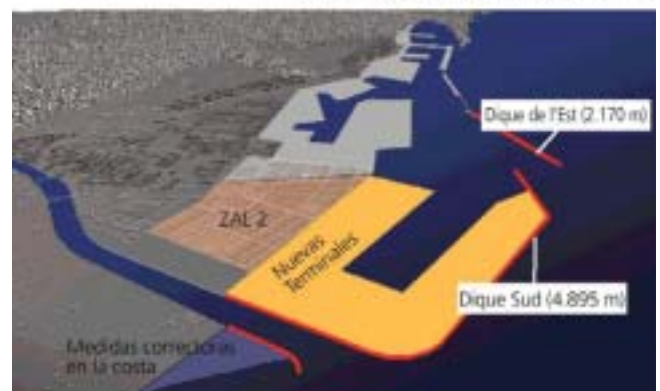
al Puerto de Barcelona como núcleo de la principal plataforma logística euromediterránea y, junto con las actuaciones del Plan Delta, supondrá uno de los centros de primer nivel en la red de comunicaciones europea.

AMPLIACIÓN

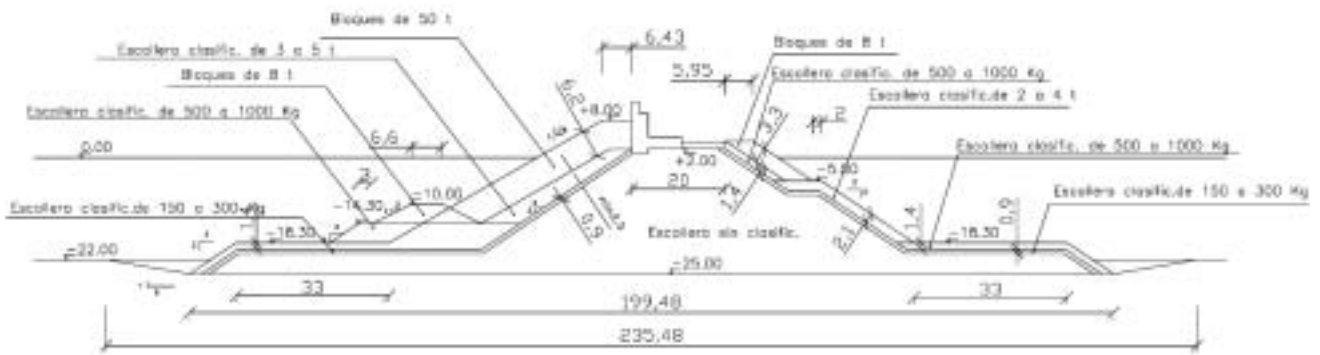
El plan de ampliación del Puerto representa un crecimiento hacia el sur, con la desviación del río Llobregat y la creación de dos diques de abrigo, Este y Sur. Con dichos diques se habrá creado una zona de aguas abrigadas que permitirá construir los futuros muelles.

Es importante señalar que en toda la ampliación se han seguido los criterios de sostenibilidad que comportan la protección del medio ambiente, detectando los posibles impactos a través de diversos trabajos y

Ampliación superficie del Puerto



SECCIÓN EN BATIMÉTRICA 22 SEGUNDA ALINEACIÓN



estudios y formulando distintas medidas correctoras: creación de nuevas playas en la margen sur, en Bunyola, recuperación de línea de costa, creación de zonas húmedas en el interior de playas, etc.

DIQUE ESTE

La Autoridad Portuaria de Barcelona (APB) adjudicó las obras del Dique Este a la UTE formada por FCC Construcción, Ferrovial-Agroman, Construcciones Rubau y Copisa, por un importe de 197,2 millones de Euros. Esta obra es una prolongación del actual dique, con una ampliación de 2.170 metros y un plazo de ejecución de 58 meses.

La profundidad a rellenar comprende entre la cota -25 m de fondo marino dragado, a la cota +2 m y un ancho en la base del dique de 200 m, así como una longitud de 2.170 m. Estas dimensiones suponen un volcado de material de unos 10 millones de toneladas de escollera sin clasificar y 2,4 millones de toneladas de escollera clasificada, con una posterior colocación de 450.000 m³ de hormigón en bloques de 50 toneladas a lo largo del dique.

La obra se plantea, en principio, como una subida del fondo marino a través de descargas de material realizadas desde barcos especiales (Gánguiles) realizándose con una precisión submétrica hasta una determinada profundidad.

Un Gánguil es un barco especial que tiene las bodegas abiertas por la superficie, en el que se carga escolleras desde el muelle de un puerto, para su posterior vertido en un punto concreto mediante la apertura del fondo del barco, cayendo todo el material cargado.

Para los profanos en este tipo de trabajos, comparado con una obra en tierra, diremos que en tierra se puede materializar la franja de terreno a terraplenar mediante estacas y que el maquinista tiene visibilidad clara de la obra y de los vertidos realizados. Ahora bien, en el mar es bastante difícil materializar la franja de obra e imposible ver dónde se realizaron los vertidos. El posicionamiento del barco se suele hacer con sistemas GPS, el cual, si se dispone de dos unidades o de un receptor especial, se podrá, además de posicionarlo, orientarlo, lo que es muy importante dada la dimensión longitudinal del barco.

Con respecto a la localización de los vertidos realizados, se suele ayudar de sistemas cartográficos apoyados en ordenadores, en los cuales se representa la cartografía del puerto, la obra, la posición del barco y una malla de celdas en las cuales hay que verter. El Patrón del barco se fijará en una pantalla para situar el barco en la posición correcta.

Al igual que en una obra en tierra, los vertidos se planifican como una especie de tongadas, denominándolas planta de vertidos o lote de vertidos, siendo las primeras inútiles, ya que lo único que hacen es sanear el fondo, sirviendo de cimiento de las demás.





Para las obras del Dique Este se cuenta con 5 barcos Gánguil, dos de pequeña capacidad (300 m³ y 450 m³) y tres de gran capacidad (800 m³ y 1.000 m³). Es muy importante explicar las características e importancia de la utilización de estos barcos, ya que la disponibilidad de un barco de estas características es muy baja. Se puede entender claramente que se evite pérdidas de tiempo y fallos en los vertidos obteniéndose el máximo aprovechamiento del barco.

La carga del material se realiza en dos puntos diferentes, según la envergadura del Gánguil:

- Los dos barcos pequeños cargan en el propio puerto de Barcelona, en el Muelle de Inflamables.
- Los tres barcos grandes cargan en Vallcarca, en zona de cantera en la costa del Garraf, a 17 millas.

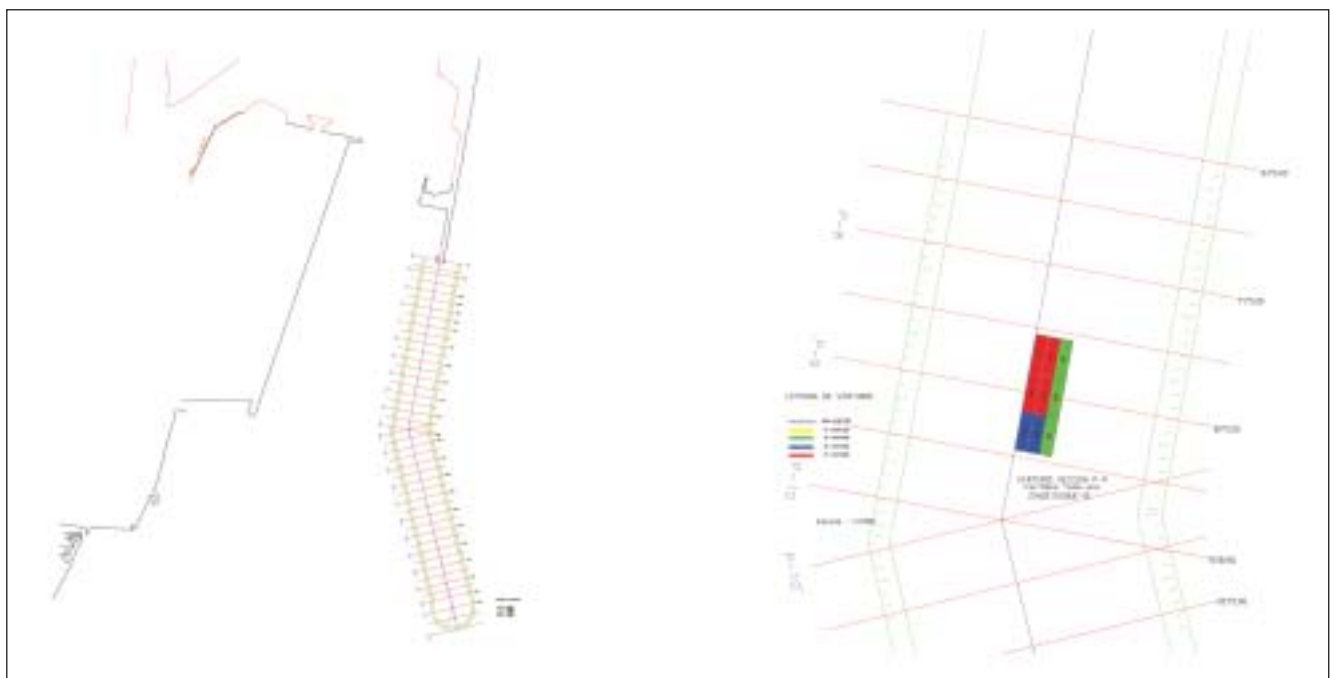
Comentar que el material que se vierte suele ser escollera sin clasificar y clasificada.

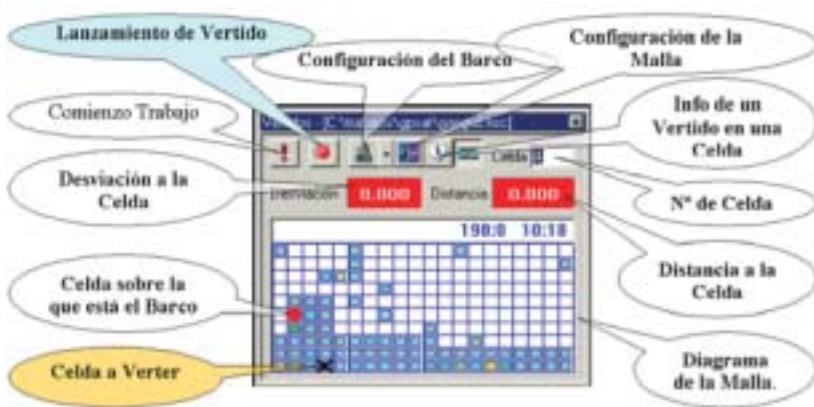
EQUIPOS

Como se ha podido leer, dada la envergadura de la obra y la disponibilidad y precio de los barcos, se requiere controlar la localización y tiempo de los vertidos para impedir pérdidas de tiempo. Tanto el suministro como el constante mantenimiento se han confiado a las empresas AL-TOP Topografía y MICROGESA, las cuales han suministrado los sistemas de localización y control de vertidos de los cinco Gánguil:

Cada sistema está formado por un receptor GPS, un ordenador con monitor TFT 17 pulgadas y un programa GPSAT-GANGUIL para control de vertidos:

- El GPS es girocompás, es decir, utiliza una antena doble GPS y permite obtener el rumbo con una precisión de 0,5°. Para obtener precisiones submétricas se aprovecharon las posibilidades que ofrece el GPS para trabajar en diferencial, utilizando correcciones de radiobalizas. En este caso se utilizaron las correcciones de las estaciones de Llobregat y Salou. Los parámetros geodésicos y la cartografía utilizada





son proporcionados por el ICC. El receptor proporciona coordenadas corregidas con el azimut del eje al ordenador, en el cual se dispone de la aplicación GPSATGANGUIL.

- GÁNGUIL es una aplicación complementaria a GPSat y que está integrada en Autocad. Permite recoger la posición de una o dos antenas GPS, posicionarlas mediante un bloque de Autocad (un barco) y proporciona toda la información para realizar los vertidos en la celda definida en el proyecto. Esta aplicación es manejada por el mismo Patrón del barco, teniendo toda la información necesaria para realizar los vertidos. El Patrón sólo tiene que manejar tres botones: *Comenzar*, *Identificar la celda*, *Realizar vertido*. El programa va proporcionando información gráfica mediante pantallas de rumbo y movimiento del barco en el ordenador, y numérica mediante valores de distancia y rumbo para llegar a la celda a verter:

tena doble conectada a un solo receptor; proporcionando, además de posición, la orientación entre las dos antenas, que previamente se orientarán con el eje del barco.

El programa proporciona al patrón toda la información geométrica y náutica para llegar a la celda a verter: Una vez llegada a ella y orientado el gánguil, se procederá a realizar el vertido, que se realiza mediante un mecanismo que tiene el barco por el cual se abre su parte inferior, cayendo todo el material al fondo marino, y se guarda automáticamente la información del vertido (posición teórica y real del vertido, día y hora, orientación).

Existe una planificación previa del trabajo que se realiza en la oficina, en la que se dimensiona la malla, se ubica y se orienta. A continuación se selecciona la paleta de colores a usar y el bloque de Autocad para representar el Gánguil. La paleta de colores servirá para simbolizar el número de vertidos realizados; así, si la celda es amarilla es que tiene un vertido, si es verde-amarillo tiene dos vertidos, si es verde tres, y así sucesivamente, tal como se halla configurado.

Toda esta información se guarda en un fichero histórico, al cual sólo tiene acceso el jefe de topografía, que semanalmente, como sistema de control, recogerá el fichero para obtener pantallas e informes en papel con toda la información de los vertidos que se han realizado.

El programa proporciona dos pantallas principales: La primera es la de GPSAT, la cual indica los datos recibidos del GPS, las coordenadas y pantalla de Rumbos. La segunda es la pantalla principal de Gánguil, la cual proporciona una cuadrícula con todas las celdas a verter y con todos los accesos a las herramientas a utilizar. Esta pantalla es dinámica con AutoCAD, utilizándose como esquema de vertidos.

Periódicamente se realizan comprobaciones del estado de los vertidos mediante batimetrías. Éstas se realizan con un sistema hidrográfico profesional para batimetrías, compuesto por un GPS doble frecuencia en tiempo real con precisión centimétrica, una ecosonda doble frecuencia de 33-200 Khz con software hidrográfico Sextant. A continuación se realizan los oportunos curvados batimétricos mediante el programa topográfico PROTOPO. ■

El sistema general está preparado para que lo utilice personal no cualificado en programas de informática. El patrón del barco señala una celda a verter mediante el ratón o escribiéndola en la casilla, el programa la representará tanto en la pantalla del esquema como en Autocad mediante una cruz. El barco se representará mediante un círculo rojo en la pantalla de esquemas y mediante un bloque en Autocad. Según proporcione posición el GPS, el bloque de Autocad y el círculo se irán moviendo, además, existirá una línea de unión entre el barco y la celda que dinámicamente se mueve. Comentar que el tipo de GPS posee una an-

Historia C:\trabajo\gpsatganguil\his

Celda	Vertido	Color
100	1	Amarillo
Coordenadas	Cánguil	Gánguil
Fecha	10.6.2005	10:28:16
Presión E	433942.0	Presión F
4370902.0	4370902.0	
Brújula W	4.00	Batería
4.00		
100	2	Verde-amarillo
Coordenadas	Cánguil	Gánguil
Fecha	10.6.2005	10:33:23
Presión E	433942.0	Presión F
4370902.0	4370902.0	
Brújula W	4.00	Batería
4.00		
100	3	Verde
Coordenadas	Cánguil	Gánguil
Fecha	10.6.2005	10:34:22
Presión E	0.0	Presión F
0.0	0.0	
Brújula W	0.00	Batería
0.00		
100	4	Verde
Coordenadas	Cánguil	Gánguil
Fecha	10.6.2005	10:35:10
Presión E	0.0	Presión F
0.0	0.0	
Brújula W	0.00	Batería
0.00		

Levantamientos arqueológicos efectuados en Grecia empleando un helicóptero controlado por radio

D. Skarlatos, S. Theodoridou y D. Glabenas
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE ATENAS

Resumen

En este artículo se informa acerca de las experiencias adquiridas en diversos proyectos en los que se empleó un modelo de helicóptero controlado por radio como plataforma de una cámara semimétrica. El helicóptero modificado lleva una cámara Rollei Metric y una pequeña cámara de video como visor para localizar zonas. La combinación de la fotografía aérea a baja altitud y del control dinámico de la plataforma es muy atractiva para los especialistas en fotogrametría. En este artículo se discuten los problemas y las soluciones, las posibles mejoras y las estadísticas concernientes a la producción comercial de ortofotos en siete emplazamientos.

La velocidad, la precisión final y lo atractivo de los productos finales para los usuarios son sus mayores ventajas. Cada caso presentó unas dificultades diferentes, siendo el de Larisa el mayor desafío, debido a sus grandes diferencias de altitud. El emplazamiento de Karla fue el mayor proyecto, en el que se tomaron 196 fotografías y se efectuó una triangulación aérea con 121 fotografías. El antiguo anfiteatro, con sus paredes verticales de hasta 3 metros de altura, que originaban grandes oclusiones a la lente de 50 milímetros, fue la parte más difícil del proyecto. Los productos finales consistieron en ortofotomapas en color a escala 1:50. También se analizan en este artículo otros problemas importantes, tales como la triangulación aérea, en particular en el caso de irregularidad de las fotografías aéreas, la formación de los modelos, la inclinación y generación de imágenes epipolares, los modelos digitales del terreno y la conexión de los mismos, la generación de curvas de nivel, la exclusión de elementos hechos por el hombre y las parcelas rocosas

Abstract

This paper reports on the experienced gained from many projects using a radio controlled model helicopter, as a semi-metric camera platform. The modified helicopter carries a Rollei Metric camera and a small video camera as a viewfinder. The combination of low height aerial photography and dynamic platform control, is very attractive to photogrammetrists. Problems as well as solutions, possible improvements and statistics concerning commercial orthophotograph production in seven sites will be discussed.

Speed, overall accuracy and appeal to the end users of the final products, is prosperous. Each case had different difficulties, with Larisa's case being the most challenging, due to its height differences. Karla's site was the biggest project with 196 photos taken, and a 121 photos aerial triangulation. The ancient theatre with vertical walls of up to 3 m height, causing large occlusion with the 50 mm lens, was the most challenging part. The final products were colour orthophotomaps of 1:50 scale. Other major problems which will be analysed are the aerial triangulation, concerning irregularity of aerial photographs, model formation, epipolar imagery generation and tilts, digital terrain modelling and model connection, contour generation and exclusion of man made features, stone plots.

I. INTRODUCCIÓN

La visualización gráfica y el levantamiento rápido, preciso y barato de los emplazamientos arqueológicos son algo aparentemente trivial, pero que está lejos de haberse conseguido.

La necesidad de levantar topográficamente los monumentos arqueológicos es clara. La restauración, registro, reconstrucción e incluso el simple estudio de un emplazamiento arqueológico, precisa de unos trazados gráficos muy exactos. El método tradicional, empleando mallas de cuerdas, no cumple los estándares de precisión; un levantamiento

simple del emplazamiento sólo puede aportar un plano con unos pocos puntos precisos, interconectados mediante vectores, sin aportar ninguna información adicional. Ambos métodos tiene la desventaja de que diversas personas deben trabajar sobre el terreno del emplazamiento arqueológico durante un prolongado periodo de tiempo, lo que aumenta las posibilidades de que se produzca una destrucción accidental de importantes descubrimientos.

La fotogrametría ha desempeñado siempre un importante papel en la arqueología, pero, hasta el momento, los usuarios se veían desanimados

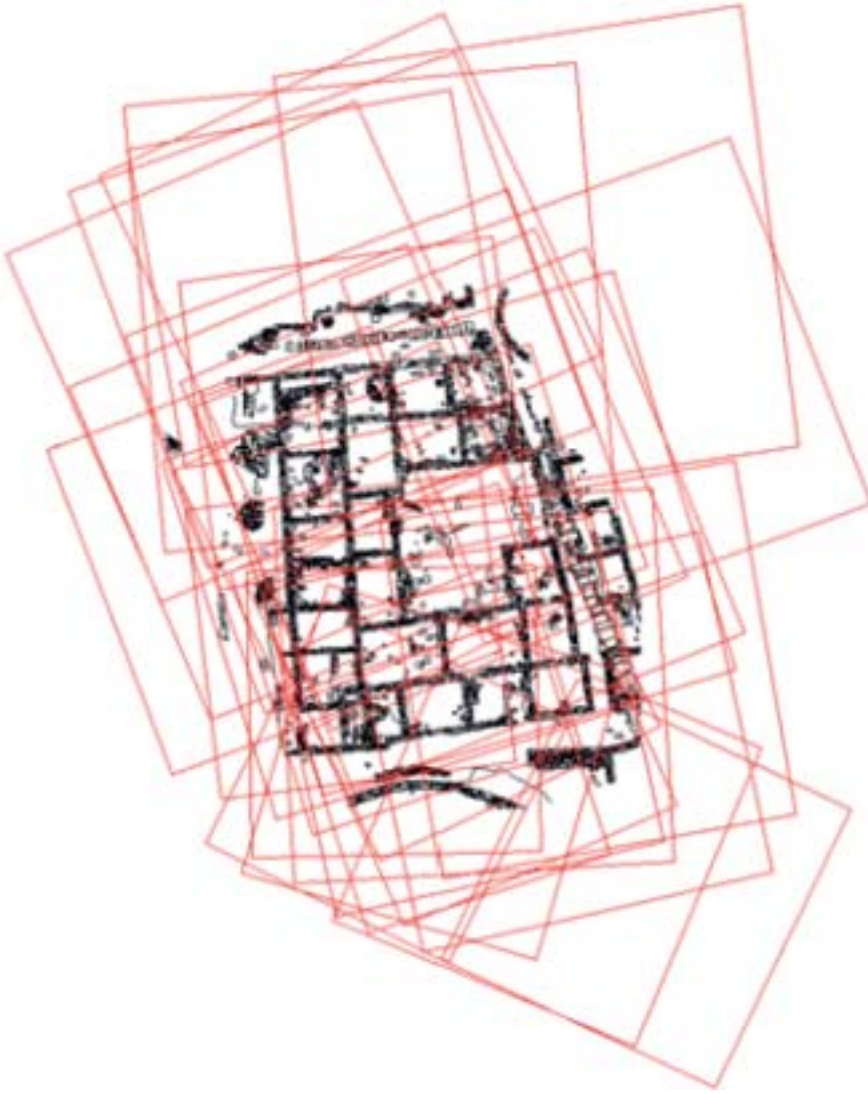


Figura 1: Trazas de las fotografías aéreas en el primer emplazamiento de Dilos

por los costes, por el tiempo necesario para revelar las fotografías y por el hecho de que el resultado final era todavía un plano vectorial. La evolución de la informática y el paso de los estéreo-restituidores analíticos a los digitales, ha rediseñado los productos y los procedimientos fotogramétricos, así como las aplicaciones.

Bajo este nuevo enfoque, las ortofotos son un producto fotogramétrico muy atractivo, que sirve para diversos fines de documentación, registro y restauración (Baratin y alumnos, 2000). Está claro que una información fotográfica, unida a una alta precisión en el levantamiento topográfico, forman una combinación muy ventajosa. Lo único que lo supera es una imagen digital tridimensional completa del emplazamiento, que permita al usuario medir con precisión las distancias tridimensionales entre los puntos (Dorffner y alumnos, 2000). Este tipo de aplicaciones son excelentes, siempre que el usuario esté familiarizado con la informática y tenga acceso a un potente ordenador portátil para su uso sobre el terreno. Aun suponiendo que se cumplan estas condiciones, no dispondrá en

ningún caso de una copia sobre papel que le aporte una visión global y le permita comunicarse con los operadores.

Desde este punto de vista, las ortofotos constituyen, por el momento, la mejor solución. Lo que aun sigue siendo desventajas, en comparación con los levantamientos sobre el terreno, son los tiempos de proceso y los costes.

Se ha informado de muchos casos de uso de plataformas de baja altitud para fotografía (Miyatsuka, 1996, Theodoridou y alumnos, 2000, Zischinsky y alumnos, 2000, Karras y alumnos, 1999, Ioannidis y alumnos, 2000). Cometas, globos, grúas, helicópteros, modelos de helicóptero controlado por radio, cables colgantes, cañas de pescar y cubos en pozos, son sólo algunos de los ingeniosos métodos que los especialistas en fotogrametría están empleando para fotografía de baja altitud.

En la mayoría de estos casos no se obtiene un encaje ideal de las fotografías. Sobre todo esto se informa en el caso del modelo de helicóptero controlado por radio (Tokmakidis y alumnos, 2002) y en el caso del globo (Karras y alumnos, 1999) y generalmente en cualquier situación en la que el fotógrafo no puede controlar plenamente la posición de la cámara (cometas, globos) o no se encuentra físicamente

detrás de la misma (cables colgantes, cañas de pescar, cubos en pozos). Aunque pudiera parecer que un helicóptero controlado por radio, con un canal de radio dedicado a la transmisión de la imagen desde el objeto a tierra, no sufriría de los mencionados problemas, en realidad no es así. Incluso los operadores más avezados no son capaces de controlar plenamente el movimiento del modelo de helicóptero, debido a los golpes de viento aleatorios y a la falta de maniobrabilidad del mismo en su diseño conceptual.

En consecuencia, la escala no es igual entre las fotografías y la superposición entre imágenes está lejos de ser la ideal (figura 1). Sin embargo, el modelo de helicóptero puede capturar fácilmente un gran número de fotografías y, por tanto, permite realizar una selección de las mismas. Ioannidis y alumnos (2000) informan acerca del empleo de un helicóptero con una cámara de gran formato (13x18 centímetros) y con un operador a bordo; se trata del caso que mejor simula a la fotogrametría aérea. Por otro lado, existen limitaciones, tales como:



Figura 2: Ortofoto final de Asprovalta (original a 1:100)

- la necesidad de disponer de una cámara terrestre de gran formato, con el fin de mantener el número de fotografías lo más bajo posible
- la necesidad de disponer de la aprobación del plan de vuelo por parte de las autoridades, especialmente debido a la baja altitud del vuelo
- las limitaciones de tiempo y de costes
- la disponibilidad
- las subcontrataciones.

En este artículo se van a analizar las experiencias recogidas en cuatro proyectos independientes que emplearon fotografías captadas desde un helicóptero controlado por radio. El método empleado es descrito en detalle por Tokmakidis y Skarlatos, 2002.

2. PRODUCCIÓN DE ORTOFOTOS EN LAS EXCAVACIONES DE ASPROVALTA

Este proyecto consistió en la producción de ortofotos en color de una antigua villa en Asprovalta, en un emplazamiento arqueológico de 1400 metros cuadrados (figura 2). Debe señalarse que el Dr. Beleni, el arqueólogo que supervisaba las excavaciones, no estaba familiarizado con las ortofotos y estos productos le supusieron un nuevo modo de trabajo.

Éste fue el primer proyecto comercial realizado con un helicóptero controlado por radio, por lo que salieron a la luz una serie de problemas inesperados. Los datos estadísticos de este proyecto figuran en la tabla I. La escala de las fotografías en relación con la escala final de los ortofotomapas, no estaba bien calculada, aunque, como se demostró posteriormente, la calidad obtenida en el producto final impreso fue muy buena y no hubo quejas por parte de los usuarios finales. Aunque este proyecto se había planificado para una escala final de las ortofotos de 1:100, también se imprimió a escala 1:50, lo que resultó muy satisfactorio.

La restitución tridimensional fue muy incómoda, debido a que las acusadas inclinaciones y las diferencias de escala no permitían una visión estereoscópica cómoda. Éste es el caso de todos los demás proyectos.

Otra consecuencia de la falta de experiencia fue que hubo que visitar el emplazamiento en tres ocasiones distintas, debido a pequeñas interrupciones en la cobertura que sólo fueron detectadas tras el revelado de la película. El proyecto se concluyó con ciertas prisas, debido a la falta de tiempo ocasionada por estas visitas.

3. PRODUCCIÓN DE ORTOFOTOS Y TRAZADOS VECTORIALES EN LAS EXCAVACIONES DE DILOS

El segundo proyecto consistió en la producción de ortofotos en color a escala 1:100 en la isla de Dilos. Además de esto, el profesor Chatzidakis, que era el arqueólogo jefe de las excavaciones del emplazamiento, pidió asimismo un trazado vectorial tradicional. Aunque abierto a las nuevas tecnologías, deseaba un plano vectorial, con la finalidad de poder efectuar presentaciones a sus colegas. Los problemas que se presentaron en este caso surgieron del hecho de que el emplazamiento se hallaba en una isla deshabitada, que funciona como museo durante el horario laboral y que carece de electricidad, de comodidades y de coches. El helicóptero controlado por radio, así como el resto del equipamiento adicional (los receptores GPS, la cámara Rollei Metric, etc.) tuvieron que ser transportados a pie desde el muelle del puerto hasta el emplazamiento en cuestión, que se hallaba a 1 kilómetro de distancia. En particular, el día de la toma de fotografías el viento era de fuerza 6 y se dudó



Figura 3: El mosaico final de Dilos, con la información vectorial y las curvas de nivel superpuestas (original a 1:100)



Figura 4: Mosaico final del antiguo anfiteatro de Larisa (mosaico original a escala 1:50)

seriamente que el helicóptero pudiera volar en estas condiciones. El modelo de helicóptero nos sorprendió a todos y concluyó la toma de fotografías sin ningún problema, ganando nuestra estima por ello. En la tabla 1 se pueden ver los datos estadísticos.

Dado que el tiempo de proceso fue amplio, se considera este proyecto como un proyecto piloto, ejecutado con gran detalle y algo más lentamente de lo aceptado comercialmente. En la figura 3 se puede ver el producto final. También se dibujó y entregó el producto final a escala 1:50 sin ningún tipo de problema.

La segunda visita fue a un área mayor, de 5.000 metros cuadrados, aunque el producto final fue de menor escala (1:250), con el fin de reducir costes. El helicóptero alcanzó su techo operativo, ya que tuvo que fotografiar a escala 1:1.250 con una lente de 50 milímetros.

4. PRODUCCIÓN DE ORTOFOTOS EN EL ANTIGUO ANFITEATRO DE LARISA

El antiguo anfiteatro de Larisa fue descubierto hace pocos años en el centro de la ciudad, bajo una calle y doce bloques de apartamentos. Los edificios han sido demolidos y el teatro se encuentra en la actualidad en reconstrucción.

Era necesario obtener unos trazados detallados, a escala 1:50, que mostrasen el estado actual. El arqueólogo responsable de la restauración y

conservación del teatro, Sr. Tziafalias, fue informado acerca de las ortofotos y pidió directamente dicho producto. El área total del anfiteatro es de 5.400 metros cuadrados y presenta una diferencia de altitudes de 13,5 metros. Dentro del escenario, en particular, existen unas diferencias de altitud de 2,5 metros en las paredes. En base a ello, se escogió una altitud de vuelo de 22 metros, para obtener una proporción de 1:9 entre la profundidad de los objetos y la distancia cámara-objeto. Las oclusiones esperadas fueron muy grandes y hubo por tanto que tomar un elevado número de fotografías del lugar.

Con el fin de corregir y ortorectificar correctamente las fotografías, se recogió un detallado modelo digital del terreno (MDT). Fue más detallado y denso incluso que los trazados tridimensionales de los elementos cartográficos, dado que todos los elementos debían trazarse por duplicado, con una de las líneas describiendo su borde superior y la otra el inferior. Estas líneas estaban divididas en tramos de 5

centímetros, creándose puntos en estas intersecciones. Estos puntos adicionales fueron medidos, con el fin de describir exactamente la superficie. El modelo digital del terreno final se generó usando únicamente estos puntos, sin ninguna información adicional de las líneas de ruptura. Los triángulos creados no mezclaban información de distintos niveles, debido a su alta densidad, en comparación con los simples puntos de cota. La recogida de puntos para el modelo digital del terreno se hizo de forma manual y consumió mucho tiempo.

Además, casi todas las fotografías del lugar fueron rectificadas y se seleccionaron las mejores para componer el mosaico. Fueron necesarios muchos trabajos con el fin de conectar las múltiples ortofotos, de manera que el resultado final fuese aceptable y desaparecieran las vallas del producto final (figura 4). El mosaico final fue retocado para equilibrar las tonalidades y para eliminar las deformaciones en algunas zonas de acusado relieve.



Figura 5: Corredor de tres metros de altura. La parte más oscura se encontraba en sombra y antes de hacer el mosaico se procesó con filtros



Figura 6: El emplazamiento de Karla durante las excavaciones

5. FACHADAS Y SECCIONES SOBRE EL ESCENARIO DEL ANTIGUO ANFITEATRO DE LARISA

Las fachadas y secciones sobre el escenario, a escala 1:25, eran necesarias como algo muy importante para la restauración del anfiteatro. Dado que las superficies eran bastante planas, y con el fin de reducir los costes, se escogió una sencilla rectificación de las fotografías como el procedimiento más adecuado. Se necesitaban 21 secciones y fachadas independientes. Éste fue el proyecto más denso desde el punto de vista fotográfico. Un grupo especializado de tres personas estuvo trabajando durante veinte horas con el fin de adherir los 321 puntos de control en el interior y exterior de las superficies del escenario, medir la red y los puntos de control y, finalmente, tomar 131 fotografías.

Dado que los puntos de control deberían ser medidos con una precisión de 1,25 centímetros, se efectuó un itinerario con once estaciones, midiéndose con referencia a una red de cuatro estaciones establecida previamente. Desde cada estación se midieron al menos cuatro ángulos y dos distancias (medidas al menos por duplicado) al resto de las estaciones, conocidas o no. Las observaciones se utilizaron para obtener una solución por mínimos cuadrados. La solución presentó unos residuos de 0,6, 0,9 y 1,3 centímetros en X, Y, Z respectivamente. Desde estas estaciones se midieron los 321 puntos de control, empleando mediciones de ángulos y distancias e intersecciones de ángulos. La precisión relativa de los puntos de control es inferior a los 2 centímetros.

Se diseñó internamente un sencillo programa de ordenador, con el fin de realizar una transformación proyectiva sobre las fotografías y para calcular el plano vertical mejor ajustado (empleando mínimos cuadrados) que pase por los puntos de control de cada sección o fachada. Se cal-

cularon las nuevas coordenadas, en las que la Z era la distancia a la superficie de ajuste óptimo.

Aunque se tuvo un especial cuidado, con el fin de visualizar en cada fotografía al menos cuatro puntos de control, no siempre fue esto posible y en tales casos la triangulación se degradaba. Aunque las fotografías convergían notablemente, el programa de triangulación aérea no tuvo problemas resolviendo el ajuste de haces. La orientación exterior se empleó para producir ortofotos a nivel cero.

6. EL EMPLAZAMIENTO DE KARLA

El emplazamiento arqueológico de Karla fue revisado de nuevo, debido a que los arqueólogos querían que continuasen las excavaciones. Esta segunda vez pidieron un ortofotomapa más detallado, a escala 1:50, sobre un área bastante extensa (figura 6). Las fotografías y las mediciones de control sobre el terreno duraron un par de días, recubriendo unos 8.800 metros cuadrados. Las fotografías que se tomaron y procesaron equivalían a las de un gran proyecto de fotografía aérea. Se tomaron y escanearon un total de 196 fotografías, de las que 121 se emplearon para la triangulación aérea. Debido a las extensas superposiciones y a las dificultades en preparar los modelos, se emplearon 43 modelos para recubrir el área con un modelo digital del terreno. El proceso del modelo di-



Figura 7: El emplazamiento de Derveni. Ortofotomapa obtenido a partir de dos sesiones distintas de fotografías

gital del terreno fue laborioso, debido a la pequeña cobertura de las fotografías a escala 1:300.

El producto final fue un ortofotomapa, con un tamaño de píxel de 0,01 metros, que se dividió en 12 partes.

7. EL EMPLAZAMIENTO DE DERVENI

El emplazamiento de Derveni se descubrió, a la vez que el de Asprovalta, durante la construcción de la carretera nacional de Egnatia. La fotografía se realizó en fases separadas, ya que inicialmente sólo la mitad del lugar estaba expuesto, aunque el resto se descubrió algunos días más tarde. La S.A. Egnatia, constructora de la carretera nacional, deseaba realizar un registro muy rápido del emplazamiento, con el fin de proseguir con la construcción de la carretera. El helicóptero voló al día siguiente y tomó las fotografías del emplazamiento al tiempo que se realizaba la medición de puntos de control en el EGSA87 (Datum Geodésico Nacional Griego). Unos días más tarde, durante el escaneado de las fotografías, la S.A. Egnatia pidió una segunda sesión de fotografías, debido a que se había descubierto una nueva parte del mismo emplazamiento. Se tomaron nuevas fotografías, con nuevos puntos de control, y el mapa final obtenido, a escala 1:50, fue impecable (figura 7).

8. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La experiencia es un activo caro y valiosísimo en este tipo de proyectos. Caro porque se adquiere de la manera más dura: por el método de probar y fallar. Esto se menciona en relación sobre todo con el primer proyecto. La ausencia a bordo de una cámara de video forzó una visita triple al lugar, en un trabajo que hoy día llevaría cuatro horas.

La comunicación entre el operador del helicóptero y el “navegador”, que contempla el video y acciona la cámara Rollei Metric, necesita mejorarse bastante. Guiar el movimiento del helicóptero viendo únicamente el video es difícil, y eso sin mencionar que el operador sólo puede situarse raramente sobre el punto que el “navegador” desea. Ése es el motivo principal por el que el esquema de las fotografías es casi aleatorio. En la actualidad se está trabajando en ello.

En todos los casos el programa de ordenador de los “haces aéreos” funcionó adecuadamente. Las grandes inclinaciones, de hasta 75 grados en Φ y Ω , no causaron problemas en absoluto. El principal problema es la incómoda visión del operador durante la restitución tridimensional. Un mecanismo de autonivelación para la cámara fotográfica sería bienvenido, junto con un mecanismo de regulación de la altitud de vuelo. Las variaciones de la altitud de vuelo originan discrepancias de escala, que deterioran la situación. En nuestra lista de mejoras se encuentran en siguiente lugar. La mayoría de los bloques, con una gran superposición y una geometría fuertemente convergente, exhiben unos errores cuadráticos medios inusualmente grandes en la altitud, en comparación con los errores cuadráticos medios planimétricos. Este fenómeno puede expli-

	Aspro-valta	Dilos 1 st	Larisa teatre	Larisa scene (sections and facades)
Escala de la ortofoto	1:100	1:100	1:50	1:25
Área [sq.m.]	1400	1700	5400	1250
Cámara y lente	50 mm	50 mm	50mm	50 mm and 80 mm
Puntos de control	10	30	54	321
Fotografías	48	72	144	131
Fotografías y control (horas/persona)	4/3	8/3	9/4	20/3
Escala promedia de la fotografía	1:520	1:480	1:450	1:180
Número de fotografías empleadas	8	30	79	86
Barrido (puntos/pulgada)	1800	1800	1800	1200
Barrido (días hombre)	1	2	6,5	5
Preparación de la triangulación (días hombre)	3	4	9	22
Ta: errores cuadrático medios de control en X, Y, Z	2,2 2,7 5,6	1,8 2,2 3,9	1,2 1,3 2,4	Variable < 2.0
Modelo digital del terreno manual (días hombre)	2	7	15	-
Orfos (días hombre)	1	2	10	8
Mosaicos (días hombre)	1,5	5	17	13
Restitución tridimensional (días hombre)	-	3	-	-
Retoques y preparación a la impresión (días hombre)	1,5	3	18,5	20
Tiempo total (días hombre)	10	26	76	68
Número de trazados	1	1	9	4
Tamaño del píxel	0,01	0,01	0,05	0,03

	Karla 1 st	Karla 2 nd	Derveni	Dilos 2 nd
Escala de la ortofoto	1:250	1:50	1:50	1:250
Área [sq.m.]	4500	8800	1100	5000
Cámara y lente	50 mm	50 mm	50mm	50 mm and 80 mm
Puntos de control	48	70	40	20
Fotografías	81	196	111	63
Fotografías y control (horas/persona)	9/3	16/3	16/3	8/3
Escala promedia de la fotografía	1:1300	1:300	1:500	1:1250
Número de fotografías empleadas	43	121	48	31
Barrido (puntos/pulgada)	1800	1800	1800	1800
Barrido (días hombre)	3	7	2	2
Preparación de la triangulación (días hombre)	6	11	4	3
Ta: errores cuadrático medios de control en X, Y, Z	3,3 2,8 9,0	0,9 0,8 3,1	1,2 1,3 1,3	0,9 0,8 1,4
Modelo digital del terreno manual (días hombre)	10	16	7	7
Orfos (días hombre)	5	10	3	3
Mosaicos (días hombre)	5	15	6	2
Restitución tridimensional (días hombre)	-	-	4	-
Retoques y preparación a la impresión (días hombre)	4	18	10	7
Tiempo total (días hombre)	34	79	38	25
Número de trazados	1	12	2	1
Tamaño del píxel	0,05	0,01	0,006	0,05

Tabla 1: Comparación de los proyectos. Los “días – hombre” es la carga de trabajo en cada tarea. Los trabajos de recogida del modelo digital del terreno, trazados, etc. pueden hacerse simultáneamente o en turnos, reduciendo así el tiempo de entrega. Ta: triangulación aérea.

carse si se considera el escaso *ratio* entre la base y la altitud, que conduce a una solución pobre para la estimación de las altitudes.

Otro hecho interesante es que la escala de la fotografía y la del trazado final alcanzan un *ratio* de 1:10, lo que queda fuera de la práctica en la fotografía aérea. Una ventaja muy importante del ortofotomapa es su habilidad para exponer las infraestructuras y las capas de edificios construidos durante distintas épocas.

Lo que es común en todos los casos es el hecho de que no se alcanza la precisión establecida a partir de la escala del producto final. El intentar alcanzar una precisión de 1,25 centímetros en ortofotos a 1:50 de escala es muy caro e inviable comercialmente. Los arqueólogos y los arquitectos no están familiarizados con la relación que existe entre escala y precisión y consideran, por tanto, que estos términos son independientes entre sí. Así pues, aceptan gustosos una reducción de precisión realmente grande en un producto impreso a escala de 1:50, correspondiente a unos estándares de precisión de la escala 1:100.

Si se hubiera decidido ajustarse a la regla práctica, a escala 1:25, que afirma que los puntos de control deberían tener una precisión tres veces superior a la que se espera en el producto final, hubiera implicado que los puntos de control deberían haber sido medidos con una precisión de $\pm 0,2$ centímetros; el coste de los 321 puntos de control hubiera elevado el precio más allá del presupuesto total y el cliente se hubiese inclinado por las técnicas tradicionales, que no son mejores.

No hay tampoco que olvidar los productos colaterales, tales como el modelo digital del terreno completo de toda la zona. Puede que las líneas de nivel no sean la mejor forma de representar la tercera dimensión, especialmente cuando existen elementos hechos por el hombre. Lo que los usuarios consideraron interesante, cuando se les presentó, fue la impresión roja azul de las imágenes ortorrectificadas. Esto y una representación fotográfica realista son las mejores aplicaciones de un buen modelo digital del terreno (Ioannidis y alumnos, 2000).

A raíz del proyecto de Larisa, se hizo patente que la producción de ortofotos puede que no sea más rápida ni más económica que los planos de líneas, pero constituye una mejor representación escénica para el usuario.

El tiempo necesario para procesar la película fotográfica y realizar el barrido es considerable en comparación con el empleado en todo el proyecto. La respuesta a este problema puede ser una cámara digital de alta resolución. Estas resoluciones están ahora comenzando a competir con la película fotográfica; el tiempo de transferir la imagen del CCD a la memoria impone serias pegs. Hasta que se alcance un mismo nivel de resolución, con el fin de mantener el mismo número de fotografías y de modelos, no se considera el uso de este tipo de cámaras.

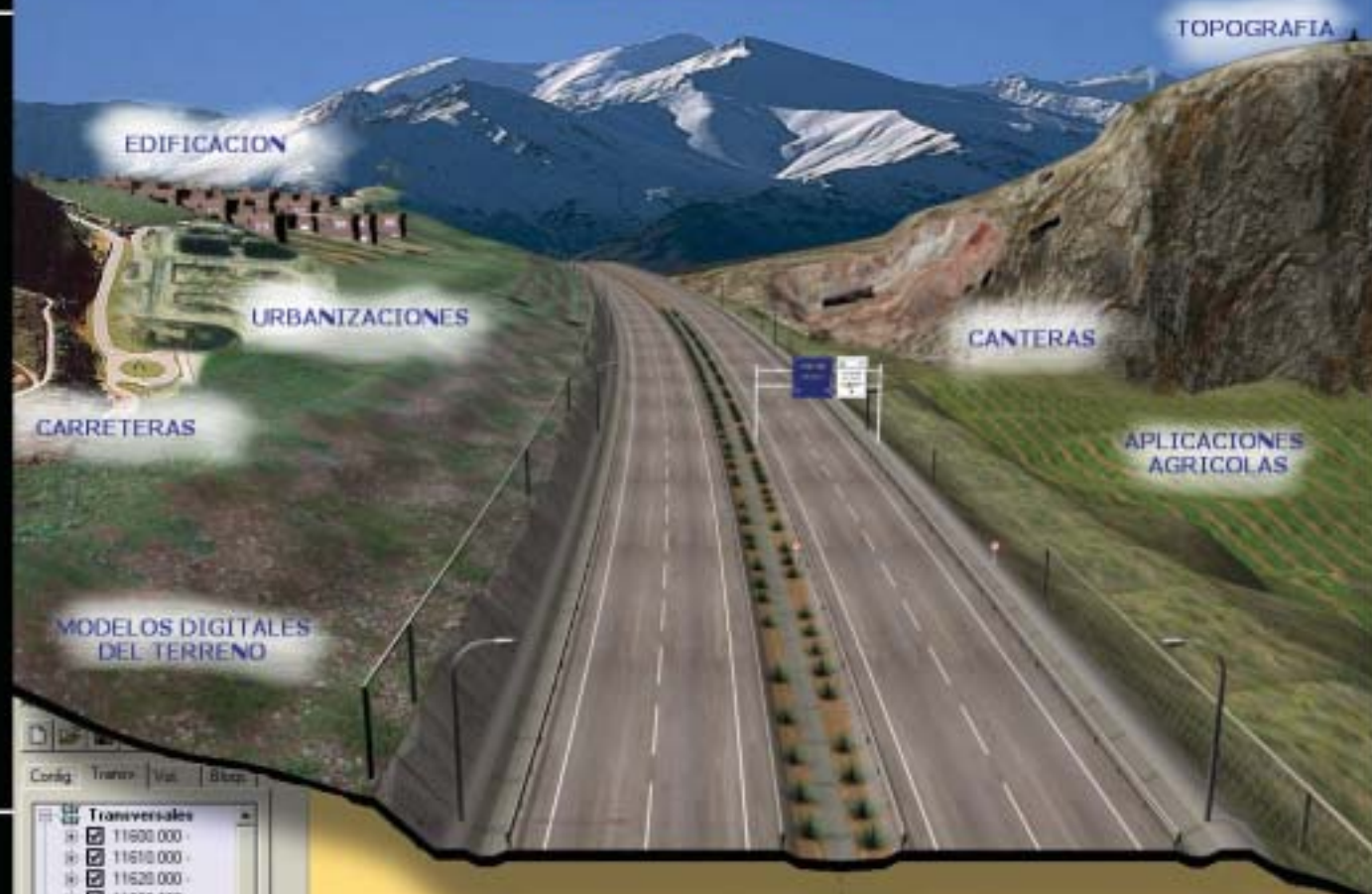
Otra ventaja del helicóptero controlado por radio es la velocidad del procedimiento fotográfico. El helicóptero puede filmar una película de 10 exposiciones en menos de 10 minutos. La plataforma más competitiva es el globo, pero es mucho más lenta. Además, necesita tres personas para su manejo, que, para posicionar al globo, tienen que pasear simultáneamente por el emplazamiento. Por otro lado, la altitud puede ajustarse mejor y el conjunto de las fotografías es similar, o incluso mejor. Con una velocidad de viento de 6 es muy probable que el globo no pueda concluir el trabajo, por lo que consideramos que el modelo de helicóptero controlado por radio es la mejor plataforma para una rápida adquisición de fotografías en estos casos.

REFERENCIAS

- Baratin, L., Bitelli, G., Unguendoli, M., Zanutta, A., 2000. *Digital Orthophoto as a tool for the restoration of monuments*. IAPRS, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam 2000. pp. 62-69.
- Dorffner, L., Kraus, K., Tschannerl, J., Altan, O., Kukur, S., Toz, G., 2000. *Hagia Sophia –Photogrammetric record of a world cultural heritage*. IAPRS, Vol. XXXIII, Part B5, WG V/5, Amsterdam 2000. pp. 172-178.
- Ioannidis, C., Potsiou, C., Soile, S., Badekas, J., 2000. *Detailed 3d representations of archaeological sites*. IAPRS, Vol. XXXIII, Part B5, WG V/5, Amsterdam 2000. pp. 642-649.
- Karras, G., E., Mavrommati, D., Madani, M., Mavrelis, G., Lymperopoulos, E., Kambourakis, A., Gesafidis, S., 1999. *Digital orthophotography in archaeology with low-altitude non-metric images*. ISPRS Vol XXII Part 5W11, Workshop "Photogrammetric measurement, object modeling and documentation in architecture and industry", Thessaloniki, Greece, 7-9 July, 1999, pp 8-11.
- Miyatsuka, Y., 1996. *Archaeological real time photogrammetric system using digital still camera*. IAPRS, Vol. XXXI, Part B5, Com. V, WG 4., Vienna 1996. pp 374-378.
- Theodoridou, S., Tokmakidis, K., Skarlatos, D., 2000. *Use of radio-controlled model helicopters in archaeology surveying and in building construction industry*. IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
- Tokmakidis, K., Skarlatos, D., *Mapping excavations and archaeological sites using close range photos*. Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium, WG V/4, Corfu, 2-6 September, 2002, Greece, pp. 459-462.
- Zischinsky, T., Dorffner, L., Rottensteiner, F., 2000. *Application of a new model helicopter system in architectural photogrammetry*. IAPRS, Vol. XXXIII, Part B5, WG V/1, Amsterdam 2000. ■

PROTOPO 6.0

DINAMISMO EN AUTOCAD



Cond. Trans. Val. Baza

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



Software Técnico de Cálculo Topográfico y Trazado Lineal de Carreteras

Vértices | Transversales |

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

DISPONIBLE PARA
AUTOCAD
2005

Programa TRES para la enseñanza de la Trigonometría Esférica

M^a Carmen Morillo y José Fábrega

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Resumen

Se presenta la metodología utilizada en el desarrollo de un programa que permite calcular todos los elementos de un triángulo esférico conociendo previamente tres elementos de dicho triángulo, así como el cálculo de la distancia esférica entre dos puntos de la esfera. Además, se incluye la dirección para la obtención de dicho programa.

Abstract

Here, we introduce the methodology used in the development of a program which allows to calculate all items of a spherical triangle, previously knowing three items of such triangle, as well as the calculation of the spherical distance between two points of the sphere. The web site to obtain this program is also included.

I. INTRODUCCIÓN

Dada la tendencia actualmente vigente en la enseñanza de intentar que el alumno asuma la responsabilidad en su proceso de formación, hay que dotarle de aquellas herramientas que le permitan el autoaprendizaje. En este sentido va orientado el trabajo presentado. El objetivo fundamental del artículo consiste en describir un programa que permite calcular los elementos de un triángulo esférico, es decir, sus tres lados y sus tres ángulos.

El desarrollo metodológico parte del conocimiento de tres elementos de un triángulo.

Los teoremas que se utilizan para la elaboración del programa son los siguientes:

- Teorema del coseno para lados:

$$\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \\ \cos b &= \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B \\ \cos c &= \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C\end{aligned}$$

Nota: **a**, **b** y **c** (minúscula) representa los lados del triángulo esférico y en mayúscula se representan los ángulos opuestos respectivos.

- Teorema del seno:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

- Teorema del coseno para ángulos:

$$\begin{aligned}\cos A &= -\cos B \cdot \cos C + \sin B \cdot \sin C \cdot \cos a \\ \cos B &= -\cos A \cdot \cos C + \sin A \cdot \sin C \cdot \cos b \\ \cos C &= -\cos A \cdot \cos B + \sin A \cdot \sin B \cdot \cos c\end{aligned}$$

- Analogías de Neper:

$$\operatorname{tg} \frac{c}{2} = \frac{\cos \frac{A+B}{2}}{\cos \frac{A-B}{2}} \cdot \operatorname{tg} \frac{a+b}{2}$$

Se trabajará con ángulos sexagesimales por ser las unidades habituales en trigonometría esférica.

También se necesita saber las condiciones matemáticas para poder construir un triángulo esférico (necesarias para que exista el triángulo), las cuales son:

- Cualquier lado o ángulo de un triángulo verifica:

$$0^\circ < a < 180^\circ; \quad 0^\circ < A < 180^\circ$$

- Cualquier lado de un triángulo esférico es menor que la suma de los otros dos y mayor que la diferencia, es decir:

$$|a - b| < c < a + b$$

- La suma de los ángulos de un triángulo esférico verifica:

$$180^\circ < A + B + C < 540^\circ$$

- La suma de los lados de un triángulo esférico verifica:
 $0^\circ < a + b + c < 360^\circ$
- En un triángulo esférico se verifica: $a = b \Leftrightarrow A = B$
- En un triángulo esférico se verifica: $a > b \Leftrightarrow A > B$

Nota: a , b y c (minúscula) representa los lados del triángulo esférico y en mayúscula se representan los ángulos opuestos respectivos.

2. CONSTRUCCIÓN TEÓRICA DEL ALGORITMO DEL PROGRAMA TRES

El programa TRES (Trigonometría – Esférica) se decidió elaborarlo en primer lugar para evitar los cálculos sistemáticos cada vez que había que proponer problemas tipo a nuestros alumnos y que estos problemas fueran lo más eficaces para su aprendizaje, ya que de antemano se podía saber si el triángulo tenía una, dos o ninguna solución. Antes de empezar la realización del programa, se buscó si había algún producto equivalente en el mercado con estas características. Al no identificar ninguno, decidimos realizarlo nosotros, pensando que podría ayudar tanto a profesores como a alumnos. A estos últimos les permite plantearse la viabilidad de los mismos, tener la solución de forma inmediata y ver el proceso teórico a seguir.

La programación de la herramienta TRES está realizada siguiendo el proceso que se emplea para resolver manualmente estos tipos de problemas.

En primer lugar se validan las casillas que el usuario tiene que rellenar, es decir, se imponen las condiciones para que los valores de estas casillas sean correctos. Si no cumplen los requisitos, se mandan mensajes para que el usuario sepa el error que ha cometido al introducir los datos. Algunos de los mensajes que recibe el usuario son los siguientes:

- “Faltan o sobran valores de entrada. Rellene tan solo tres datos”
- “Los valores introducidos deben pertenecer a tres datos”
- “Se deben introducir valores numéricos”
- “Valor fuera de rango. Debe estar comprendido entre 0° y 180° ”

El programa TRES resuelve dos tipos de problemas: la resolución de triángulos esféricos y el cálculo de la distancia esférica entre dos puntos de una esfera de radio conocido.

En primer lugar se expone el proceso para resolver triángulos esféricos, pudiéndose presentar los siguientes casos:

1. Se conoce tres lados.
2. Se conoce tres ángulos.
3. Se conoce dos lados y el ángulo comprendido.
4. Se conoce dos ángulos y el lado comprendido.

5. Se conoce dos lados y el ángulo opuesto a uno de ellos.
6. Se conoce dos ángulos y el lado opuesto a uno de ellos.

A continuación se explica el desarrollo teórico del código para cada caso:

Caso 1 – Se conoce tres lados

Se comienza aplicando la función *Comprobar triángulo* para saber si verifica las condiciones matemáticas para la construcción de un triángulo esférico con los datos propuestos. Este caso es muy fácil de resolver, pues se aplica el teorema del coseno para lados tres veces y se obtienen los ángulos que buscamos.

Caso 2 – Se conoce tres ángulos

Similar al anterior, lo único que cambia es la aplicación del teorema. En este caso se aplica el teorema del coseno para ángulos.

Caso 3 – Se conoce dos lados y el ángulo comprendido entre ellos

En este caso hay tres posibilidades (abC , bcA , acB). En primer lugar se verifica si los datos de entrada cumplen los requisitos para la construcción de un triángulo esférico. El cálculo para la resolución de este tipo de triángulo se obtiene aplicando el teorema del coseno para lados tres veces.

Caso 4 – Se conocen dos ángulos y el lado comprendido entre ellos

Igual que en el caso anterior, hay tres posibilidades (cAB , aBC , bAC). La resolución del triángulo se realiza aplicando tres veces el teorema del coseno para ángulos.

Caso 5 – Se conocen dos lados y el ángulo opuesto a uno de ellos

Hay seis posibilidades (abA , abB , bcB , bcC , acA , acC). Es posible obtener dos soluciones válidas. Para calcular dichas soluciones se aplicarán los siguientes teoremas en el orden siguiente: teorema del seno (calcula el ángulo, el cual puede estar en el primer y segundo cuadrante, éste es el motivo por el que puede haber dos soluciones), analogía de Neper (calcula el lado/s que falta/n) y el teorema del coseno para ángulos (calcula el ángulo/s que falta/n), y siempre se termina estudiando la validez de las soluciones con la función *Comprobar triángulo*.

Caso 6 – Se conocen dos ángulos y el lado opuesto a uno de ellos

Como en el caso anterior, también hay seis posibilidades (aAB , bAB ,

bBC, cBC, aAC, cAC). La resolución de este caso es análoga al Caso 5.

La segunda parte del programa TRES calcula la distancia esférica entre dos puntos de la esfera, conociendo la longitud y latitud de dichos puntos respecto al sistema de referencia dado. La programación de TRES se basa en la construcción de un triángulo cuyos vértices son el Polo Norte y los puntos dados, por lo que es fácil calcular los lados opuestos a los puntos conocidos; uno sería $90^\circ \pm$ Latitud de un punto dado (según Sur/Norte) y el otro lado $90^\circ \pm$ Latitud del otro punto (según Sur/Norte) y el ángulo **P**, ángulo que forman los meridianos de ambos puntos, se obtiene con la longitud de los dos puntos dados (Longitud de un punto \pm la Longitud del segundo, según dirección Este/Oeste). El lado que falta es precisamente la distancia buscada y se obtiene aplicando el teorema del coseno para lados.

3. OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA TRES

En la parte inferior del formulario para el *Cálculo de triángulo esférico* hay unas casillas que indican el caso del triángulo que se ha introducido, así como los teoremas que hay que aplicar para su resolución. Al pulsar sobre cualquier teorema aparecerá el enunciado de éste.

Además, se puede *Guardar*, *Abrir* e *Imprimir* cualquier caso correspondiente, tanto para el *Cálculo de triángulos esféricos* como el de *Distancia esférica*.

4. DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL FORMULARIO DEL PROGRAMA TRES

4.1. Pantalla formulario para la resolución de triángulos esféricos

Caso	Teorema
1	Teorema de los senos
2	Teorema de los senos
3	Teorema de los senos
4	Teorema de los senos
5	Teorema de los senos
6	Teorema de los senos
7	Teorema de los senos
8	Teorema de los senos
9	Teorema de los senos
10	Teorema de los senos
11	Teorema de los senos
12	Teorema de los senos
13	Teorema de los senos
14	Teorema de los senos
15	Teorema de los senos
16	Teorema de los senos
17	Teorema de los senos
18	Teorema de los senos
19	Teorema de los senos
20	Teorema de los senos
21	Teorema de los senos
22	Teorema de los senos
23	Teorema de los senos
24	Teorema de los senos
25	Teorema de los senos
26	Teorema de los senos
27	Teorema de los senos
28	Teorema de los senos
29	Teorema de los senos
30	Teorema de los senos
31	Teorema de los senos
32	Teorema de los senos
33	Teorema de los senos
34	Teorema de los senos
35	Teorema de los senos
36	Teorema de los senos
37	Teorema de los senos
38	Teorema de los senos
39	Teorema de los senos
40	Teorema de los senos
41	Teorema de los senos
42	Teorema de los senos
43	Teorema de los senos
44	Teorema de los senos
45	Teorema de los senos
46	Teorema de los senos
47	Teorema de los senos
48	Teorema de los senos
49	Teorema de los senos
50	Teorema de los senos

El manejo tanto del formulario para el cálculo de triángulos esféricos como para calcular distancias entre dos puntos de la esfera es muy intuitivo, o eso se ha pretendido.

Fundamentalmente, el formulario consta de dos zonas: la parte superior, llamada *Valores de entrada*, donde aparecen casillas que representan los lados y los ángulos de un triángulo, de las cuales hay que rellenar tres elementos del triángulo. Además, aparecen los siguientes botones:

- *Calcular* sirve para la resolución del triángulo
- *Restablecer* permite poner todas las casillas en blanco
- *Distancia* sirve para entrar en el visor *Distancia esférica*
- *Salir* permite salir del programa.

La parte inferior, llamada *Valores obtenidos*, se divide a su vez en *Solución 1* y *Solución 2*, apareciendo unas casillas en las que es imposible que el usuario introduzca datos, ya que son resultados de la resolución del triángulo, en el caso de que tenga una solución o dos soluciones el problema.

También se pueden observar los botones siguientes:

- *Guardar*, por si se quiere archivar la resolución de algún triángulo realizado
- *Abrir*, para recuperar el archivo que se ha guardado anteriormente
- *Imprimir*, para imprimir la resolución de algún triángulo realizado.

4.2. Descripción del formulario *Distancia esférica*

La pantalla contiene dos zonas de entrada de datos para dar las coordenadas de los puntos y es donde el usuario tiene que escribir la longitud y latitud de ambos puntos. Además, se tiene que marcar su orientación en sentido de su longitud y de su latitud en ambos puntos. También el usuario debe escribir el radio de la esfera de referencia.



Explore a través de las capas. Y capas. Y capas. Y más capas. Las soluciones de Autodesk para Cartografía y GIS.

Idea:

Conecta CAD y GIS desde diferentes fuentes de datos para poder tomar decisiones, mejorar el servicio al cliente y ser más eficiente.



Realizada:

Las soluciones de Cartografía y GIS de Autodesk ofrecen herramientas precisas e informativas para aprovechar al máximo sus datos geoespaciales. La capacidad para crear, gestionar, y compartir información con otros, facilita las tomas de decisiones y mejora la eficiencia operacional. Los productos y las soluciones de Autodesk permiten conseguir lo mejor de sus datos desde la reducción de errores en cartografía hasta la reducción de costes. Para más información, visite nuestra página web: www.autodesk.es/map.

Próximamente tendremos unos seminarios gratuitos sobre Map 3D, para más información, llame al 902 12 10 38 o visite nuestra página web: www.autodesk.es/eventos.

Los botones que dispone esta pantalla son los siguientes:

- *Calcular*: Al pulsarlo calcula la distancia entre los dos puntos en la esfera de referencia que se ha introducido
- *Restablecer*: Pone todas las casillas en blanco
- *Ocultar*: Pasa a la pantalla *Cálculo de triángulos*
- *Guardar*: Por si se quiere archivar la resolución de la distancia esférica de dos puntos
- *Abrir*: Para recuperar el archivo que se ha guardado anteriormente
- *Imprimir*: Para imprimir la resolución de la distancia esférica entre dos puntos que se haya realizado.

5. CONCLUSIONES

Se ha diseñado una herramienta cuyo uso es muy intuitivo y que está orientada fundamentalmente al autoaprendizaje de los alumnos, ya que mediante este programa se pueden generar, de forma rápida y sencilla, todo tipo de problemas-solución a elección del usuario.

El TRES se utiliza y puede ser utilizado, indistintamente, para el cálculo y para la generación de una amplia y variada gama de ejercicios para desarrollar en las clases prácticas en la asignatura de Matemáticas de primer curso de ingeniería.

Se puede obtener gratuitamente este programa en la siguiente dirección: <http://nivel.topografia.upm.es/~mates/software>

6. APÉNDICE

El lenguaje utilizado para la programación del programa ha sido el Visual Basic 6.0. A continuación se muestra una parte del código, correspondiente a la resolución de un triángulo en el que se conocen sus tres lados (obsérvese que correspondería al caso 1).

Case "abc"

```

entrada(0) = ((txt_valor(0) * 3600 + txt_valor(1) * 60 + txt_valor(2) * pi) / 648000
entrada(1) = ((txt_valor(3) * 3600 + txt_valor(4) * 60 + txt_valor(5) * pi) / 648000
entrada(2) = ((txt_valor(6) * 3600 + txt_valor(7) * 60 + txt_valor(8) * pi) / 648000

```

```

txt_solucion(4).Text = radianes_grados(Th_coseno_lados(entrada(1), entrada(0), entrada(2)))
txt_solucion(3).Text = radianes_grados(Th_coseno_lados(entrada(0), entrada(1), entrada(2)))
txt_solucion(5).Text = radianes_grados(Th_coseno_lados(entrada(2), entrada(0), entrada(1)))
txt_solucion(0).Text = radianes_grados(entrada(0))
txt_solucion(1).Text = radianes_grados(entrada(1))
txt_solucion(2).Text = radianes_grados(entrada(2))

```

```

If Not comprobar(grados_radianes(txt_solucion(3)), grados_radianes(txt_solucion(4)), grados_radianes(txt_solucion(5)),

```

```

grados_radianes(txt_solucion(0)), grados_radianes(txt_solucion(1)),
grados_radianes(txt_solucion(2))) Then
For contador = 0 To 5
txt_solucion(contador).Text = ""
Next contador
MsgBox "El triángulo no es posible"
End If

```

Explicación de la notación del código

txt_valor (i) : datos de entrada en sexagesimales.
 entrada(i): variable pasa los datos de entrada a radianes.
 txt_solucion: datos de salida en sexagesimales.

Las funciones utilizadas en esta parte del código son las siguientes:

Teorema del coseno para lados:

```

Function Th_coseno_lados(ByVal lado_a, lado_b, lado_c As Double)
As Double
cos_ang = (Cos(lado_a) - (Cos(lado_b) * Cos(lado_c))) / (Sin(lado_b) * Sin(lado_c))
Th_coseno_lados = Atn(-(cos_ang) / Sqr(-cos_ang * cos_ang + 1)) + 2 * Atn(1)
End sub

```

Función que permite pasar de radianes a grados:

```

Function radianes_grados(ByVal radianes As Double) As String
Dim grados, minutos As Integer
Dim segundos As Double
Dim angulo As Double
angulo = Round(radianes * 180 / pi, 6)
grados = Int(angulo)
angulo = (angulo - grados) * 60
minutos = Int(angulo)
angulo = (angulo - minutos) * 60
segundos = Round(angulo, 2)

radianes_grados = CStr(grados) + "º " + CStr(minutos) + "' " + CStr(segundos) + """"
End Function

```

Equivalente sería la función que permite pasar de grados a radianes.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Unidad Docente de Matemáticas (2003): "Apuntes de Trigonometría esférica". Escuela de Topografía de Madrid.
- Ayres, F. (1980): "Trigonometría Plana y Esférica". SCHAUUM.
- Vila, A.: "Elementos de Trigonometría Esférica". Universidad Politécnica de Cataluña.
- García Ardura, M.: "Ejercicios y problemas de Trigonometría rectilínea y esférica". Universidad de Cádiz. ■

Utilización de un Sistema de Barrido por Láser en estructuras tecno-hidráulicas

Alojz Kopacik

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BRATISLAVA)

Thomas Wunderlich

DEPARTAMENTO DE GEODESIA (UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MUNICH)

I. INTRODUCCION

El río Danubio es la frontera natural entre Hungría y Eslovaquia. En el año 1970 se diseñó el nuevo sistema tecno-hidráulico, con estructuras construidas en el territorio de ambos países. Como consecuencia de los resultados negativos de las conversaciones entre ambos países, sólo se construyó el sistema en la parte eslovaca. El sistema tecno-hidráulico existente de Gabčíkovo consiste en múltiples estructuras situadas a lo largo de 40 kilómetros de la orilla del río Danubio.

Gracias a la cooperación entre el Departamento de Geodesia de la Universidad Técnica de Munich y el Departamento de Topografía de la Universidad Técnica de Bratislava, se efectuó la medición de unas cuantas estructuras escogidas del sistema tecno-hidráulico de Gabčíkovo. La finalidad de estas mediciones, relacionadas con los aspectos más importantes del proyecto internacional *Aplicación de los sistemas terrestres de barrido por láser en la industria* (Kopacik y Wunderlich, 2003), es determinar los requisitos para el uso de sistemas terrestres de barrido por láser (SLT) en entornos industriales y, en especial, en los entornos de las estructuras tecno-hidráulicas.

2. EL SISTEMA TECNO-HIDRÁULICO DE GABČIKOVO

Las finalidades principales del sistema tecno-hidráulico de Gabčíkovo son: Controlar las crecidas y proteger de inundaciones, explotar el potencial hidrológico del Danubio y hacer posible la operación intensiva de la planta hidroeléctrica de Gabčíkovo. Otra cuestión importante es mejorar las condiciones de la navegación entre Bratislava y Budapest, despejándola de obstáculos. El resultado de las susodichas actividades es mejorar y estabilizar el régimen de la gestión hidrológica del Danubio en los territorios adyacentes.

El sistema tecno-hidráulico de Gabčíkovo consta de dos componentes principales: la planta hidroeléctrica de Gabčíkovo y la planta hidroeléctrica de Cunovo, que constituyen un sistema unificado e inseparable de operación (figura 1). El sistema consiste en un embalse, formado por presas periféricas en sus orillas y con canales de desagüe paralelos. A la izquierda del río, el embalse conduce a un canal de conducción de 25 kilómetros de longitud. La toma en cabecera del canal ha sido creada mediante presas bilaterales con el fondo recubierto de asfalto, unido todo ello a un sellado plastificado del fondo situado sobre el lecho. La planta hidroeléctrica de Gabčíkovo se encuentra trascurridos 17 kilómetros de canal y dispone de dos esclusas de navegación.

La otra parte del sistema, la de Cunovo, consiste en una presa divisoria longitudinal, un canal de paso y un rebosadero central, una esclusa de navegación auxiliar, la planta hidroeléctrica, el rebosadero de inundación y la estructura de vertido al río Mosoni Danubio. El papel principal del complejo de Cunovo consiste en reducir el área de embalse en la parte que alcanza al territorio de Hungría, reemplazar la función del rebosadero diseñado en Dunakiliti (que debía haberse construido en terri-



Figura 1. Río Danubio

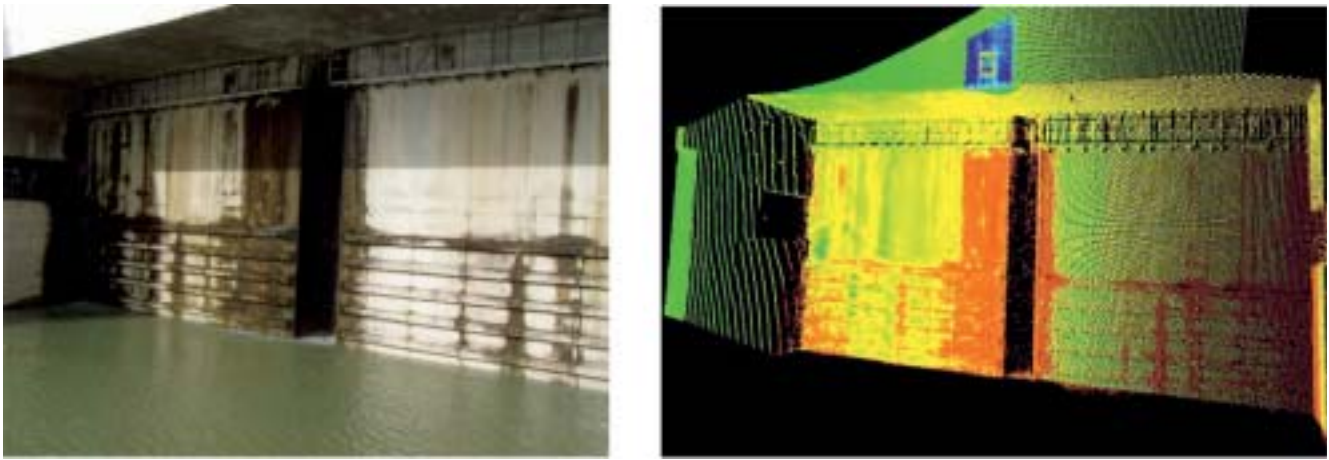


Figura 2 Fotografía y nube de puntos de las compuertas

rio húngaro) y permitir la afluencia planificada de las aguas del Danubio hacia el canal de paso.

3. APLICACIÓN DE UN SISTEMA TERRESTRE DE BARRIDO POR LÁSER EN GABCIKOVO

Las mediciones en el sistema de Gabčíkovo se planificaron y efectuaron de acuerdo con el mencionado proyecto internacional. El escáner de láser Leica CyraX 2500 del Departamento de Geodesia de la Universidad Técnica de Munich se empleó en estas mediciones. Las estructuras a medir se escogieron tras una detallada discusión y una visita del personal a dichas estructuras, con la finalidad de hacer acopio de diferentes materias y condiciones para las mediciones y para el proceso de datos.

Se midieron tres estructuras diferentes: Las compuertas de las esclusas de navegación en Gabčíkovo, la turbina de la planta hidroeléctrica de Cunovo y la grúa de la sala de máquinas principal de la planta hidroeléctrica de Gabčíkovo.

3.1. Medición de las compuertas de las esclusas de navegación

Las compuertas, situadas en la parte inferior de las esclusas de navegación, tienen forma de paneles (figura 2). Constan de dos partes, que se fijan sobre dos ejes posicionados en la línea vertical. Las dimensiones de los paneles son 18 metros x 22 metros x 2 metros y se soldaron a partir de planchas de acero de un grosor de 200 milímetros. La deformación máxima es de 40 milímetros y se presenta en la parte media de las compuertas, cuando la altura de agua en la esclusa de navegación es de 25 metros.

El programa de mediciones consistió en:

- Medición de la forma de las compuertas
- Determinación de las deformaciones de las compuertas (medición estática) con diferentes niveles de agua
- Medición de las deformaciones de las compuertas (medición dinámica) con la esclusa bajo operación.

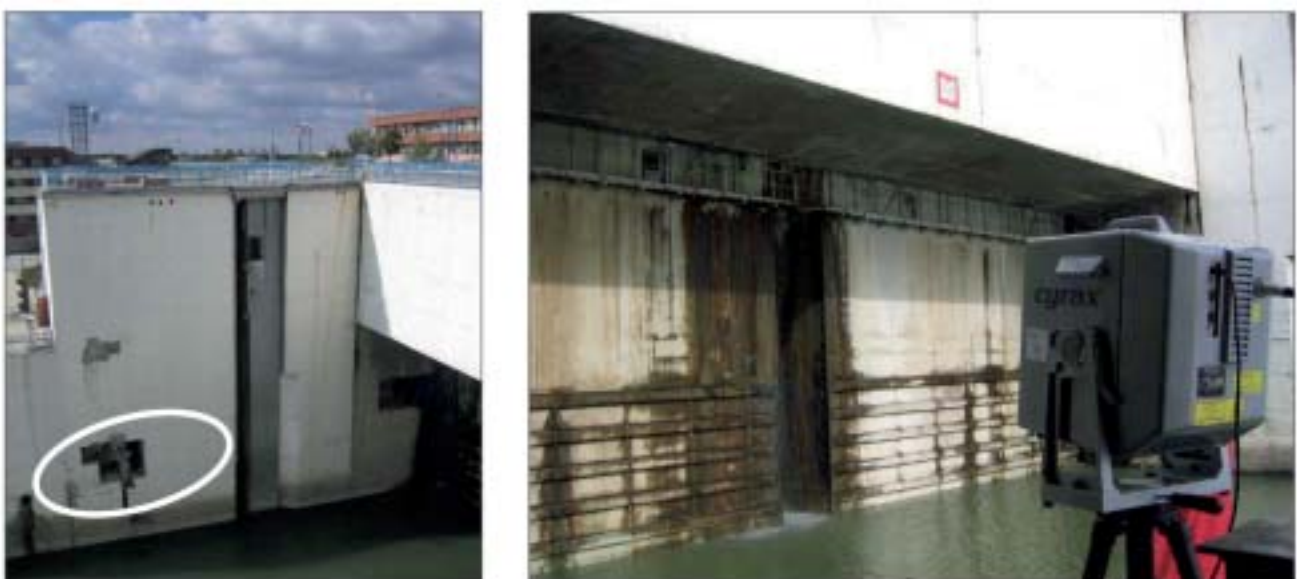


Figura 3. Estación de SLT durante la medición de las compuertas

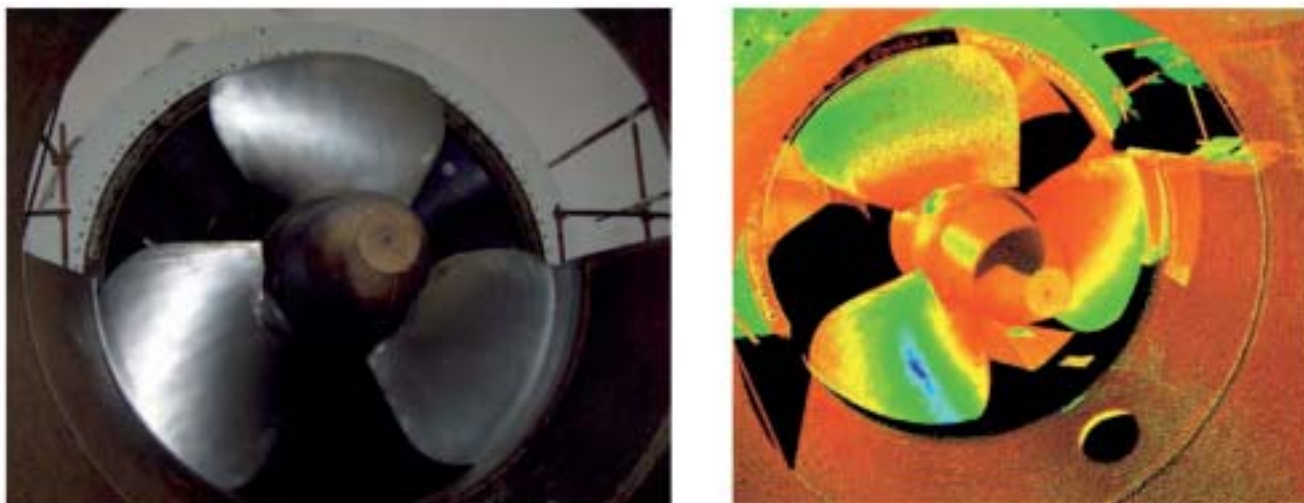


Figura 4: Fotografía y nube de puntos de la turbina

Durante la medición de la forma de las compuertas, el SLT se hallaba bajo unas condiciones de medición típicas.

El color y el material de las compuertas es también el normal, y sólo las partes afectadas por las inundaciones generan algunos problemas. Esto causa un pequeño incremento en la precisión de las mediciones y unos cambios de color en la superficie de las compuertas (partes coloreadas en rojo de la nube de puntos de la figura 2).

Para la determinación de la deformación de las compuertas se utilizó una estación total Leica TCI800 en paralelo con el escáner de láser Leica Cyrax 2500. Ambos instrumentos se estacionaron fuera de la esclusa, en unas ventanas existentes en las paredes de cemento (figura 3). Las mediciones se hicieron con los siguientes niveles de agua sobre la esclusa: 0,0 m, 4,4 m, 9,4 m, 13,0 m y 19,3 m sobre el nivel del agua fuera de la esclusa.

Empleando el SLT, el tiempo de medición fue de 150 segundos, con una

densidad de puntos de 100 milímetros x 100 milímetros. El control de la totalidad de la medición de la superficie medida con SLT se realizó mediante la medición de 6 puntos, situados sobre las dos secciones horizontales. Las diferencias entre las deformaciones de las mediciones realizadas con el escáner de láser Leica Cyrax 2500 y con la estación total Leica TCI800 son inferiores a los 3,0 milímetros.

Una nueva tarea para el sistema terrestre de barrido por láser (SLT) fue la determinación de las deformaciones dinámicas. Si la esclusa está en funcionamiento el nivel del agua varía desde los 0,0 metros a los 19,4 metros en unos 20 minutos. En esta tarea se empleó una densidad de puntos de 80 milímetros x 80 milímetros y un proceso continuo de mediciones (Schafer, 2004). Para minimizar el tiempo necesario para un ciclo de mediciones se escogió la parte central de las esclusas (una trayectoria vertical de aproximadamente 2 metros). El tiempo de medición fue de 30 segundos/ciclo. La precisión de la medición cíclica (dinámica) podemos decir que fue 15 mm.

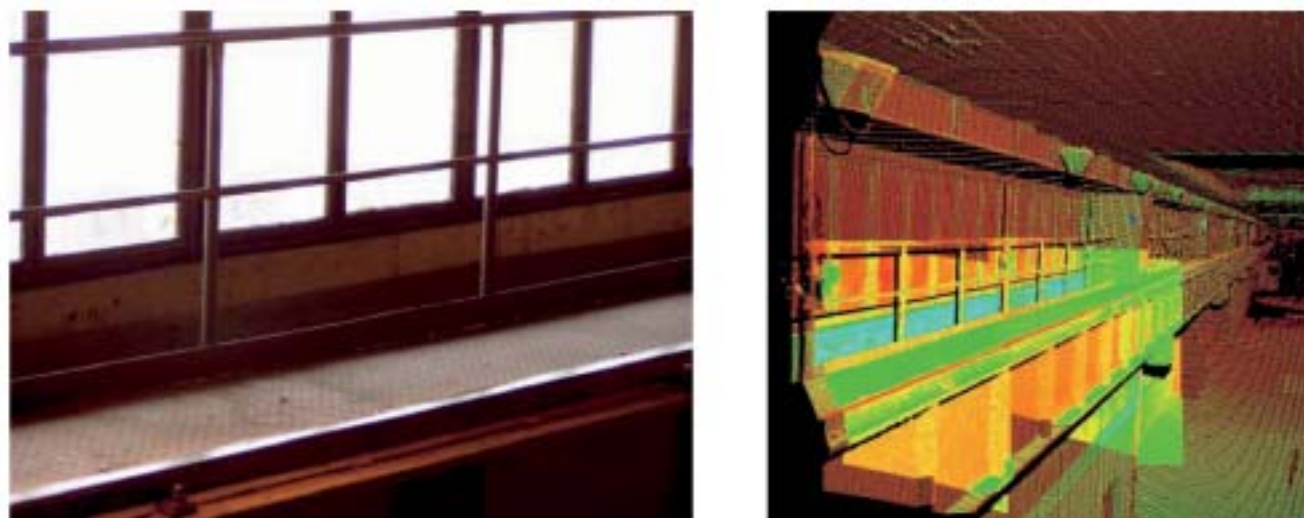


Figura 5: Fotografía y barrido particular de un rail de la grúa

3.2. Medición de la turbina en Cunovo

La medición de la turbina en Cunovo se efectuó durante su reparación. El hueco horizontal cilíndrico donde se aloja la turbina estaba abierto y esto permitió la medición desde distintas estaciones. El diámetro de la turbina es de 3,708 metros y el hueco del alojamiento de la turbina es de 3,710 metros. Para el proceso de los datos hubo que utilizar procedimientos que generaran una superficie con una curvatura constantemente variable (b-splines, etc.). Para la visualización y para el proceso de datos se necesita emplear un software adicional.

Las mediciones con el sistema terrestre de barrido por láser (SLT) se efectuaron desde tres estaciones. Las nubes de puntos de los distintos barridos se montaron en conjunto, empleando los bordes del hueco de la turbina (figura 4). Se empleó una densidad de puntos de 25 milímetros x 25 milímetros, con un tiempo de barrido de 120 segundos/barrido.

3.3. Mediciones de la grúa

En la grúa de la sala de máquinas principal se encuentran 8 turbinas de Kaplan, cada una de una capacidad de 90 MW. Las turbinas, instaladas verticalmente, tienen un diámetro de 9,0 metros. La grúa, instalada sobre un puente de una longitud de 300 metros, se sitúa sobre pilares de acero y a 6,0 metros sobre el suelo de la sala de máquinas y se desplaza sobre unos raíles de 17,8 metros. Se decidió hacer las mediciones sobre los primeros 78,0 metros de longitud. Después de unos barridos iniciales de todo el conjunto, se realizaron barridos más específicos. El equipo de SLT se situó sobre las pasarelas de servicio de la grúa que hay a ambos lados de los raíles. Por tanto, se realizaron dos barridos completos de todo el conjunto, con diferentes densidades según las áreas especificadas. Para realizar estos barridos específicos (figura 5), el equipo de SLT se instaló sobre el puente de la grúa y, desde allí, se posicionó en las secciones seleccionadas de la grúa. Se escogió una densidad de puntos de 25 milímetros x 25 milímetros, con un tiempo de barrido de 60 segundos/barrido.

El marco geométrico del conjunto se definió mediante una estructura de puntos, señalizados sobre los pilares de acero. Estos puntos se midieron con la estación total Leica TC1800 desde dos estaciones, que se escogieron sobre la parte estable de la estructura de la grúa. La precisión de estos puntos es de 1,5 milímetros. De acuerdo con los primeros resultados, la precisión de la posición de los raíles se sitúa entre los dos y los tres milímetros.

4. CONCLUSIONES

El SLT representa una tecnología moderna que aporta una gran densidad de puntos medidos, una alta eficacia y una gran precisión. La com-

binación en el SLT de los avances en los métodos clásicos polares y fotogramétricos, permite que el topógrafo aplique nuevos principios de operaciones en sus trabajos. Todo el proceso automatizado de medición se opera, en principio, mediante la determinación de un pequeño número de parámetros (densidad de puntos, volumen de la sección a medir, etc.). Los resultados alcanzados durante los proyectos mencionados y descritos en este artículo, permiten formalizar las siguientes conclusiones:

- El uso del SLT es aceptable en el entorno de las estructuras tecno-hidráulicas.
- La aplicación del SLT para la medición de deformaciones en las puertas de las esclusas de navegación (y en las estructuras de esclusas en general) es aconsejable y permite además la medición de las deformaciones dinámicas.
- El empleo del SLT para la medición en grúas fue probado con buenos resultados y habría que discutir la metodología a emplear, según el puente de la grúa se encuentre en distintas posiciones a lo largo de la medición (de acuerdo con los requisitos de la normativa existente, el puente de la grúa debería de estar en la posición de parada).
- La aplicación del SLT para la determinación de la forma (geometría) de la turbina es muy efectiva.

Las mediciones que se han presentado en este artículo han sido respaldadas por el proyecto de investigación número I/8330/01 de la Agencia de Concesiones de Eslovaquia. La cooperación del Departamento de Geodesia de la Universidad Técnica de Munich y del Departamento de Topografía de la Universidad Técnica de Bratislava estuvo respaldado por el proyecto de la DAAD número 7/2002 y por el Ministerio de Educación de Eslovaquia.

REFERENCIAS

- Kopáčik, A., Wunderlich, A.Th., 2003: *Application of TLS in industry*. International project sponsored by DAAD (Germany) and the Ministry of Education of Slovakia.
- Schäfer, Th., 2004: *Deformation measurement of lock gates in Gabčíkovo*. Optical 3D Measurement Technology – Photogrammetry – Laser Scanning. Germany, Oldenburg, January 2004, (German).
- Kašpar, M. et al, 2003: *Laser scanning systems in civil engineering*. Czech Republic, Hradec Králové, Vega, 2003, (Czech).
- <http://www.leica.com/>
- <http://www.cyra.com/> ■

El Efecto de Soporte de Información en Imágenes Digitales Fotogramétricas

Jorge Delgado García, F. Javier Cardenal Escarcena
DPTO. INGENIERIA CARTOGRAFICA, GEODÉSICA Y FOTOGRAMETRIA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR (UNIVERSIDAD DE JAÉN)

Alfonso Gómez Molina
DPTO. INGENIERIA CARTOGRAFICA, GEODÉSICA Y FOTOGRAMETRIA
E.T.S. DE INGENIEROS AGRONOMOS (UPM)

Resumen

En este artículo se analiza la influencia del soporte de la información en las imágenes digitales fotogramétricas (tamaño de píxel). El análisis se centra en las características estadísticas de las imágenes y los cambios en dichas características conforme se modifica el tamaño del píxel. Dicho análisis se plantea desde la perspectiva de la Teoría de las Variables Regionalizadas, introduciendo conceptos básicos, tales como la varianza de dispersión y de extensión, que permiten la estimación a priori de los estadísticos y características de variabilidad espacial que tendrán las imágenes de la pirámide a partir del análisis de la imagen original. Las aplicaciones fundamentales del método propuesto se centran en aquellos trabajos fotogramétricos que trabajan en procesos iterativos mediante imágenes piramidales (como, por ejemplo, la identificación automática de puntos homólogos), los procesos de ajuste radiométrico (dodging) o los propios procesos de clasificación de las imágenes.

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de imágenes digitales se ha convertido en una práctica común dentro del ámbito cartográfico, en particular en el mundo de la Fotogrametría, en los últimos años. Dichas imágenes digitales representan una determinada característica del terreno, en la mayoría de los casos por su reflectividad capturada en película fotográfica y posteriormente escaneada o bien directamente utilizando sensores digitales. El tratamiento de este tipo de información plantea una serie de reflexiones previas, una de las cuales, la relativa al soporte de información, se analiza en este trabajo.

El soporte de información se define como el volumen n-dimensional en el que se define una determinada variable (Olea, 1991). Así, una determinada variable o característica del terreno podrá venir caracterizada a partir de observaciones de tipo puntual (por ejemplo, los puntos medidos con un instrumento topográfico en un levantamiento taquimétrico), de tipo superficial (por ejemplo, la medida de reflectividad proporcionada por una imagen digital sobre una determinada superficie) o de volumen (por ejemplo, el contenido en contaminante de un determinado volumen de aire o agua). Este efecto de soporte debe ser considerado en las diferentes operaciones que se efectúen con la información, así como en las conclusiones que de ellas se deriven.

El efecto del soporte es bien conocido en diversas disciplinas de las Ciencias de la Tierra, en especial en Minería, donde los resultados de una explotación minera dependen, en buena medida, del soporte elegido y en establecer de forma correcta las relaciones entre la información de entrada, que se utiliza para la evaluación de la mina (habitualmente a partir de sondeos –observaciones puntuales–), y la información de salida, que se utiliza para la explotación (habitualmente a partir de bloques de explotación –observaciones con volumen–), en base a la cual se decide sobre la rentabilidad o no de su tratamiento. Así, evidentemente no se obtienen los mismos resultados si la decisión de si una roca es considerada como mineral o como estéril se efectúa a nivel de pequeñas muestras –observación asimilable a puntual– o en grandes bloques, en los que los contenidos extremos forzosamente aparecerán diluidos.

Este problema también se puede trasladar al ámbito de la Fotogrametría y la Teledetección, en donde a menudo se efectúan operaciones, como, por ejemplo, el cálculo de estadísticos para el ajuste radiométrico (dodging) de las imágenes, que se calculan sobre niveles de resolución reducida (pirámides de imágenes) y cuyos resultados posteriormente se extrapolan sin tener ninguna consideración relativa al soporte de la información, o el remuestreo de las imágenes en Teledetección, frecuente en operaciones de álgebra o de fusión de imágenes.

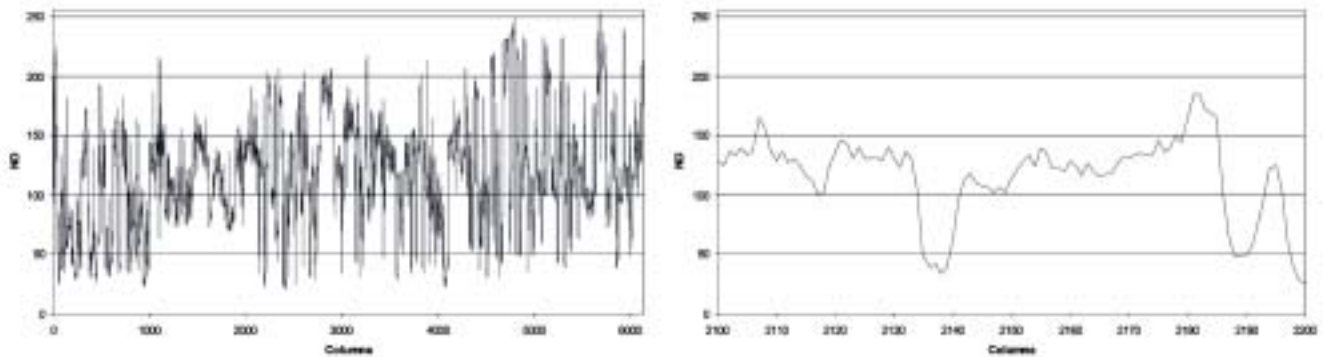


Figura 1. Comportamiento aleatorio y estructural en una imagen digital

El problema del efecto del soporte de información encuentra un adecuado tratamiento en el marco conceptual de la Teoría de Variables Regionalizadas (Matheron, 1965), base de la Geoestadística, considerada como el tratamiento de los fenómenos (o variables) que se distribuyen en el espacio (y en el tiempo).

2. METODOLOGÍA

2.1. La Teoría de Variables Regionalizadas. Características de las Variables Regionalizadas.

Desde el punto geoestadístico, una variable regionalizada es una función $Z(x)$ que proporciona el valor de una determinada característica en un dominio de observación, perteneciente a un espacio de dimensiones R^1 , R^2 , o R^3 . La variable regionalizada presenta dos aspectos fundamentales que, aunque en principio pueden aparecer contradictorios, son el reflejo de una realidad física. Por un lado, presentan un carácter aleatorio, que caracteriza el aspecto de la irregularidad y de las variaciones imprevisibles que presenta la variable de un punto a otro y que apunta a la noción de variable aleatoria sin suponer la independencia entre las variables y, por otro, un carácter estructural, que es inherente a cada fenómeno y que se manifiesta por el grado de continuidad de la regionalización. Estos dos caracteres pueden ser puestos de manifiesto observando un perfil trazado en una imagen digital, en lo que en principio parece un comportamiento aleatorio pero que observado a mayor escala de detalle tiene una cierta continuidad entre los píxeles (figura 1).

Otras características fundamentales de las variables regionalizadas son las siguientes:

- El soporte:* La variable regionalizada está definida en un dominio o región del espacio y del tiempo, denominado campo geométrico, de forma que si se modifica dicho tamaño del soporte se obtiene una regionalización diferente, relacionada directamente con los parámetros estadísticos de la variable original.
- La continuidad:* Esta característica se refiere a la variación espacial de la variable regionalizada. A pesar de las fluctuaciones que puede experimentar la variable, ésta presenta un carácter general de continui-

dad en el espacio. Así, se dice que una variable es continua si en el límite se obtiene que:

$$\lim_{x \rightarrow x_0} E\{Z(x) - Z(x_0)\} = 0$$

- Las anisotropías:* La variable regionalizada puede presentar diferentes comportamientos en las diferentes direcciones del espacio, información que deberá ser tenida en cuenta en las operaciones que se desarrollen con las mismas.

De estas tres características, este trabajo se centrará en la primera, analizando la influencia del soporte de la información en las imágenes digitales y las operaciones necesarias para poder inferir los estadísticos de una determinada imagen con un tamaño de píxel mayor a partir de una imagen original de mayor detalle (menor tamaño de píxel).

2.2. El cambio de soporte

La influencia del tamaño del soporte es bien conocida en las operaciones de tratamiento de imágenes digitales. Así, es conocido que cuando se realiza una pirámide de imágenes mediante el método del valor medio (el píxel del nivel superior tiene un nivel digital igual a la media de los cuatro píxeles correspondientes del nivel inferior) los valores extremos (tanto máximos como mínimos) tienden a desaparecer por la operación de la media aritmética. Esto implica una reducción de la varianza, ya que los valores tienden a acercarse a la media, dando como resultado un histograma con menor rango y más apuntado y que el valor de la media se conserva, observándose en muchos casos una tendencia a la mayor simetría del histograma obtenido. En la figura 2 se muestra un ejemplo de este efecto sobre una porción de una imagen digital fotogramétrica de tamaño 1024x1024 al ser agrupada a tamaño 64x64, mientras que en la figura 3 se muestra esta misma aplicación sobre una imagen digital compuesta por números aleatorios.

En dichas figuras se puede observar el efecto que tiene la modificación del tamaño del píxel tanto en los histogramas como en los estadísticos básicos, tanto en una imagen real como en una imagen generada mediante un proceso aleatorio. La primera conclusión que se puede extraer es el comportamiento del valor medio de los datos en ambos casos y

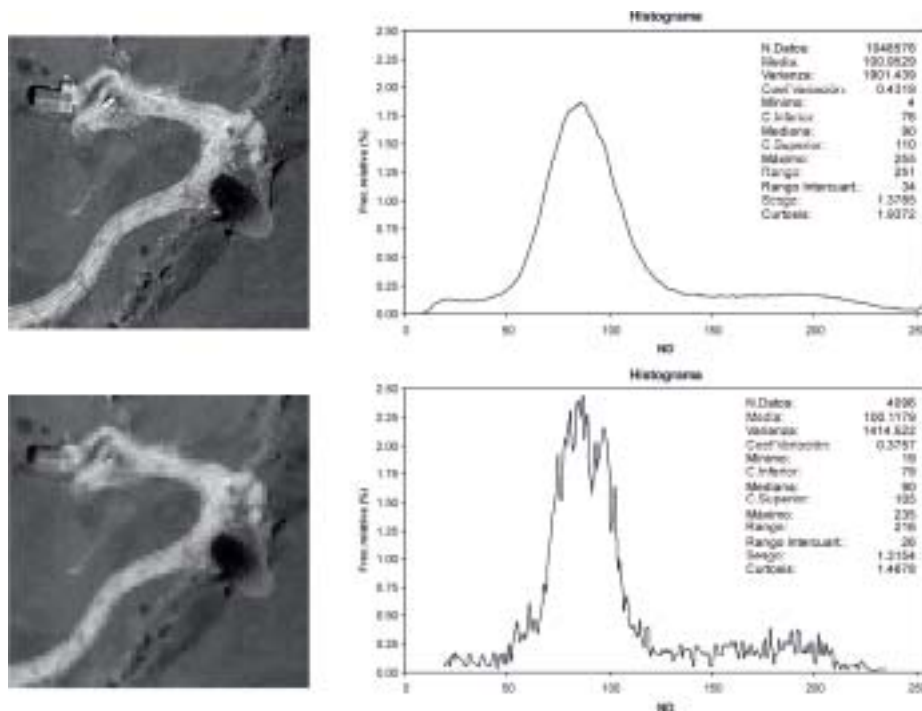


Figura 2. Sup.: Imagen fotogramétrica digital de tamaño 1024x1024 e histograma y estadísticos correspondientes; Inf.: Imagen remuestreada a tamaño 64x64 e histograma y estadísticos correspondientes.

una tendencia a la reducción de la varianza (eliminación de valores extremos que se puede detectar mediante una reducción del rango y una reducción del sesgo). En la Estadística clásica se indica que la varianza en la imagen de mayor tamaño de píxel será inversamente proporcional a su área, por lo que los valores de una distribución tienden rápidamente a ser simétricos, lo que se cumple en la imagen de la figura 3, en la que un aumento del tamaño de píxel en 16 veces implica una reducción de la varianza en la misma magnitud, pero no en la figura 2, en la que la reducción es tan sólo de un 13.74%. La explicación es muy simple, el efecto de la reducción de la varianza (efecto del soporte) disminuye cuanto más continua (mayor correlación espacial) presente la imagen, teniendo un efecto menos acusado en la modificación de la forma del histograma y en sus estadísticos básicos.

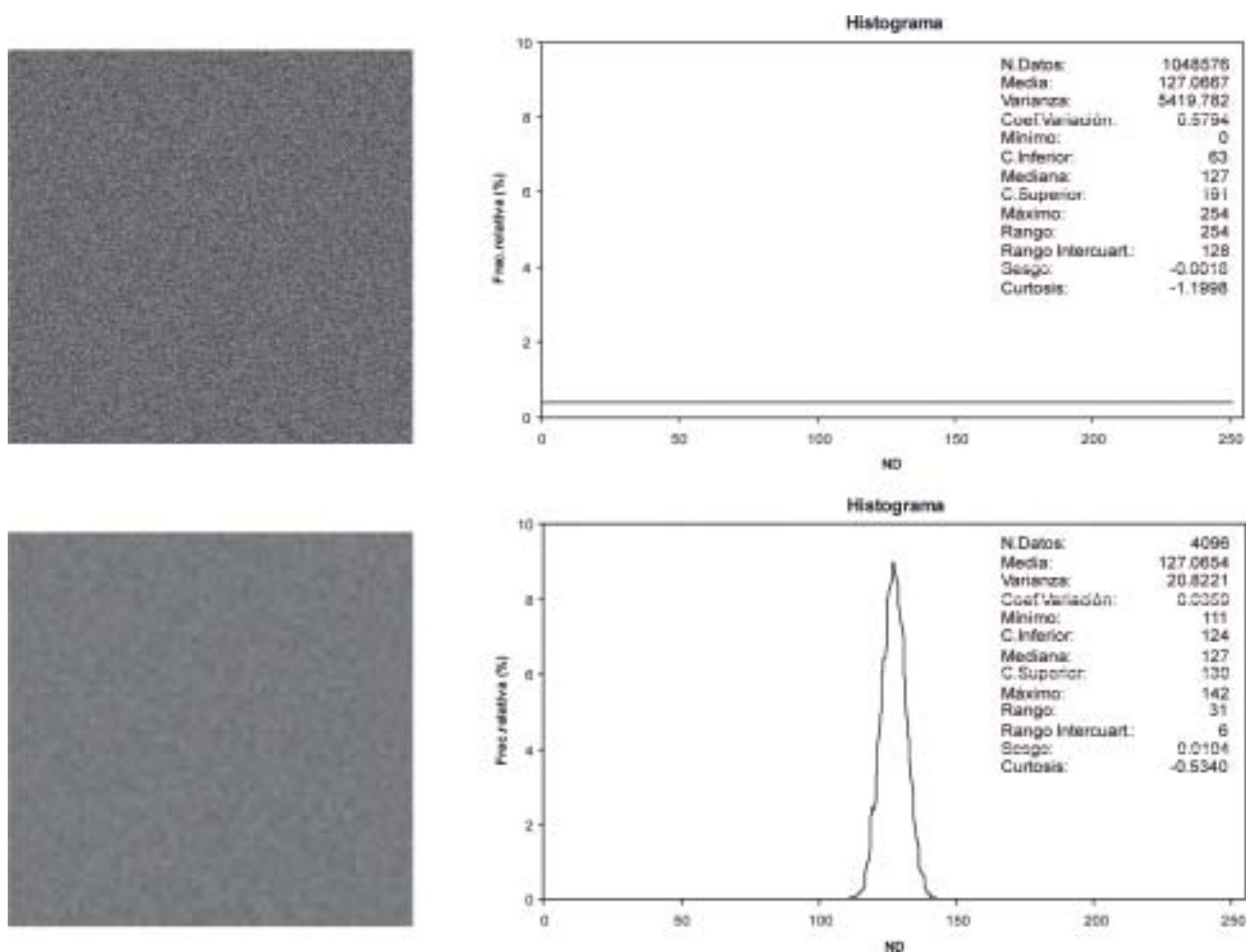


Figura 3.- Sup.: Imagen aleatoria de tamaño 1024x1024 e histograma y estadísticos correspondientes; Inf.: Imagen remuestreada a tamaño 64x64 e histograma y estadísticos correspondientes.

Existen diversos procedimientos matemáticos para realizar la transformación de las funciones de distribución entre la imagen original y la imagen remuestreada (agrupada). Todos los procedimientos se basan en dos operaciones básicas:

- mantienen la media de la distribución;
- reducen la varianza utilizando un factor que se denomina factor de ajuste de la varianza (f).

Las diferencias entre los métodos radican en el grado de simetría que introducen a las distribuciones transformadas. El efecto del soporte en la simetría del histograma será función de la entropía propia de la imagen (fundamentalmente de la conectividad entre los valores extremos), así, si los valores extremos no están próximos (imagen poco continua) la simetría debe crecer en el caso contrario (valores extremos próximos –imagen continua–) es preferible utilizar métodos que no introduzcan una simetría excesiva en la distribución.

El procedimiento de transformación se establece utilizando los valores de proporción acumulada de las funciones de distribución (histogramas acumulados) de las imágenes. Así, a partir de una determinada imagen digital es posible obtener su histograma y a partir del mismo obtener la probabilidad acumulada, es decir, la probabilidad $p(v_o)$ de que un valor sea inferior (o superior) a un determinado valor de corte v_o . La transformación consiste en establecer una relación entre el cuantil de la distribución original q y el cuantil de la distribución transformada q' , dicha relación es conocida como curva de transformación $q-q'$.

Por tanto, para el cálculo de la transformación es necesario disponer de un procedimiento que permita efectuar los cálculos de los cuantiles de la nueva distribución (q'), para lo cual se suelen utilizar dos métodos: el método de la corrección afín y el método de la transformación log-normal indirecta. La diferencia fundamental entre ambos métodos es que el primero mantiene constante el nivel de simetría mientras que el segundo lo altera al disminuir el valor del sesgo de la distribución. Por otro lado, es importante tener en cuenta que el segundo método se debe aplicar a aquellos conjuntos de valores que presenten una distribución de tipo log-normal, que no suele ser habitual en las imágenes fotogramétricas digitales. Por tanto, en este trabajo la metodología se centrará en la aplicación del método de corrección afín, recomendando al lector la consulta del trabajo de Isaaks y Srivastava (1989) para el comentario detallado del método indirecto logarítmico.

2.2.1. Método de Corrección Afín

El método de corrección afín es un método muy simple para la corrección del efecto de soporte. Se basa en que es posible la reducción de la varianza de una distribución acercando los valores a la media logrando conservar el valor de la media. La corrección afín transforma el valor del cuantil de la distribución original q al valor del cuantil de la distribución transformada q' mediante la expresión siguiente:

$$q' = \sqrt{f}(q - m) + m$$

siendo m el valor de la media de ambas distribuciones y f el factor de corrección de la varianza, de forma que si la varianza de la distribución original es σ^2 el valor de la varianza de la distribución transformada será $f \sigma^2$.

La principal característica de la corrección afín es que mantiene el valor de la media y del sesgo de la distribución. Su ventaja principal es su sencillez de aplicación, si bien es necesario indicar como inconvenientes que los valores mínimos de la distribución transformada no suelen ser realísticos, aunque si los factores de corrección de la varianza no son demasiado pequeños y los valores de interés suelen estar próximos a la media es un procedimiento que funciona correctamente.

2.2.2. Estimación del factor de corrección de la varianza. La varianza de dispersión

Tal como se ha indicado en el apartado anterior para la obtención de la nueva distribución es necesario establecer el factor de corrección de la varianza. Dicho factor de corrección puede ser establecido mediante el cálculo de la varianza de dispersión. La varianza de dispersión es la diferencia media cuadrática establecida entre los valores de un soporte $a (v_{ia})$ y la media de un soporte diferente $b (m_{ib})$ de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sigma^2(a, b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{ia} - m_{ib})^2$$

Si se dispone de una imagen digital con un determinado tamaño de píxel, su varianza total (conocida habitualmente como varianza) será la varianza de dispersión de los valores considerados en un determinado dominio (la zona que cubre la imagen). Si se desea obtener la varianza total correspondiente a un tamaño de píxel mayor (obtenido por agrupación de los píxeles de menor tamaño) deberán considerarse las siguientes varianzas de dispersión:

$$\sigma^2(a, c) = \sigma^2(a, b) + \sigma^2(b, c)$$

siendo $\sigma^2(a, c)$ la varianza total del soporte menor (tamaño de píxel menor) c en la superficie que cubre la imagen a , $\sigma^2(b, c)$ la varianza total del soporte menor c en la superficie del píxel del tamaño mayor b (varianza dentro del bloque) y $\sigma^2(a, b)$ la varianza de dispersión del tamaño de píxel b en la imagen a (varianza entre bloques). Por tanto, es posible obtener el valor del factor de corrección de la varianza como:

$$f = \frac{\sigma^2(b, c)}{\sigma^2(a, c)} = \frac{\sigma^2(a, c) - \sigma^2(a, b)}{\sigma^2(a, c)} = 1 - \frac{\sigma^2(a, b)}{\sigma^2(a, c)}$$

El valor de $\sigma^2(a, c)$ será el correspondiente a la varianza de la imagen original (la imagen de menor tamaño de píxel) y se deberá estimar el valor de $\sigma^2(a, b)$ que, tal y como se ha comentado anteriormente, dependerá de la correlación espacial (continuidad) de la variable, por lo que puede ser obtenido a partir de las funciones de autocorrelación espacial (funciones correlograma o variograma).

El valor de la varianza de dispersión del tamaño de píxel **b** sobre el soporte **a** puede ser estimado a partir del variograma gracias a la similitud de las expresiones de la varianza de dispersión y del variograma. Sea la expresión de la varianza total del soporte menor sobre la imagen:

$$\sigma^2(a, c) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{ic} - m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{ic}^2 - m^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{ic}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{ic} \right)^2$$

Operando en la anterior expresión se obtiene:

$$\begin{aligned} \sigma^2(a, c) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{ic}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{ic} \right)^2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n v_{ic}^2 + \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n v_{ic}^2 - \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ic} v_{jc} = \\ &= \frac{1}{2n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ic}^2 + \frac{1}{2n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{jc}^2 - \frac{2}{2n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ic} v_{jc} = \\ &= \frac{1}{2n^2} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ic}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{jc}^2 - 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ic} v_{jc} \right) = \frac{2}{2n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (v_{ic} - v_{jc})^2 \end{aligned}$$

Expresión que guarda grandes similitudes con la expresión empleada para el cálculo de la función variograma:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j) | h_{ij}=h} (v_{ic} - v_{jc})^2$$

Ambas expresiones son el promedio de diferencias al cuadrado. En la expresión del variograma se promedian las diferencias cuadráticas de los niveles digitales de todas las parejas de píxeles separados una distancia

definida por el vector **h**. En la varianza de dispersión, se promedian todas las parejas que se pueden formar dentro de la imagen sin considerar la distancia. Por tanto, la varianza de dispersión puede ser considerada como un tipo de cálculo de variograma en el que se obtiene un valor medio del variograma para todas las distancias contenidas en las dimensiones de la imagen considerada.

$$\hat{\sigma}^2(a, c) = \frac{1}{2N(a)} \sum_{i,j | h_{i,j} \in a} (v_{ic} v_{jc})^2 \approx \bar{\gamma}(a)$$

valor que puede ser obtenido a partir del modelo teórico al que se haya ajustado el variograma experimental calculado en la imagen, promediando todos los posibles vectores contenidos dentro de la imagen (dominio) **a**. En la práctica, el procedimiento más frecuente para el cálculo es discretizar la imagen **A** en **n** puntos y aproximar el valor del variograma medio de todos los puntos por el valor medio de los **n²** valores de variograma entre los **n** puntos discretizados.

$$\hat{\sigma}^2(a, c) \approx \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{\gamma}(h_{ij})$$

En este momento ya es posible calcular el factor de corrección de la varianza. Para ello es necesario disponer de dos valores, la varianza de dispersión del soporte menor en la imagen y la varianza de dispersión del soporte menor en el soporte mayor. Utilizando la expresión anterior es posible estimar la varianza de dispersión del soporte menor en el soporte mayor, discretizando el soporte mayor en varios puntos y calculando el valor medio del variograma entre todas las parejas de puntos posibles. Por otro lado, aunque es posible obtener el valor de la varian-

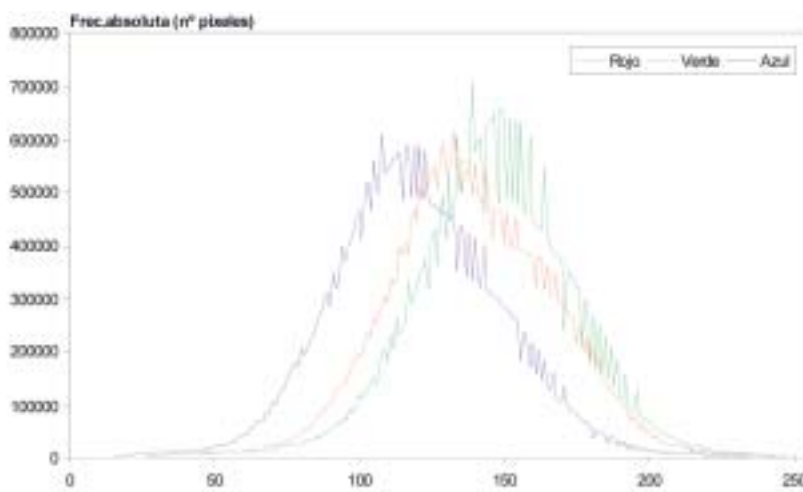


Figura 4. Imagen empleada y función de densidad de la imagen con el tamaño de píxel original

	NºPix.	Media	Var.	CV%	Mín.	C.Inf.	Mediana	C.Sup.	Máx.	Rango	RIQ
Rojo	37748736	137.94	868.25	21.36	2	119	137	157	255	253	38
Verde	37748736	144.95	812.67	19.67	0	128	145	163	255	255	35
Azul	37748736	118.92	875.31	24.88	0	100	117	138	255	255	38

Tabla 1

za del soporte menor en la imagen de una forma directa a partir de los propios datos de la imagen, suele ser conveniente el calcularlo utilizando el procedimiento del variograma y analizar las diferencias encontradas para validar el propio método de estimación de las varianzas de dispersión en función del modelo de variograma utilizado.

3. EJEMPLOS

Para poner de manifiesto la validez de esta metodología en la obtención de histogramas y estadísticos de imágenes una vez modificado su tamaño de píxel, se presentan un ejemplo detallado de aplicación del método sobre una imagen en color así como los resultados más destacables de la aplicación sobre diferentes tipos de imágenes.

El ejemplo completo se desarrollará sobre una porción de una fotografía digital en color correspondiente a un vuelo a escala 1/5.000 y que ha sido escaneada con un tamaño de píxel de 15 mm (GSD de 7,5 cm), correspondiente a una zona rústica situada en la zona de Villafufre (Cantabria). La imagen empleada y su histograma y estadísticos básicos se muestran en la figura 4 y Tabla 1.

El primer proceso que es necesario llevar a cabo es el cálculo de los variogramas experimentales y su posterior ajuste a un modelo teórico, que será el que posteriormente se emplee para el cálculo de los valores de la varianza de dispersión. El variograma ha sido calculado en las cuatro direcciones fundamentales (filas, columnas y ambas diagonales), con un total de 1.000 pasos, con un valor de paso igual a 2 píxeles (filas y columnas) y 2.828 píxeles (raíz de 8, para las diagonales). En la figura 5 se muestra

los variogramas direccionales obtenidos para cada uno de los canales así como los modelos ajustados, cuyos parámetros se resumen en la Tabla 2.

Una vez que se dispone del modelo teórico de variogramas es posible efectuar el cálculo de las varianzas de dispersión (varianza del bloque),

Modelo 1			
	Tipo	Alcance	Meseta
Rojo	Exponencial	5	220
Verde	Exponencial	120	220
Azul	Exponencial	4000	428
Modelo 2			
	Tipo	Alcance	Meseta
Rojo	Exponencial	5	290
Verde	Exponencial	125	200
Azul	Exponencial	4000	328
Modelo 3			
	Tipo	Alcance	Meseta
Rojo	Exponencial	5	300
Verde	Exponencial	125	190
Azul	Exponencial	4000	385

Modelos isotrópicos en todos los casos. Alcance expresado en píxeles, meseta en ND²

Tabla 2. Parámetros de los modelos teóricos de los variogramas ajustados

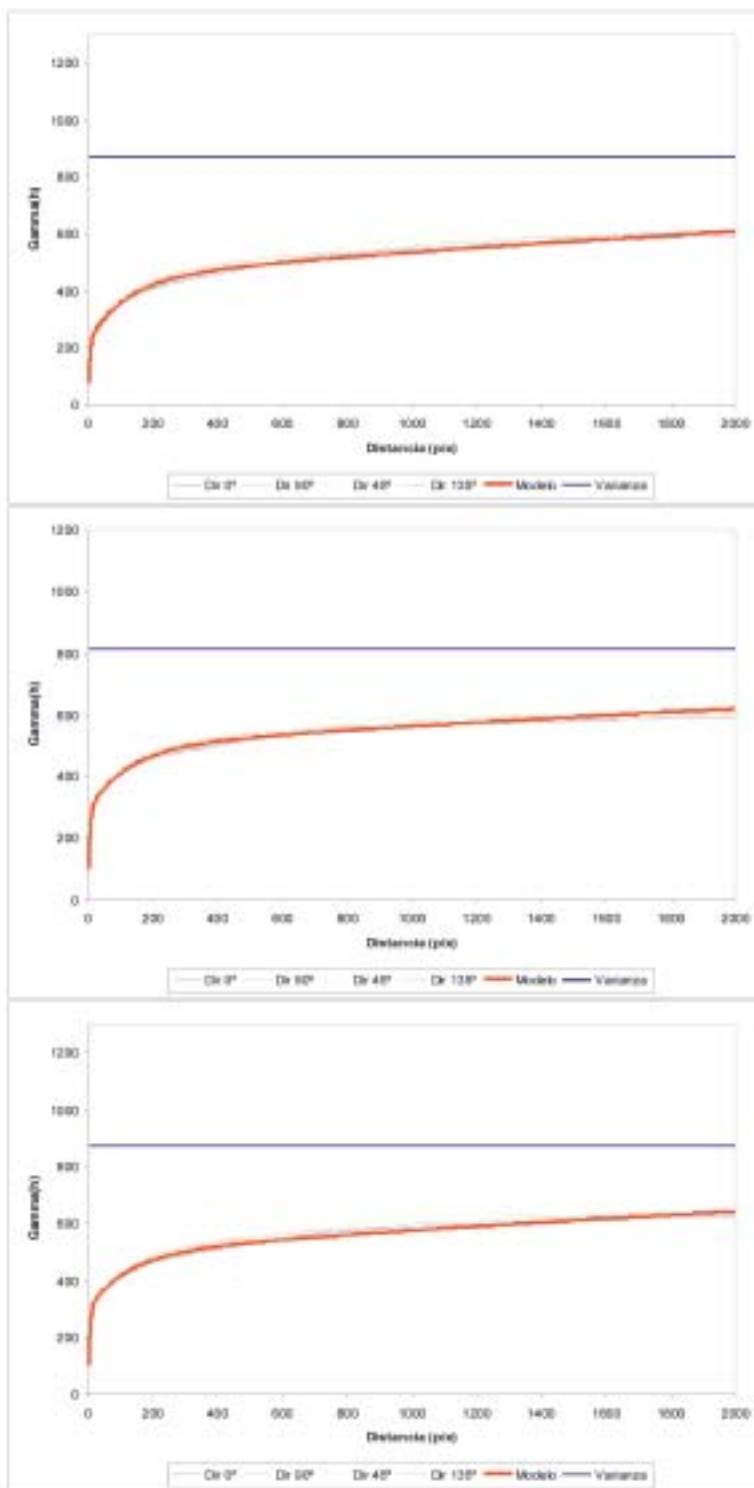


Figura 5. Variogramas experimentales y modelos ajustados para cada uno de los canales. Superior a inferior: Rojo, Verde, Azul



Narváez
Topografía, S.L.

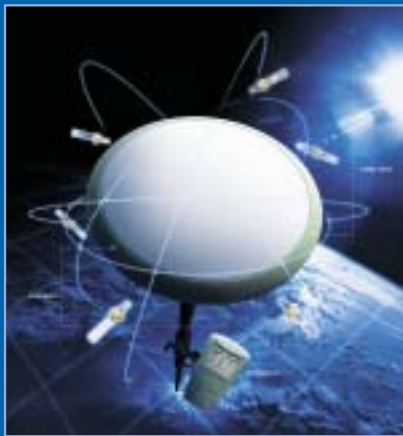
Servicio
Técnico Oficial



de Leica en
Valencia

SELECCIÓN DE PRODUCTOS

NUEVO GPS LEICA TODO EN BASTÓN
SIN CABLES



ALQUILER ECOSONDA CON GPS PARA BATIMETRÍAS



Realizamos
sesiones
prácticas de
GPS
totalmente
gratuitas

ALQUILER
Ecosonda
para
batimetrías

NUEVOS MEDIDORES DISTO



Leica DISTO A3



Leica DISTO A5

Nuevas
instalaciones
en calle
Campoamor,
65-67 B

RUEDAS
MEDIDAS



CLAVOS



NIVELES LÁSER PARA LA CONSTRUCCIÓN



RUGBY 100

Alquiler y
venta de
material
topográfico

SONDAS
LUMINOSAS



TELÉMETRO
LÁSER (Novedad)



NA2/NAK2



NIVEL DIGITAL



CONSULTAR PRECIOS



 **963 711 698**

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



Canal Rojo								
Nivel	C(v,v)	Varianza estimada	D.Típica Estimada	Varianza real	D. Típica real	Error D. Típica	Error Relativo D.Típica (%)	Factor reducción varianza
1:1	809,67			868,25	29,47			
1:2	768,06	826,64	28,75	807,04	28,41	-0,34	-1,21	0,98
1:4	715,08	754,06	27,46	742,52	27,25	-0,21	-0,77	0,93
1:8	664,60	692,04	26,31	680,45	26,09	-0,22	-0,85	0,89
1:16	625,27	641,12	25,32	631,53	25,13	-0,19	-0,76	0,86
1:32	587,13	593,39	24,36	590,34	24,30	-0,06	-0,26	0,83
1:64	538,07	541,28	23,27	545,75	23,36	0,10	0,41	0,79
1:128	481,64	489,33	22,12	492,35	22,19	0,07	0,31	0,75
1:256	430,87	441,57	21,01	444,17	21,08	0,06	0,29	0,71
Canal Verde								
Nivel	C(v,v)	Varianza estimada	D.Típica Estimada	Varianza real	D. Típica real	Error D. Típica	Error Relativo D.Típica (%)	Factor reducción varianza
1:1	742,42			812,67	28,51			
1:2	688,86	759,11	27,55	730,91	27,04	-0,52	-1,91	0,97
1:4	621,54	663,59	25,76	651,20	25,52	-0,24	-0,95	0,90
1:8	559,80	589,46	24,28	579,96	24,08	-0,20	-0,82	0,85
1:16	516,73	536,89	23,17	526,58	22,95	-0,22	-0,97	0,81
1:32	481,71	491,55	22,17	483,15	21,98	-0,19	-0,87	0,78
1:64	437,69	439,13	20,96	438,47	20,94	-0,02	-0,08	0,74
1:128	387,51	388,29	19,71	388,54	19,71	0,01	0,03	0,69
1:256	342,95	343,97	18,55	344,62	18,56	0,02	0,09	0,65
Canal Azul								
Nivel	C(v,v)	Varianza estimada	D.Típica Estimada	Varianza real	D. Típica real	Error D. Típica	Error Relativo D.Típica (%)	Factor reducción varianza
1:1	797,00			875,31	29,59			
1:2	741,77	820,09	28,64	775,10	27,84	-0,80	-2,86	0,97
1:4	672,49	705,81	26,57	695,93	26,38	-0,19	-0,71	0,90
1:8	609,30	632,75	25,15	628,83	25,08	-0,08	-0,31	0,85
1:16	565,97	585,51	24,20	578,53	24,05	-0,14	-0,60	0,82
1:32	531,21	543,76	23,32	537,89	23,19	-0,13	-0,54	0,79
1:64	489,00	495,68	22,26	495,52	22,26	0,00	-0,02	0,75
1:128	439,64	446,16	21,12	445,63	21,11	-0,01	-0,06	0,71
1:256	394,06	400,05	20,00	399,37	19,98	-0,02	-0,09	0,68

Tabla 3. Estimación de la varianza para diferentes tamaños de píxel

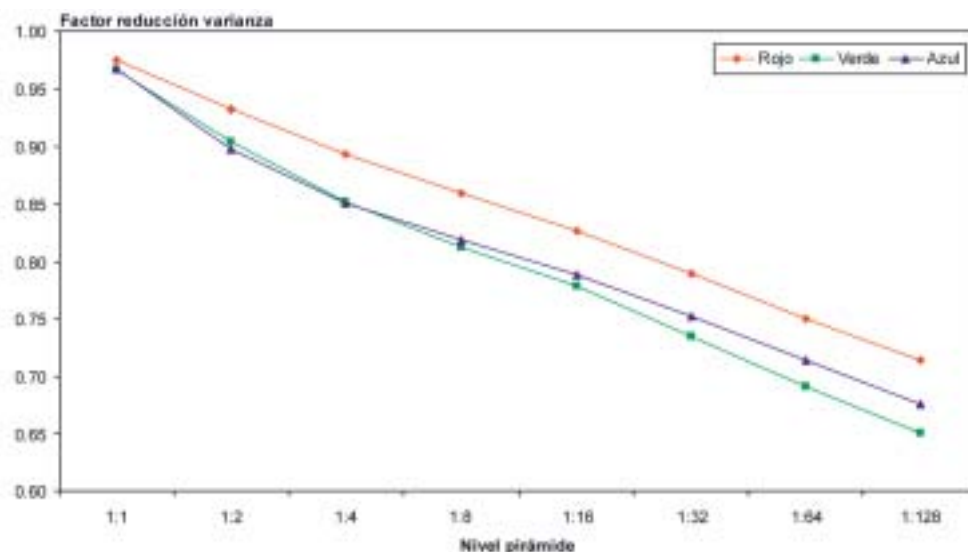


Figura 6 Factor de reducción de la varianza para los diferentes canales y niveles de la pirámide de imágenes. Valores expresados con respecto a la varianza de la imagen original en cada canal

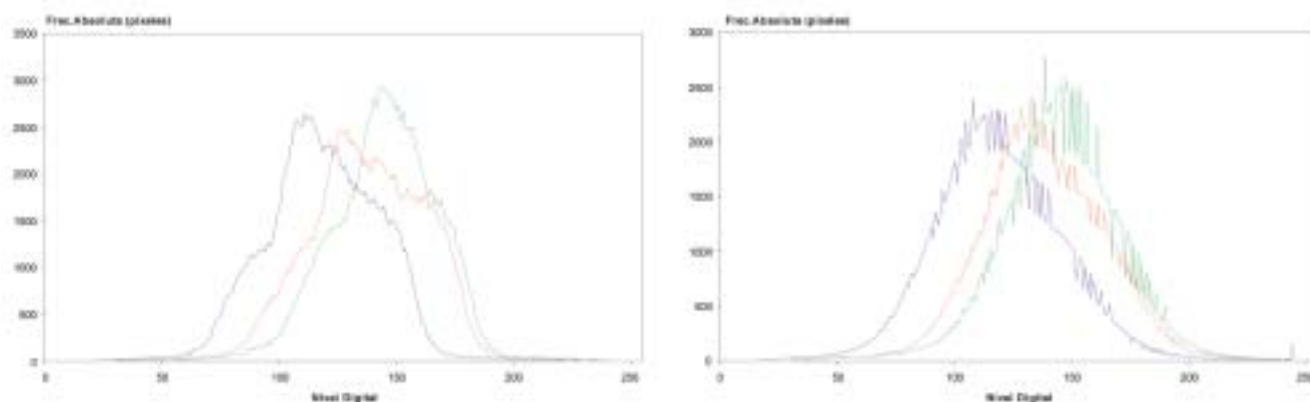


Figura 7. Histograma estimado y real de la imagen correspondiente al nivel de la pirámide 16:1

	Media	Varianza	D.Típica	%CV	Mínimo	C.Inferior	Mediana	C.Superior	Máximo	Rango	RIQ
Rojo											
Real	137,94	631,53	25,13	18,22	22	122	138	156	249	227	34
Estimado	137,94	711,96	26,68	19,34	15	121	137	155	244	229	34
Verde											
Real	144,95	526,58	22,95	15,83	19	131	146	160	244	225	29
Estimado	144,95	658,26	25,66	17,70	14	130	145	161	244	230	31
Azul											
Real	118,92	578,53	24,05	20,23	14	104	118	136	243	229	32
Estimado	118,92	752,77	27,44	23,07	9	101	117	137	245	236	36

Tabla 4. Comparación de estadísticos básicos entre la imagen real del nivel de la pirámide 1:16 y la imagen estimada

para ello se han considerado diferentes tamaños de píxel, desde el tamaño de píxel original hasta el tamaño de píxel correspondiente al nivel de la pirámide 256:1. Para efectuar el cálculo el bloque se ha discretizado en 4x4 subbloques, efectuando el cálculo de los valores de variogramas medios considerando todas las parejas de puntos posibles. A partir de dichos valores es posible el cálculo de los valores de la varianza co-

respondiente para los diferentes tamaños de bloque. Los resultados se resumen en la Tabla 3, comparándolos con los correspondientes al cálculo directo sobre el nivel de la imagen correspondiente.

Se puede observar cómo la metodología permite una correcta estimación del valor de la desviación típica de la imagen con un error relativo

Código	Escala	Tamaño píxel (mm)	GSD (m)	Tamaño imagen seleccionada	Tipo película	Características de la zona
CORDOBA1	1:60000	20	1,20	6144x6144	RGB	Variable (predomina rústico)
MALAGA1	1:8000	21	0,16	6144x6144	RGB	Urbano industrial
GUADIA1	1:10000	28	0,28	6144x6144	RGB	Rústico
JAEN1	1:20000	15	0,30	6144x6144	RGB	Urbano con alguna zona rústica
JAEN2	1:20000	15	0,30	6144x6144	RGB	Rústico con alguna zona urbana
MAGDA	1:6000	15	0,09	6144x6144	RGB	Urbano
ULTRACAM	1:8500	---	0,075	6144x6144	Digital RGB	Urbano residencial
CANTABRIA	1:5000	14	0,07	6144x6144	IR	Rústico
ESCON1	1:11400	25	0,28	6144x6144	BN	Rústico con alguna zona urbana
ESCON2	1:11400	25	0,28	6144x6144	BN	Urbano residencial
ALCALA	1:300	---	0,003	1024x1024	Digital RGB	Terrestre (Cúpula Iglesia de Sto. Domingo, Alcalá la Real, Jaén)
RETIRO	1:300	7,5	0,002	6144x6144	BN	Terrestre (Bóveda del Casón del Buen Retiro, Madrid)

Tabla 5. Características de las imágenes utilizadas

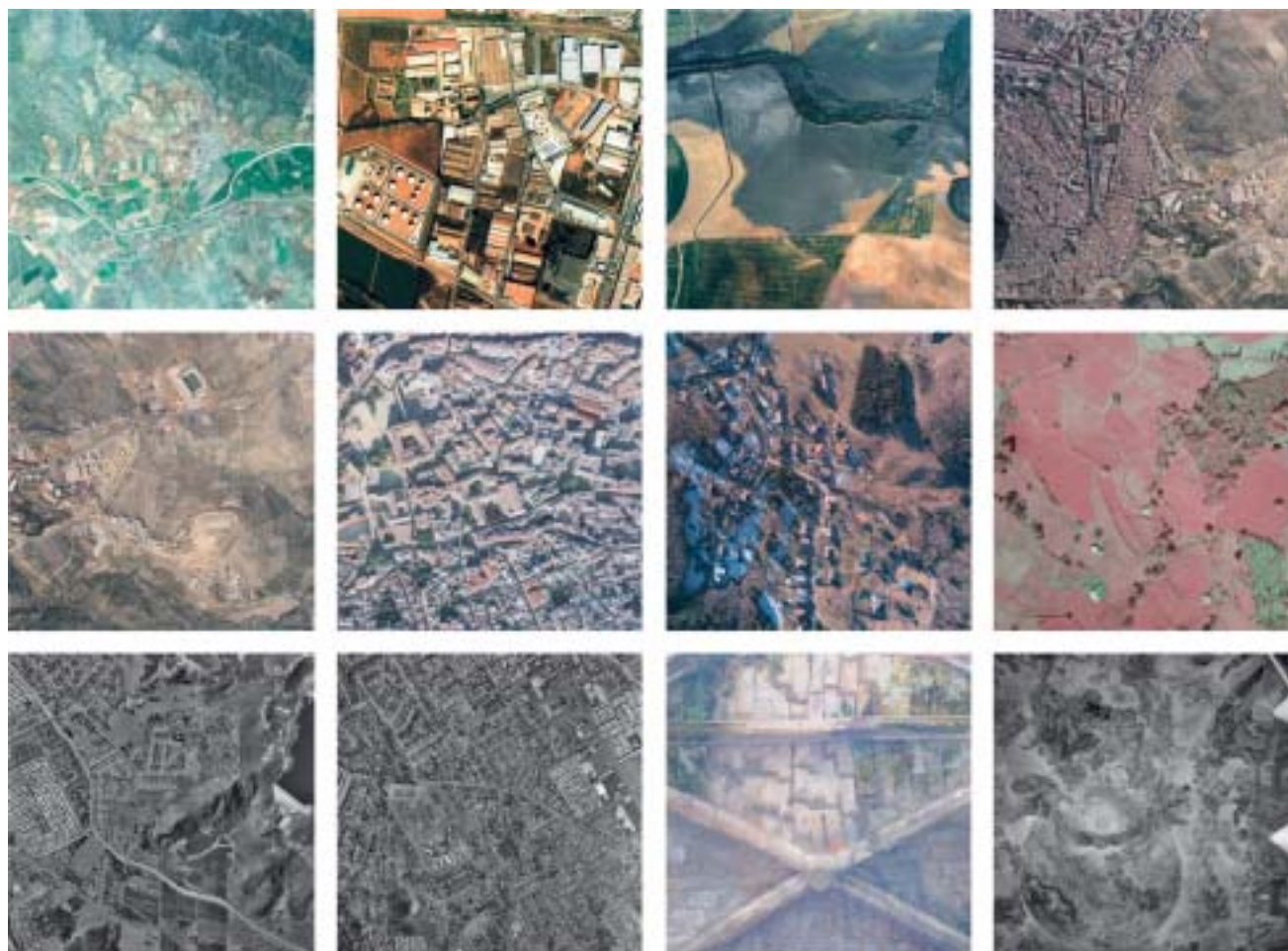


Figura 8.- Imágenes utilizadas cuyas características se presentan en la Tabla 5.

máximo para el canal azul de un $-2,98\%$, dando lugar a errores en la estimación de la desviación típica de tan solo $-0,80\text{ND}$ (inferiores siempre a 1ND). Por otro lado, es importante apuntar que en todos los casos el comportamiento del factor de reducción de la varianza es bastante similar; tal y como se muestra en la figura 6, con reducciones que van desde los $0,97-0,98$ para el nivel $1:2$ a valores de $0,65-0,71$ para el nivel $1:256$.

Ese factor de corrección de la varianza ha sido utilizado como entrada en un procedimiento de corrección afín y se obtiene el histograma y los estadísticos básicos de la imagen correspondiente al nivel de la pirámide $16:1$ que se compara con los correspondientes de la propia imagen (figura 7 y tabla 4).

Como se puede observar, la estimación de los valores estadísticos es correcta, con diferencias nulas en la media (aspecto impuesto por el método utilizado), diferencias en la desviación típica inferiores a 4ND y valores similares de cuantiles (detectándose los errores más elevados en los extremos de la distribución, mínimos y máximos con errores máximos de 7ND).

Para completar esta verificación del correcto funcionamiento del método, éste ha sido aplicado a un total de 12 imágenes, cuyas características se resumen en la Tabla 5 y se muestran en la figura 8.

Siguiendo la metodología anteriormente comentada, se han calculado los variogramas direccionales de las imágenes y se han ajustado a modelos teóricos. Estos modelos teóricos han estado compuestos por varias estructuras imbricadas (habitualmente dos o tres estructuras de tipo exponencial). La primera estructura pone de manifiesto la variabilidad de tipo local de la imagen y su alcance ha variado entre 5 y 30 píxeles, dependiendo fundamentalmente del ruido de la imagen así como de su propia textura; la segunda estructura presenta un alcance de entre 100-200 píxeles (aunque en algunas imágenes de mayor continuidad se registran alcances hasta de 600-700 píxeles) y, por último, una tercera estructura, con un alcance muy elevado, en torno a 2000-4000 píxeles.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la validez del método para la estimación de estadísticos a nivel de bloque, así como de las propias distribuciones. Así, los errores de desviación típica de las distribu-

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.

ciones han sido inferiores a 3 píxeles en todos los casos (habitualmente con errores inferiores a 2 píxeles), dando errores relativos de estimación de la desviación típica inferiores al 10% (en la mayoría de los casos los errores son incluso menores al 5%, registrándose los mayores errores en las imágenes pancromáticas aéreas).

Por otro lado, se han analizado los factores de reducción de la varianza de las imágenes en los diferentes niveles de la pirámide. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto una doble dependencia entre el factor de reducción y las características de la imagen y del terreno. Así, se pueden indicar como valores representativos de la reducción de la varianza (considerando el intervalo de niveles de la pirámide 2:1 a 256:1) los siguientes: Para terrenos rústicos e imágenes de gran escala (proyecto CORDOBA) reducciones del orden de 0,96 a 0,45; si se consideran escalas medias (proyecto JAÉN2) reducciones del orden de 0,92 a 0,25 y señalar el caso especial de la imagen del proyecto GUADIA, que se corresponde con una colección de imágenes tomadas poco después del accidente minero de Aznalcóllar, en la que la gran continuidad de la misma proporciona reducciones del 0,99 a 0,70. En las zonas urbanas, la variabilidad es lógicamente mayor, por lo que esto debe quedar reflejado en las tasas de reducción de la misma, al presentar una menor continuidad espacial (correlación espacial). Así, para escalas de detalle (proyecto MAGDA) se alcanzan reducciones de 0,96 a 0,20. Y, por último, en las imágenes terrestres las tasas son en torno a 0,98 a 0,50.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una metodología para la estimación de los parámetros estadísticos (fundamentalmente varianza) de la colección de imágenes incluida en una pirámide de imágenes. La metodología propuesta tiene su base conceptual en metodologías que son tradicionalmente aplicadas en otras disciplinas (fundamentalmente Minería) y que se apoyan en la Teoría de Variables Regionalizadas y el tratamiento geoestadístico.

Esta metodología se basa en las operaciones de cambio de soporte de la información, aspecto fundamental para una adecuada comprensión del comportamiento estadístico de las pirámides multiescalares, y ha proporcionado en todos los casos aplicados (un total de 13 imágenes de diferentes características) un correcto funcionamiento. Así, es posible realizar la estimación *a priori* de los parámetros estadísticos y las funcio-

nes de densidad de las imágenes con errores muy bajos, que en la mayoría de las ocasiones están por debajo de los 2 píxeles.

Por otro lado, las características de las imágenes con histogramas que en la mayoría de los casos son marcadamente unimodales y simétricos, y con valores que suelen ser ajustados para una correcta visualización proporcionando valores estadísticos habitualmente similares (especialmente en lo relativo a la media), proporcionan un caso ideal para la aplicación de este tipo de metodologías, que alcanzan su mejor funcionamiento en histogramas que se asemejen a los de tipo gaussiano.

Otro aspecto de importancia es la posibilidad de establecer los factores de reducción de la varianza, lo que permite un mejor ajuste en aquellas operaciones de balance radiométrico que habitualmente requieren un elevado número de pruebas y que se suelen efectuar sobre imágenes de resolución reducida y cuyos resultados deben ser extrapolados a las imágenes de resolución original.

5. AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este trabajo son parte de las actividades desarrolladas por el grupo de investigación "Sistemas Fotogramétricos y Topométricos" (TEP-213) del Plan Andaluz de Investigación y han sido parcialmente financiados por los proyectos REN2001-3378/RIES y 2002-00079/RIES correspondientes al Plan Nacional de I+D+i financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y los fondos FEDER de la Unión Europea. Por último, los autores desean agradecer a Stereocarto, S.L. y a GTBI Ibérica las facilidades otorgadas para la utilización de las imágenes.

6. REFERENCIAS.

- Isaaks, E. H. y Srivastava, R. M. (1989): "Applied Geostatistics". Oxford University Press, Nueva York, 561 pág.
- Matheron, G. (1965): "Les variables régionalisées et leur estimation. Une application de la théorie des fonctions aléatoires aux Sciences de la Nature". Ed. Masson et Cie, Paris.
- Olea, R. A. (1991) (ed.): "Geostatistical Glossary and Multilingual Dictionary". International Association for Mathematical Geology. Studies in Mathematical Geology, núm. 3, Oxford University Press, Nueva York, 177 pág. ■

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

Las Claves Geodésicas de la Gran Pirámide, reveladas por Charles Piazzi Smyth (1819-1900)

Mario Ruiz Morales

INGENIERO GEÓGRAFO

PROFESOR DE LA E.T.S. DE ING. DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS (UNIV. DE GRANADA)

I. PREÁMBULO

A l recopilar la información relacionada con la preparación del libro *“Forma y Dimensiones de la Tierra”* (Ediciones del Serbal, Barcelona, 2000) tuve acceso al volumen *“The Great Pyramid, its secrets and mysteries revealed”* (Nueva York, 1994), una de las varias reediciones de la obra *“Our inheritance in the Great Pyramid”*, escrita por el astrónomo escocés Charles Piazzi Smyth en el año 1880. Fue entonces cuando decidí traducir parte de su contenido geodésico para darle así una mayor proyección y pensando también en que de esa forma se podría animar algún lector a consultar tan interesante y voluminoso trabajo; más de seiscientas cincuenta páginas convenientemente ilustradas.

En los cinco capítulos de que consta se abordan además otras cuestiones igualmente importantes, como las propiedades geométricas, muy relacionadas con el número π , y metrológicas de la pirámide, que no pueden ser tratadas aquí por motivos de espacio y tiempo. Mención aparte son las sorprendentes conexiones que establece el autor entre tan grandioso monumento y las religiones judaica y cristiana.

Aunque no sea nada novedoso, no viene mal recordar que las pirámides de Egipto han despertado siempre la curiosidad y el asombro de todos los que las han contemplado de una u otra forma. Matemáticos griegos tan señalados como Tales y Pitágoras debieron sentir esas sensaciones cuando las visitaran, llegando el primero a medir la altura de la mayor de todas ellas. El método seguido por el sabio de Mileto tuvo su componente astronómica, pues comparó el triángulo formado por un jalón vertical y su sombra con el homólogo de la pirámide. Los grandes conquistadores tampoco fueron ajenos a los encantos de la gran pirámide de Keops¹, de hecho el gran Alejandro construyó en Egipto la ciudad que lleva su nombre en el primer tercio del siglo IV antes de Cristo.

Napoleón Bonaparte es otro de los que merece ser citado. A título anecdótico señalaré que su innegable arrojo hizo que pasara la noche

del 12 de agosto del año 1799 en el interior de la misma. Sin embargo, su decisión más sobresaliente la tomó un año antes, cuando el 20 de agosto de 1798, una vez concluida su exitosa campaña militar, decidió fundar el Instituto de El Cairo (luego Instituto de Egipto). El Instituto se dividió en las cuatro clases siguientes: I) Matemáticas, II) Física, III) Economía Política y IV) Artes y Literatura. La presidencia la ocupó, desde el primer momento, el matemático Gaspar Monge (1746-1818), uno de los máximos responsables de la expedición científica asociada a la conquista. El propio Bonaparte se reservó la vicepresidencia, asignándose la Secretaría al también matemático Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), miembro destacado de la expedición científica², asociada a la militar.



G. Monge (I) y J.B.F. Fourier, dos matemáticos insignes que participaron en la expedición napoleónica. El primero sentó las bases de la geometría Descriptiva, por lo que se le considera fundador de la misma. El segundo es de sobra conocido por las muchas aplicaciones que tienen las series y la transformada que lleva su nombre.

² La expedición militar, auspiciada por el Directorio, fue acompañada por otra eminentemente científica, organizada y dirigida por Monge y el químico Claude Louis Berthollet. Bajo la denominación de Comisión de Ciencias y Artes, se integraron las siguientes especialidades y profesiones: Geometría (11), Astronomía (4), Mecánica (12), Química (7), Geólogos (4), Botánicos (3), Biólogos (4), Médicos (8), Farmacéuticos (3), Relojeros (1), Economistas (4), Anticuarios (3), Arquitectos (5), Pintores (3), Delineantes (5), Ingenieros de Caminos (19), Ingenieros Geógrafos (16), Ingenieros Hidrográficos (5), Ingenieros Instrumentistas (2), Escultores (1), Grabadores (1), Literatos (4), Músicos (2), Alumnos de la Escuela Politécnica (7), Intérpretes (8) e Impresores (5). El equipo de los Ingenieros Geógrafos de Napoleón estuvo dirigido por dos Jefes: Dominique Testevuide y su sobrino Pierre Jacotin. Aunque el trabajo efectuado por estos ingenieros estuviese a la altura de las circunstancias (eran continuamente hostigados por tropas árabes hostiles), es obligado comentar que se equivocaron al suponer que el nivel medio del Mar Rojo estaba entre ocho y nueve metros por encima del nivel medio del Mediterráneo. La corrección del error se debió a su compatriota P.A. Bourdaloué, el cual niveló la zona del Istmo de Suez, comprobando que el desnivel era sólo del orden de los ochenta centímetros.

¹ Herodoto aseguró que el responsable de la construcción de la pirámide fue Keops, primer faraón de la cuarta dinastía (2615-2500 a. d. C.); el nombre del faraón no es más que la versión griega de Khufu. Platon en su Timeo decía en cambio que la pirámide tenía alrededor de 10000 años. Eratóstenes, por su parte, daba el nombre de Saophis. Esta pirámide también fue conocida como Xut (la espléndida).

Uno de los principales logros de la Comisión, organizadora de la expedición, fue el hallazgo de la Piedra Rosetta cerca de la ciudad del mismo nombre (Rashid), a unos 56 km al NE de Alejandría. El descubrimiento lo realizó el teniente de Ingenieros P.F. Bouchard, integrado en la Comisión como experto en Geometría. Como es conocido, en ella se apoyó J.F. Champollion para descifrar los jeroglíficos egipcios. Tras la rendición francesa del año 1801, la piedra pasó a manos inglesas, de ahí que se conserve en el Museo Británico.

Otro que es obligado subrayar es la monumental obra titulada "*Description de l'Égypte ou Recueil des observations et des recherches qui ont été faites en Égypte pendant l'expédition de l'armée française*", cuyo editor científico fue Edme-François Jomard (1777-1862), uno de los Ingenieros Geógrafos que participó en la expedición y que fue miembro del Instituto de Egipto desde 1799 a 1801; la preparación de la obra la empezó cuando regresó a París en el año 1803. Para hacerse idea del trabajo realizado por Jomard, baste decir que los nueve volúmenes de textos y los trece de planchas no se acabaron de publicar hasta el año 1828. Todos ellos se conservan en la Biblioteca Nacional Francesa, cuya cartoteca creó el propio E.F. Jomard.

Este Ingeniero Geógrafo se interesó también por la gran pirámide, bajo los aspectos metrológicos y geodésicos. Él fue el primero en determinar la equivalencia métrica del estadio griego de 600 pies, que cifró en 185 m. Habiendo deducido que tal distancia era la décima parte del desarrollo de un minuto de meridiano y sabiendo que los antiguos autores defendían que la apotema de la pirámide intentaba representar dicha magnitud, procedió a medirla, hallando 184,722 m. Como comprobación calculó el desarrollo de un grado de meridiano a la latitud media de Egipto, hallando 110827,66 m, que una vez divididos por 600 se transforman en 184,713 m, un valor muy parecido al que había obtenido. También midió el lado de la base, resultando 230,9 m, para comprobar la creencia de que el perímetro de la base era la mitad del desarrollo del minuto de meridiano. Se comprende así que años después Piazzi Smyth reconociera estos trabajos y se apoyara en la publicación anterior a la hora de redactar la suya.

Otros personajes, tan cruciales en la historia de la ciencia y de la humanidad como Isaac Newton, también se interesaron por la egiptología y en concreto por la gran pirámide, tal como se encarga de comentarlo documentadamente nuestro protagonista; en uno de sus pasajes detalla cómo Newton se refería al codo egipcio como codo profano, en comparación con el sagrado empleado por los judíos. Piazzi Smyth cita asimismo en varias ocasiones a un astrónomo tan prestigioso como John Herschel³, quien pensaba que esa pirámide fue construida por reyes pastores palestinos antes de que empezara la Historia. Sin embargo, sí tuvo rigor científico cuando, fundándose en la precesión equinoccial, dedujo

que la estrella más cercana al Polo Norte Celeste en la época de los faraones fue la α de la constelación del Dragón, asignándole una distancia polar de $3^{\circ} 42'$. Tan gran astrónomo declaró además que existía una aparente relación directa entre el tamaño del globo terrestre y el de la Pirámide de Khufu, tras haber estudiado el libro de J. Taylor "*The Great Pyramid: why was it built, and who built it?*" (Londres, 1859).

2. RESEÑA BIOGRÁFICA

Charles Piazzi Smyth nació en Nápoles, ciudad en la que estaban residiendo sus padres por aquellas fechas. El interés de su padre, almirante de la armada británica, por la Astronomía hizo que entablara pronto relación con el Director del Observatorio de Palermo, el astrónomo Giuseppe Piazzi⁴. La relación de éste con el matrimonio Smyth derivó pronto en una franca amistad, hasta el punto de que decidieron ponerle a su primogénito como segundo nombre el apellido del italiano.

El interés de Charles P. Smyth por la Astronomía lo despertó su padre, que le compró un poderoso telescopio cuando tan sólo tenía once años. Su actividad profesional comenzó cinco años después, cuando se trasladó a Ciudad del Cabo para trabajar como asistente del astrónomo Th. Maclear, que había viajado hasta Sudáfrica para observar el cometa Halley. Los dibujos realizados por Piazzi Smyth tuvieron tal calidad que fueron reproducidos en sus Memorias por la Royal Astronomical Society.

Su estancia en aquellas latitudes la aprovechó además para realizar sus primeros trabajos geodésicos, participando en la triangulación que enlazó el Observatorio de la Caille⁵ con el telescopio que había instalado J. Herschel. Al parecer le fueron asignados los vértices de mayor altitud: *Kamies-Sector Berg* (1.567 m), *Winter Berg* (2.078 m) y *Sneeuw Kop* (1.588 m), que observó durante el periodo comprendido entre julio de 1844 y julio de 1845; del segundo decía su tutor Maclear que era especialmente difícil. Asimismo, tomó parte en la medición de la base de Zwartland, una operación complicada, que duró cinco meses y fue realizada bajo unas condiciones atmosféricas tan adversas que tuvieron que sustituirse con frecuencia por enfermedad a varios de los integrantes del equipo.

Cuando, finalizada su campaña geodésica, se incorporó al Observatorio, le llegó el nombramiento de Astrónomo Real para Escocia y el de Profesor de Astronomía Práctica en la Universidad de Edimburgo. Sin embargo, pospuso su partida hasta octubre de 1845, para así poder finali-

³ J. Herschel (1792-1871) fue digno hijo de su padre W. Herschel (1738-1822), el astrónomo más importante de su época. Aunque W. Herschel nació en Hannover, se trasladó pronto a Inglaterra por iniciativa de sus padres.

⁴ Las aportaciones astronómicas de G. Piazzi están relacionadas con los asteroides. A él se debió el descubrimiento del primero, en el año 1801, al que bautizó con el nombre de Ceres, en honor a la Diosa de la agricultura. Recuérdese que Gauss calculó inmediatamente después la órbita del mismo, aplicando para ello su novedoso método de los mínimos cuadrados. Así se pudo saber su distancia media al Sol (2.77 UA) y su periodo de traslación (1680 días).

⁵ El nombre del Observatorio honró la memoria del astrónomo y abad francés que en el año 1752 se desplazó al Cabo de Buena Esperanza para realizar observaciones estelares y para determinar la distancia de la Tierra a la Luna, en colaboración con otro astrónomo francés, J. J. Lalande, que se trasladó a Berlín a tal efecto. La Caille determinó asimismo el aplastamiento polar del elipsoide para tratar de comprobar que ese fenómeno presentaba una cierta simetría.



Dos cuadros del cometa Halley pintados por Piazzi Smyth, en el de la derecha se encuentra por encima de la Luna. Ambos se conservan en el Museo marítimo de Greenwich.

zar la extensión de la triangulación hasta el Cabo de L'Agulhas, el punto más meridional del continente africano. Con él se llevó un informe muy favorable de Maclear, que elogiaba sus habilidades como operador y como dibujante, además de su envidiable fortaleza física. Al llegar a Edimburgo finalizó los trabajos pendientes de su predecesor, siendo publicados en *Edinburg Observations, Vol. XIV, XV*; también consiguió corregir el telescopio principal del Observatorio.

En el año 1856 se casa con Jessie Duncan, que fue su colaboradora durante sus cuarenta años de matrimonio. Ella lo acompañó siempre en todas sus campañas de observación, por ejemplo, en la que emprendió ese mismo año en la Isla de Tenerife. Allí acudió a instancias del Almirantazgo, que lo subvencionó con quinientas libras, usando para sus trabajos un anteojo ecuatorial cuyo objetivo tenía un diámetro de alrededor de 20 cm y que había sido fabricado por la firma T. Cooke & Sons. La primera estación astronómica fue la cumbre de Guajara, con una altitud de unos 2.713 m, a unos veinte kilómetros del Teide, permaneciendo allí junto a su mujer desde el 14 de julio hasta el 20 de agosto. Con su gran



Autorretrato De Piazzi Smyth y dos de los dibujos panorámicos que realizó desde los vértices sudafricanos.



Estación astronómica instalada por Piazzi Smyth en la Isla de Tenerife. Obsérvese el telescopio, con su montaje ecuatorial, en la parte derecha de la fotografía.

perseverancia, logró comprobar que la energía radiante de la Luna llena no es en absoluto despreciable, detectando también radiación infrarroja procedente de la misma. Asimismo, reconoció, al estudiar el espectro solar, que las líneas de Fraunhofer tenían también un origen terrestre.

Aún reconociendo las buenas condiciones atmosféricas de que habían disfrutado, echó en falta la mayor claridad que probablemente encontraría a una altitud más elevada. Consecuentemente, se trasladó el día 21 de agosto a Alta Vista, una montaña de alrededor de 3.261 m, aunque no se pudiera instalar el telescopio hasta el día tres de septiembre. Desde esa nueva estación observó la estrella Antares (constelación de Escorpión) y otras dos de Casiopea, además de Júpiter. Sus expectativas se vieron bien cumplidas, permitiéndole realizar unos magníficos dibujos del planeta, reproducidos tanto en *Edinburgh Observations, V. XII* como en las *Philosophical Transactions* de 1858. Aparte de sus investigaciones astronómicas, realizó otras de tipo geológico en el entorno del Teide, describiendo diversas coladas de lava y analizando experiencias anteriores efectuadas por Humboldt en el mismo lugar.

Su afición a la fotografía posibilitó la ilustración de su expedición científica con panorámicas de indudable interés histórico, publicándose los resultados de la misma dentro del informe "*Tenerife Astronomical Experiment of 1856*", que dirigió al Almirantazgo dos años después. También apareció su trabajo, con algunas omisiones, en las *Philosophical Transactions* del mismo año 1858. Algunas de las fotografías tomadas por Piazzi Smyth en esta ocasión se conservan en el volumen ya citado de las Observaciones de Edimburgo, aunque se encuentren en mayor número en su "*Specialties of a residence above the clouds*", una de sus publicaciones, impresa en Londres también en 1858.

Al año siguiente emprendió su viaje a Rusia, del que dio cuenta tres años después en "*Three Cities in Rusia*", aunque centrara principalmente su atención en la descripción del gran Observatorio de Pulkovo. Lamentablemente no pudo ser atendido por su director, W. von Struve, aunque



Trimble
SERVICIO TÉCNICO OFICIAL



Siempre al servicio del profesional



Equipo Técnico de Asesoría y Servicio al Cliente de TopoCenter en Madrid, España

VENTAS SERVICIO TÉCNICO SERVICIO ALQUILER PROGRAMAS TOPOGRÁFICOS
G.P.S. SCANNER 3D ACCESORIOS DE TOPOGRAFÍA HIDROGRAFÍA Y BATIMETRÍA

TopoCenter PUNTOS DE APOYO TOPOCENTER EN SU ZONA:

BARCELONA 93 340 05 73 - 855 558 111
P.A.S. VASCO 945 13 10 24 - 816 012 095

MADRID 91 371 82 90 - 929 590 674
GALICIA 806 848 021 - 618 303 226

LEVANTE 901 400 038 - 618 557 126
BALEARES 971 438 065 - 618 285 000

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

al-top
TOPOGRAFIA

si por su hijo Otto⁶ y por todos los astrónomos responsables de los diferentes programas en curso.

En el mes de septiembre del año 1864, después de regresar a Inglaterra, apareció su obra *"Our Inheritance in the Great Pyramid"*, fiel reflejo de su interés por todo lo relacionado con el antiguo Egipto. De manera que no resulta sorprendente que el matrimonio se desplazara a Giza en noviembre de ese mismo año. Allí midió, como veremos más adelante, la Gran Pirámide, determinó su orientación, así como el tamaño y la pendiente de sus mayores pasadizos, además de analizar las dimensiones de sus cámaras interiores. Todas sus investigaciones sobre la pirámide de Khufu, acompañadas de numerosas ilustraciones, se pueden consultar en *Edinburgh Observations. V. XIII*; un volumen que siempre será considerado referencia obligada para adentrarse en las peculiaridades geométricas y metrologías de tan espléndido monumento.

Después de esa expedición pasaron unos cuantos años sin que efectuaran ningún viaje fuera de Inglaterra. En la primavera de 1872 hacen una fugaz visita a su ciudad natal, donde realiza observaciones espectroscópicas de la luz zodiacal. Cansado de estudiar el espectro solar en las malas condiciones atmosféricas del Observatorio de Edimburgo, decidió trasladarse a Portugal en el año 1877, buscando un tiempo mucho más soleado. Sus progresos no se hicieron esperar; después de publicar los resultados en la Real Sociedad de Edimburgo (Volumen n° 29 de las *Transactions*), recibió en 1880 el premio Macdougall-Brisbane como reconocimiento a sus investigaciones. En el año 1881 se repite su viaje a Portugal, en esta ocasión a la Isla Madeira, con la intención de observar nuevamente su Sol tan brillante. Los resultados de esta otra campaña astronómica los incluyó en el volumen titulado *"Madeira Spectroscopic"*, publicado en 1882. Las observaciones solares continuaron en años sucesivos, destacando el estudio del espectro que llevó a cabo en Winchester durante el verano de 1884. Su objetivo era comprobar si las grandes erupciones volcánicas⁷ de 1883 habían afectado de alguna manera al poder de absorción de la atmósfera terrestre. El resultado de tan interesante investigación lo tituló *"The Visual Grating and Glass-lens Solar Spectrum"*, incluyéndolo en las *Edinburgh Transactions Vol. XXXII Part II* del año 1884.

La actividad incansable de Piazzi Smyth no terminaba con sus observaciones astronómicas, pues los ratos libres los dedicaba a la inventiva me-



El Observatorio Real de Edimburgo en el año 1919.

cánica. Entre sus logros es destacable, en este contexto, la construcción de un distanciómetro portátil; es curioso que comprobara, durante su estancia en Rusia, que un astrónomo de aquel país había ideado otro instrumento basado en el mismo principio constructivo. Sus variadas aportaciones fueron permanentes hasta que decidió jubilarse en el año 1888, dejando tanto el puesto de Director del Observatorio como el de Profesor en la Universidad, que había estado desempeñando a lo largo de los últimos cuarenta y tres años. Sin embargo, en su retiro de Ripon continuó realizando numerosas fotografías de formaciones nubosas singulares, cedidas tras su fallecimiento al Observatorio Real de Edimburgo. Piazzi Smyth fue miembro correspondiente de las Academias de Ciencias de Munich y Palermo, así como de las Reales Sociedades de Londres y de Edimburgo.

3. ANÁLISIS GEODÉSICO DE LA GRAN PIRÁMIDE

Cuando Piazzi Smyth regresó de Egipto, recopiló toda la información, cuadernos de observación, dibujos, fotografías e informes, para incluirlos en el Volumen XIII de las *Edinburgh Transactions* ya citado. La importancia histórica y geodésica de todas sus medidas y el rigor con el que se efectuaron fueron reconocidos inmediatamente por la Royal Society of Edinburgh, que lo recompensó con el premio Kize en el año 1867. Ante el interés despertado, decidió divulgar su trabajo en forma de novela, dándole así un carácter menos academicista y más accesible al gran público; ese fue por tanto el origen de su obra, en tres volúmenes, *"Life and Work at the Great Pyramid"*, editada en Edimburgo en el año 1867. Acto seguido (1868) publicó el libro titulado *"On the Antiquity of Intellectual Man, from a Practical and Astronomical point of View"*.

Con tales antecedentes, se entiende mejor que esta quinta reedición de las investigaciones egipcias de Piazzi haya aparecido con el nombre ya sabido *"The Great Pyramid, its secrets and mysteries revealed"*. Sin embargo, el libro tiene en realidad el mismo índice y contenido que la cuarta edi-

⁶ W. von Struve, igualmente conocido como Vasili Yakovlevich Struve, fue uno de los más grandes geodestas del siglo XIX y el primero de cuatro generaciones de astrónomos distinguidos. Su hijo Otto fue también director del Observatorio e introductor en Rusia del Sistema Métrico Decimal, los hijos de este Ludwig y Hermann, destacaron de igual modo que sus predecesores. El último miembro de la dinastía fue Otto Struve (1897-1963), Director del Observatorio como su bisabuelo, aunque finalmente decidiera emigrar para afincarse definitivamente en EE.UU., especializándose en los estudios de espectroscopia estelar.

⁷ En agosto de 1883 se produjo la famosa erupción del Krakatoa, unos de los episodios geológicos más violentos de la historia. Se destruyó gran parte de la isla y murieron más de 36.000 personas a causa del tsunami a que dio lugar. La nube de cenizas giró durante varios meses alrededor de la Tierra, produciendo espectaculares puestas de Sol al año siguiente.

ción (1880)⁸ del primer trabajo de Piazzi, es decir del "Our Inheritance in the Great Pyramid", excepción hecha de la presentación, firmada por Fatma Turkkan. Esta renombrada especialista en historia del arte le reconoce a Piazzi Smyth el mérito de haber llevado a cabo el primer análisis de la estructura con equipamiento científico moderno. También asegura Turkkan que él fue el primero en cavar lo suficiente para encontrar el afloramiento rocoso sobre el que descansa la pirámide, la única forma de evaluar con exactitud suficiente el perímetro de su base; en esto se confunde, pues antes lo habían hecho los Ingenieros Geógrafos franceses, tal como recoge el propio autor en la página 24. Sin embargo, no todo fueron alabanzas, ya que antes le había reprochado a Piazzi Smyth su excesivo misticismo al suponer que la pirámide encerraba una crónica cristiana, inspirada por Dios, de la historia del hombre, referida tanto al pasado como al futuro.

Se repite pues aquí el prólogo de la cuarta edición, indicando P. Smyth en el mismo que zarparon desde Inglaterra para Egipto en el mes de noviembre de 1864 y que tuvo instalado su campamento en la colina de la pirámide durante cuatro meses. El libro consta de cinco partes y tres apéndices, convenientemente ilustrados con dibujos del autor y numerosas tablas. No obstante, tiene otra novedad con relación a las ediciones anteriores, se trata de la inclusión de fotografías tomadas en el año 1908 y en 1975, que fueron cedidas por diferentes museos. Los comentarios siguientes se van a referir, sobre todo, a la parte primera, titulada *Geografía y el Exterior de la Gran Pirámide*; uno de cuyos capítulos trata precisamente del tamaño de la Tierra y de su distancia al Sol, mientras que otro se refiere a la localización espacial de la pirámide y a su orientación.

En cualquier caso, parece necesario insistir en que una de sus revelaciones más sugerentes es la continua aparición del número π cuando se establecen proporciones astronómicas y matemáticas en el monumento egipcio. Sirvan de ejemplo las tres siguientes:

- I) El número π es el cociente entre el semiperímetro de la base y la altura de la pirámide⁹.
- II) También se obtendría el mismo número dividiendo el área de la base por la de la sección recta de la Pirámide.
- III) Este último ejemplo es más subliminal, ya que según Piazzi Smyth el área de la base de la pirámide coincide con la de un círculo cuyo diámetro es veinticinco veces el perímetro de la cámara real.

El astrónomo estaba convencido, en definitiva, de que la forma de la pirámide pretendía evidenciar el valor de tan señalada magnitud geométrica o matemática, en sentido más amplio.

⁸ La segunda edición se publicó en el año 1874 y la tercera tres años después.

⁹ Esta altura fue calculada también por los Ingenieros Geógrafos de Francia mediante una triangulación, uno de cuyos vértices coincidió con el de la pirámide.



La pirámide del faraón Khufu, fotografiada por Charles Piazzi Smyth a comienzos del año 1865.

Piazzi Smyth era un beligerante detractor del Sistema Métrico Decimal¹⁰, de manera que en sus mediciones lineales optó por emplear como patrón las consabidas unidades anglosajonas, es decir, el pie y la pulgada, equivalentes a 0,3048 m y a 0,0254 m respectivamente (recuérdese que la pulgada es la doceava parte del pie, el largo de tres granos de cebada según los clásicos metrólogos ingleses). Sin embargo, introdujo una ligera modificación en las pulgadas inglesas para transformarlas en otras, que denominó piramidales, de acuerdo con la equivalencia siguiente: una pulgada piramidal era igual a 1,001 pulgada inglesa, o lo que es lo mismo, una pulgada piramidal era aproximadamente igual a 0,025425 m.

Los resultados recopilados por nuestro protagonista en el año 1877, se expresaban efectivamente en esa unidad cuando se referían a magnitudes lineales, tal como se recoge en las tablas que se reproducen a continuación, a las que me he permitido añadir la equivalencia métrica. Tal conjunto de datos no es más que el soporte analítico en que se basó P. Smyth para plantear la mayoría de las disquisiciones geométricas, geodésicas, astronómicas y metrológicas referidas a todo lo largo del texto,

¹⁰ A él se refería como sistema métrico francés, llegando a tildarlo de demoníaco. Sirva sino de muestra la pregunta y la respuesta que incluye en la página 243. ¿Pero como es que vio la luz del día? Gracias a la revolución de toda una nación, la revolución atea y más salvaje jamás vista por el mundo. En la actualidad se intenta ocultar, haciéndola parecer moderada, con la introducción entre nosotros del sistema francés; que pasará a la historia pues, simultáneamente a su evolución o desarrollo en París, abolió el cristianismo, quemó la Biblia y declaró que no existía Dios, al que consideraban una mera invención de los curas. También dejaron de computar el tiempo tomando como referencia la era cristiana, despreciaron el Sabbath y su semana de siete días. Comenzó entonces una nueva forma de medirlo, tomando como origen el inicio de la República francesa y suprimiendo la semana para introducir la década, ajustándolo a un sistema métrico de su propia invención; pero con la antigua división decimal, más que con la revelación.

aunque lo presente como colofón del capítulo quinto, el último de la primera parte.

Cuatro son las tablas que se presentarán, para cuantificar el alto y el ancho de la pirámide, así como su forma y posicionamiento.

MEDIDA DEL ALTO	Pulgadas piramidales	Metros
Altura del vértice erosionado	5450	138,566
Antigua altura del vértice original	5813,01	147,796
Apotema primitiva	7391,55	187,930
Lados originales	8687,87	220,889
Distancia vertical del vértice a la cámara subterránea más baja	7015	178,356

MEDIDA DEL ANCHO	Pulgadas piramidales	Metros
Longitud del lado de la base erosionado	8950	227,554
Longitud del lado de la base (entre zapatas)	9131,05	232,157
Diagonal de la base (entre zapatas)	12913,26	328,320
Suma de las dos diagonales	25827	656,651
Lado de la plataforma de la parte superior de la pirámide	400	10,170
Lado de la plataforma de la parte superior de la pirámide con el antiguo revestimiento	580	14,746

Los comentarios geodésicos de Piazzi Smyth se sistematizan en el capítulo denominado *The Earth size and Sun-distance, monumentalized in the Great Pyramid*, que ya ha sido citado. En el inicio del mismo aborda la cuantificación geométrica del elipsoide de revolución terrestre, mostrando luego una parcialidad evidente al mencionar solamente los modelos de Clarke¹¹, lo cual no deja de ser sorprendente cuando se piensa en sus opiniones sobre el Sistema Métrico Decimal y sus patrocinadores franceses. Su primera afirmación es que la pirámide refleja en su construcción el aplastamiento terrestre, en cuanto que distingue entre el eje de rotación y cualquier otro diametral que se considere. Poco más adelante añade que dicho eje, expresado en pulgadas piramidales, equivale a 499878000 ó 500060000, según *“different observers of the best modern schools of the present time”*, justificando que con el estado del conocimiento de su época no era posible evitar la anterior incertidumbre.

¹¹ Aunque el geodesta inglés A. R. Clarke fuese uno de los más prestigiosos geodestas del pasado siglo XIX y propusiera varios modelos elipsoidales, tanto de revolución como triaxiales, con unos parámetros que fueron los primeros en aproximarse a los valores actuales, se echa en falta la mención de otros igualmente interesantes: los de Bessel y Struve son dos ausencias significativas aunque ampliamente empleadas.

FORMA Y MATERIAL	
Elevación de las caras	51° 51' 14.3''
Angulo entre lados y diagonales	41° 59' 18.7''
Angulo entre lados antiguos	76° 17' 31.4''
Angulo entre lados asociados a una diagonal	96° 1' 22.6''
El recubrimiento estaba formado por calizas blancas procedentes de las canteras de la montaña Mokattam, en la orilla Este del Nilo; con una densidad de 0.367, tomando como unidad la de la Tierra.	
La mayoría del material empleado en la mampostería era caliza nummulítica de la propia colina de la pirámide, con una densidad de 0.412	

EMPLAZAMIENTO		
Latitud	29° 58' 51 ''	
Longitud	0° 0' 0''	
ELEVACIÓN DEL PAVIMENTO DE LA BASE	Pulgadas piramidales	Metros
Sobre su entorno plano aluvial, ahora cubierto por arena	1500	38,137
Sobre el nivel medio del agua	1750	44,494
Sobre el nivel del Mar Mediterráneo	2580	65,596
Elevación de la cámara subterránea sobre el nivel de agua promedio del país	250	6,356

El misticismo del autor se refleja, con toda claridad, cuando dice a ese propósito que *“...el defecto no es achacable a los individuos, ya que su ciencia es humana y no divina; de modo que por su propia esencia sólo pueden lograr aproximaciones por mucho empeño que se ponga. Y aunque la cuestión sea natural y absolutamente simple a los ojos del Creador, la ciencia humana la hace tan complicada y difícil que ni los mayores avances inductivos ni las aplicaciones matemáticas más complejas pueden impedir que se resuelva con sencillez”*. Como justificación añadida, cita el reciente trabajo (1866) del coronel Clarke, principal responsable matemático del Ordnance Survey, en donde se evalúa el eje polar de la Tierra, acotándolo entre los valores 499982000 y 500022000 (expresado en pulgadas piramidales) para que el lector elija cualquier extremo o valor intermedio.

P. Smyth eligió la última opción, adoptando el valor redondeado de 500000000 pulgadas piramidales y señalando que los otros valores diametrales dependerían del achatamiento del modelo elipsoidal elegido, dando las tres posibilidades siguientes: 1/290, 1/300 y 1/310. Acto seguido, incluyó una tabla aclaratoria, aunque no dijera nada del aplastamiento elipsoidal elegido, para comparar las magnitudes citadas por Clarke con las que él recogió en la primera edición de su libro *“Our*

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

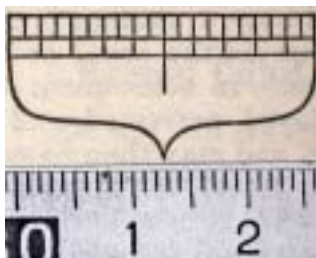


Inheritance”, como “más próximas a la verdad”. Con tales datos presentes quiso comprobar hasta qué punto era cierta la aseveración de Tylor-Herschel, según la cual una banda circunscrita a la Tierra y con el ancho de la Gran Pirámide tendría una superficie de 1011 pies cuadrados.

TABLA DE VARIOS DIÁMETROS DE LA TIERRA, en pulgadas piramidales			
DIÁMETROS A DIVERSA LATITUD	Usando el menor diámetro ecuatorial de Clarke (1866)	Valores citados en “Our Inheritance” Edición de 1864.	Usando el mayor diámetro ecuatorial de Clarke (1866)
90°	500000000	500000000	500000000
60°	500396000	500420000	500435000
45°	500792000	500840000	500869000
30°	501186000	501257000	501301000
0°	501577000	501672000	501730000

Para ello multiplicó los diámetros tabulados por el número π (cifrándolo en 3,14159), una vez transformados en pies, y por el ancho de la pirámide (para el que tomó el valor de 9131,05 pulgadas piramidales, ya reflejado en la segunda de las tablas anteriores), también expresado en pies. Los resultados obtenidos siempre fueron menores de lo previsto, indicando P. Smyth que con el diámetro ecuatorial más pequeño se obtenía un valor de 99919000000, mientras que con el mayor se llegaba a 99949000000. Realmente los resultados debieron ser un poco mayores, puesto que cometió un error por defecto próximo al 0,02 %. Los valores resultantes son, por tanto, 99938356416, en el primer caso y 999688414042 en el segundo. Naturalmente que los valores anteriores dependerían asimismo de la magnitud asignada al lado de la base de la Gran Pirámide.

Piazzi Smyth cita varias medidas al respecto. En primer lugar la de los Ingenieros franceses, extrayendo de la obra de Jomard el párrafo siguiente: “C’est entre les deux points les plus extérieurs de ces enforcements et avec beaucoup de soins et de précautions qu’ils mesurèrent la base. Ils la

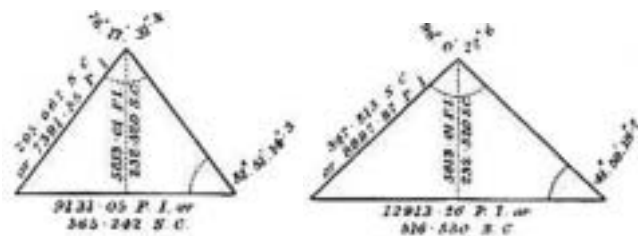


Dibujo de la pulgada piramidal realizado por Piazzi Smyth. Se ha incorporado un fragmento de regla centimétrica para que se aprecie la escala.

trouvèrent de 233,747 mètres”, una cantidad que transforma en 763,62 pies ingleses. Cuando los franceses abandonaron Egipto se realizó una nueva medida de la base, a cargo del Ordnance Survey, obteniendo su coronel Howard Vyse un valor de 764 pies, es decir 9168 pulgadas. Por último, menciona que, encontrándose él sobre el terreno en el año 1865, los ingenieros del mismo organismo Aiton e Inglis encontraron las cuatro cubos de las esquinas y hallaron el valor de 9110 pulgadas como media de los cuatro lados de la base. Finalmente, en la página 38 recoge otra medición inglesa efectuada cuatro años después, que rectifica el valor anterior para transformarlo en 9130 pulgadas. Una magnitud que, según Smyth, estaría mucho más cerca de las 9140 teóricas, asociadas a una de las singulares características geodésicas y astronómicas de la pirámide.

Antes de concretar esa propiedad, no viene mal recordar dos de las preguntas que se hacía P. Smyth a ese respecto. En primer lugar, dudaba de si el arquitecto de la Gran Pirámide habría estado al tanto del tamaño, forma y movimientos verdaderos de la Tierra y de si habría elegido intencionadamente el diámetro, contenido en su eje de rotación, como una referencia físicamente significativa que sirviera de patrón para todas las medidas empleadas en la construcción. La siguiente pregunta entraba ya en los detalles de tan peculiar propiedad, guardando una paradójica relación con la definición del metro propuesto en París. Efectivamente, habiendo supuesto que el eje polar media 500500000 pulgadas inglesas (de acuerdo con las mejores estimaciones de su tiempo), se preguntaba si la diezmillonésima parte del semieje, esto es 25,025 pulgadas, multiplicada por el número de días del año, es decir 365,2422, sería igual al verdadero valor del lado de la base de la pirámide y, en caso contrario, cuál sería la diferencia.

Al ser evidente que el producto es aproximadamente 9140 pulgadas, Piazzi Smyth trató de justificar tanto los errores por defecto de las primeras medidas (francesas e inglesas) como el cometido por exceso durante la última medición del año 1869. La explicación que da es razonable, señalando la dificultad inherente a la propia medida sobre un terreno cubierto por los restos fragmentados del primitivo recubrimiento



Dos secciones verticales de la Gran Pirámide dibujadas y acotadas por Piazzi Smyth, la de la izquierda es recta y la de la segunda diagonal. Las iniciales P. I. se refieren a las pulgadas piramidales, las S.C. se corresponden con las del codo sagrado. Ambos dibujos figuran en la ilustración nº XX, del libro “The Great Pyramid, its secrets and mysteries revealed”.

de la pirámide, de ahí que supusiera que los errores cometidos sólo deberían ser considerados como desviaciones del valor verdadero y teórico de 9140 pulgadas. La interpretación que hizo del resultado era obligada, teniendo en cuenta el exagerado misticismo de Piazzi Smyth: el cociente entre el lado de la base y el número de días era igual a 25,025, la longitud del denominado codo sagrado, en clara contraposición con la del codo profano usado por los egipcios, equivalente a 20,7 pulgadas inglesas. Con el primero, según él, se podían explicar mucho mejor las coincidencias más importantes entre las leyes del Cielo y las ordinarias de la Tierra en que habitamos.

Después de referirse a la geometría del elipsoide terrestre, nos introduce Smyth en otra analogía, más astronómica que geodésica, entre la Gran Pirámide y el Sol, para evaluar la distancia a que se encuentra de la Tierra. En esta ocasión recurre al trabajo efectuado por el egiptólogo W. F. Petrie, tras haber leído en 1867 el libro de Smyth *"Life and Work"*. Según aquél, si la circunferencia tipificada por la base de la Gran Pirámide podía simbolizar el año y si el radio de la misma coincidía con la primitiva altura del monumento, dicha línea debería representar también la órbita media de la Tierra alrededor del Sol, añadiendo *"and in the prortion of 109, or 1 to 1000000000; because, amongst other reasons, 10 : 9 is practically, in one mode of Beijing it, the shape of the Great Pyramid"*.



La base cuadrada de la pirámide y la circunferencia con radio igual a la altura de la misma. El dibujo acotado fue realizado por Piazzi Smyth.

Esa proporción 10 : 9 para la forma de la pirámide fue descubierta poco tiempo después por H. James y O'Farrel, dos oficiales del Ordnance Service Office. El cálculo de Petrie partió de que la altura de la pirámide era de 5819 pulgadas inglesas, para multiplicarla después por 10^9 y obtener así el resultado de 91840000, una vez expresado en millas. Como por aquel entonces se suponía que la distancia Tierra-Sol era del orden de 95234000 millas, Petri dio por zanjado el asunto y supuso que sus hipótesis de partida eran falsas. Sin embargo, pocos años después se verían confirmadas éstas, a juicio de Piazzi Smyth, ya que los valores asignados

a tal distancia por diferentes grupos de astrónomos oscilaba entre los 91 y los 93 millones de millas¹².

Otra de las cuestiones geodésicas que aborda Piazzi Smyth en su libro fue la de la orientación astronómica de la pirámide, señalando al iniciar el capítulo quinto, *Geographical Indications; from the position of Great Pyramid*, que el lector debería recordar que tan grandioso monumento se encuentra verdaderamente orientado, con sus caras enfrentadas a los cuatro puntos cardinales: Norte, Sur, Este y Oeste, desmontando de raíz la creencia de que toda la fenomenología asociada a la pirámide obedeciera tan sólo a la geometría pura. Aunque la orientación de algunas construcciones antiguas era un hecho suficientemente conocido, no dejó de sorprender a los expedicionarios franceses lo bien que la habían realizado cuando tuvieron ocasión de comprobarlo en el año 1799. El responsable de efectuar la reorientación fue el astrónomo N. A. Nouet, miembro del Instituto de Egipto como integrante de su Clase de Matemáticas, quien además instaló un observatorio con los mejores instrumentos de la época. La operación la realizó en el mes Nevoso¹³ del Año Republicano número 7, constatando que tan sólo existía una desviación próxima a los 19'58'', si bien Jomard añadiría después que el error cometido por los egipcios debió ser indudablemente menor, al haberse determinado el acimut de los lados actuales (tan evidentemente erosionados) y no el de los primitivos.

Inmediatamente después dio cuenta Piazzi Smyth del discurso que había pronunciado R. Hooke sobre los terremotos, en torno al año 1677, en el que trató además de la posible incidencia de los movimientos del eje de rotación terrestre sobre la variabilidad del acimut, haciendo una significativa transcripción de parte del mismo y reconociendo, por otra parte, la influencia que ejerció sobre él. Hasta el punto de resultar determinante para que finalmente se decidiera a determinar el acimut de los cuatro lados de la base, empleando la metodología astronómica más fiable, una vez reconocidas a ciencia cierta las zapatas de las cuatro esquinas que la definían; en esa determinación incluyó también los pasadizos

¹² En la Grecia clásica la Unidad Astronómica, es decir la distancia de la Tierra al Sol, se expresaba en función del diámetro de la primera (dT). Hiparco de Nicea, el más grande astrónomo de la antigüedad, decía que valía 1245 dT; en cambio Posidonio supuso que era mucho mayor, del orden de 5000dT. Un valor que permanecería prácticamente inmutable hasta que Kepler lo cifró en poco más de 66.5 millones de kilómetros. Gracias a los trabajos de G. Cassini se incrementó notablemente la cifra anterior, al deducir que la paralaje del Sol era de unos 8'' en lugar de los tres minutos que pensaba Copérnico, Tycho-Brahe y el propio Kepler. Ya en tiempos de Luis XIV se estimó en más de 144 millones de kilómetros, merced a las observaciones de La Caille en Ciudad del Cabo. Entre los años 1961 y 1963 se hacen unas determinaciones más exactas, tanto en la desaparecida URSS como en EEUU, con un resultado de 149598500 km, con error de ± 500 km. Actualmente se piensa que el valor medio de la Unidad Astronómica es de 149597870 km.

¹³ Esa denominación corresponde al cuarto mes del calendario republicano, referido al periodo comprendido entre el 20 de diciembre y el 18 de enero. Ese calendario se estableció por la Comisión Nacional el día 5 de octubre de 1793, comenzando el año en el equinoccio de otoño y constando de doce meses de 30 días cada uno, más cinco días complementarios que debían consagrarse a la celebración de las fiestas republicanas. De acuerdo con ello la comprobación efectuada por Nouet tuvo lugar en el año 1800 de nuestra era.



Los dos extremos de un codo real y profano

del interior de la pirámide. Tras rechazar, por poco rigurosos, los procedimientos magnéticos propugnados por algunos, optó por calcular el acimut de aquellas direcciones en función del que presentaría la estrella *Alpha Ursae Minoris*, la Estrella Polar, en el instante de su máxima digresión occidental.

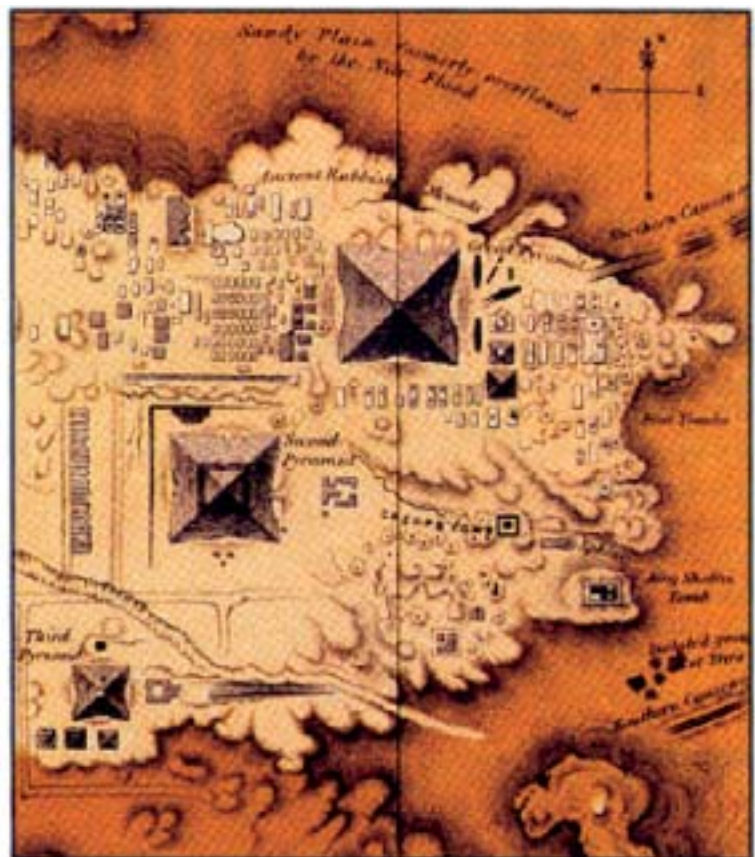
El instrumental empleado pertenecía al Real Observatorio de Edimburgo. Los detalles sobre las observaciones y cálculos realizados fueron recogidos en el segundo volumen de su obra "*Life and work at the Great Pyramid, 1867*", debiendo destacar sobre todo lo demás que la primera discrepancia de $19'58''$ se redujo a $4'30''$. La preocupación por la orientación del monumento alcanzó también a sus galerías, tal como detalla mucho después, en el capítulo XVII. Sirva de ejemplo la de la galería de acceso a la cámara subterránea de la pirámide, cuyo eje contiene al Polo Norte Celeste de la época en que fue construida, un punto idéntico por aquel entonces a la estrella α Draconis, ya citada en su momento.

Al tratar del posicionamiento de la Gran Pirámide, recuerda otra vez Smyth las disquisiciones teóricas de Hooke, añadiendo las homólogas realizadas por los académicos franceses, indicando que se apoyó en ellas para decidirse a estudiar esa cuestión. Por consiguiente, debería comprobar también el valor de la latitud para ver si coincidía con el teórico de 30° , supuestamente previsto por el arquitecto de la pirámide. Piazzi Smyth dedujo, tras varias noches de observación, que la latitud del lugar era igual a $29^\circ 58'51''$, es decir, muy próximo al valor anterior, hasta el punto que no lo consideró erróneo, máxime cuando el valor teórico se transformaría en el calculado al ser corregido por los efectos de la refracción atmosférica.

El difícil problema de la longitud lo resolvió Piazzi Smyth con tanta rapidez como imaginación, al igual que hicieron los Ingenieros Geógrafos franceses en el año 1799, que eligieron el meridiano de la pirámide como origen al efectuar el le-

vantamiento topográfico de aquellos territorios. Su elección no debió ser casual, pues tuvieron que ser conscientes de que la pirámide ocupaba el vértice más al Sur del Delta del Nilo y de que el plano vertical que la contenía cortaba a la costa egipcia en el lugar más septentrional de la misma.

Otra consideración interesante que cita Smyth es debida a H. Mitcheel, Chief Hydrographer del United States Coast Survey, quien suponía que las diagonales de la pirámide jugaban asimismo su papel en relación con el Delta, llegando a afirmar que ambas dividían los terrenos fértiles del



Mapa de las Pirámides de Giza realizado por Charles Piazzi Smyth. La escala del original era próxima a 1/6000.



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

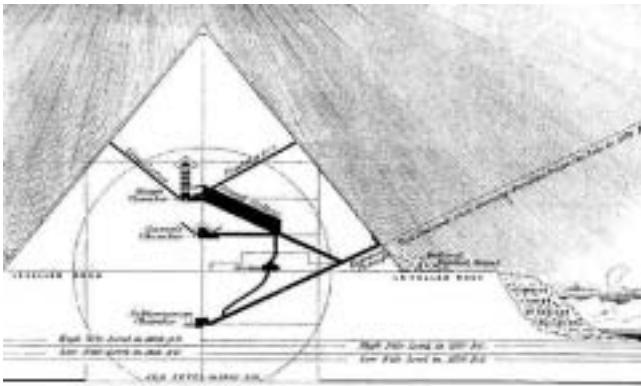
Disto
Software
Material de marcado
Servicio Técnico

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



Sección vertical de la Gran Pirámide, realizada por Piazzi Smyth, obsérvese en la parte inferior de la derecha el pasadizo y su prolongación hacia la estrella α de la constelación del Dragón.

mismo de una manera muy equilibrada. Al pensar además que la Gran Pirámide era sensiblemente el centro del arco con el que se podía asimilar el litoral del Delta, aseguró que ningún monumento construido por el hombre tenía una situación física más privilegiada.

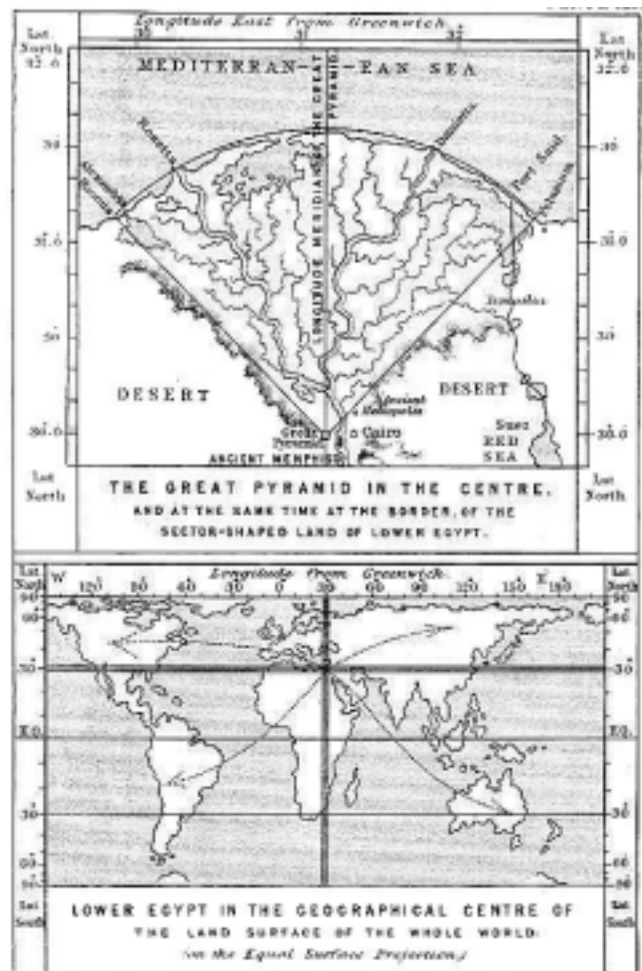
El meridiano de la pirámide gozaba también de otra propiedad de carácter más global, en opinión de W. Petrie. El pensó, con gran sagacidad, que de todos los meridianos posibles, el de la pirámide era el más terrestre de todos ellos, es decir, el que atravesaba menos superficie marina, llegando a definirlo como el más natural y al que deberían referirse todas las longitudes¹⁴. Por su parte, P. Smyth se permitió añadir que se pueden hacer las mismas consideraciones sobre el paralelo de 30°, una línea que corta más tierra que cualquier otra de latitud diferente. Esas dos propiedades tan notables de la Gran Pirámide eran finalmente comentadas por el autor en los siguientes términos: "... so that the two grand, solid, man-inhabited earth-lines, the one, of most land in any Meridian, and the other of most land in any Latitude, cross on the Great-Pyramid. And finally, on carefully summing up the areas of all the wide world over, the centre of the whole falls within the Great Pyramid's special territory of Lower Egypt". Piazzi Smyth se apoyó, para hacer esas afirmaciones, en un estudio cartográfico, tan poco conocido como interesante, que tituló "Equal Surface Projection" y que fue publicado en Edimburgo (1870).

4. LA CONTROVERSIA COMO EPÍLOGO

La aparición de los diversos trabajos de Piazzi Smyth en la Inglaterra victoriana desataron de inmediato la polémica, principalmente por su fuer-

te contenido místico. La controversia consecuente alcanzó unos extremos tan desagradables que nuestro autor se vio en la obligación de abandonar, muy a su pesar, una institución tan prestigiosa como la Royal Society de Londres en el año 1874.

Aunque es muy arriesgado terciar en una polémica como ésta sin contar con todos los elementos de juicio suficientes, es obligatorio subrayar que nunca se reconoció como debía el levantamiento topográfico pormenorizado y riguroso que realizó Smyth de la Gran Pirámide; uno de los más exactos, sino el que más, jamás realizado. También es muy cierto que su misticismo alcanzó cotas inimaginables, que, sin remedio, llegaron a desvirtuar la mayoría de sus análisis científicos cargados de buen sentido. Un ejemplo que puede considerarse significativo está relacionado con la fecha en que se produjo el diluvio universal. En la página 534 del capítulo XXII, centrado en este asunto esencialmente místico y por tanto acientífico, hace la media de doce fechas, previamente asignadas como posibles, llegando a la conclusión de que "el más importante suceso en la historia de la Biblia" ocurrió en el año 2741 a. C., añadiendo, para terminar, que en el año 1878 la cronología de la Gran Pirámide, también interpretada por el sacerdote A. Cachemaille, daba 2743 a. C.



La pirámide de Khufu como vértice del delta del Nilo y como centro del mundo. El mapamundi de la parte inferior es una proyección equivalente diseñada por Piazzi Smyth.

¹⁴ Ya Tolomeo eligió el extremo más oriental de las Islas Canarias, llamadas por él afortunadas, como el meridiano origen de longitudes. Muchos siglos después hicieron lo propio los académicos franceses, que ponderaban como ventaja principal el hecho de que toda Europa tenía una longitud del mismo signo. El actual meridiano de Greenwich fue establecido por G. Airy en el año 1851, poco más de 5.7 metros al este del que se venía empleando desde el año 1750. En el año 1884 se celebró en Washington la Conferencia Internacional del Meridiano, decidiéndose entonces que el meridiano de Greenwich sería el primer meridiano del mundo. Los franceses no lo reconocieron como tal hasta el año 1911, a pesar de tener la propiedad de que el antimeridiano (o línea de cambio de fecha) es esencialmente marino.



Oleo de Charles Piazzi Smyth y fotografía del de Cámara¹⁵ del rey, con un sarcófago en primer término.

El rechazo de sus trabajos traspasó fronteras y permaneció a lo largo de los años siguientes, sin conseguir separar su evidente fundamentalismo religioso de su buen hacer como geodesta experimentado y astrónomo encomiable. De nuevo vuelvo a recurrir al libro que refería al principio de este trabajo, *“Forma y Dimensiones de la Tierra”* (pág.19), pues de él he extraído una de las muchas críticas que recibió el marcado interés de P. Smyth por encontrar una explicación coherente a tan peculiares características astronómicas, geodésicas, geométricas y metrológicas. Me estoy refiriendo a un comentario realizado en el año 1966 por R. Taton, un historiador de la ciencia de reconocido prestigio (fue Director Científico del Centre National de la Recherche Scientifique), y que reza así: *“Todas las especulaciones hechas en torno a las cifras de la gran pirámide son puro infantilismo y habrían seguido siéndolo en el caso, en modo alguno verdadero, de que sus autores hubieran utilizado medidas y números exactos. Además ;Por qué la gran pirámide y sólo ella nos habría transmitido en forma, por otra parte, tan oscura y, por decirlo todo, impenetrable, una ciencia tan adelantada que superaría a la griega para emparejarse con la moderna? Hay en el Valle del Nilo, desde el Delta hasta el Sudán, más de 150 pirámides ¿Sólo la de Keops iba a darnos el verdadero valor del número π , la dimensión del radio de la Tierra, la medida exacta del meridiano terrestre? Está claro que tales hipótesis son absurdas y, recordémoslo, se fundan además en medidas inexactas”*. El párrafo hace una clara referencia, en mi opinión, a las opiniones de su compatriota Jomard y, sobre todo, a las numerosas especulaciones de Piazzi Smyth, mostrando una manifiesta parcialidad, también a mi juicio, que podría ser producto de la conocida animadversión de P. Smyth hacia el Sistema que él denominaba francés (aunque no evitara elogios al buen trabajo llevado a cabo por los miembros de tan importante operación científica en el año 1799).

Pretender ignorar hoy día la existencia de innegables propiedades, ciertamente sorprendentes, de la Gran Pirámide relacionadas con las Ciencias de la Tierra carece de sentido. Peor aún es, en el supuesto de acep-

tar su existencia, achacarlas a la pura casualidad. Todo ello no evita que carezca de explicación aparente el hecho de lograr semejantes resultados con unas técnicas que suponemos rudimentarias, al compararlas con las actuales, y con unos fundamentos teóricos que no alcanzarían un nivel medio de conocimientos, de acuerdo con nuestros actuales patrones de medida. El propio protagonista compartía, en cierto modo, esa opinión cuando en la página 91 venía a decir que los que dirigieron la construcción de la Gran Pirámide podían haber procedido de otro país, con latitud y longitud diferentes, añadiendo que, inmediatamente después de construirla de modo tan perfecto, podrían haber vuelto a su lugar de origen. Otra de las posibilidades apuntada por Smyth fue fruto de su irracional afán de querer solucionar demasiadas cosas con la Biblia; así habría que entender el que creyera que también podía haber sido diseñada por el mismo Dios, para situarla en tierra egipcia como un altar que denotase su presencia.

¹⁵ De esta Cámara real, y del sarcófago, hace Smyth interesantes elucubraciones metrológicas, geodésicas y astronómicas. De todas ellas he optado por citar la siguiente, que según él se cumple si se considera previamente que las pulgas piramidales de la cámara significan codos sagrados del exterior de la pirámide. Suponiendo que el largo de la Cámara, 412.132, fuera el diámetro de una circunferencia, el área del círculo limitado por ella sería idéntica a la de un cuadrado de lado igual a 365.242 codos sagrados. Una cantidad que representa no solo la media de todas las medidas del lado de la base piramidal, sino que también indica el número de días solares medios del año trópico. Piazzi Smyth lo comprueba, aplicando logaritmos, en la página 199 del capítulo X (*“Confirmations, of the Exterior, by the Interior, measures of Great Pyramid”*); el lector interesado puede hacer lo propio con una sencilla calculadora. El sarcófago también centró la atención de Smyth, entre las muchas propiedades que le achacaba (metrológicas fundamentalmente) cabe destacar el hecho de que sus dimensiones (medidas tanto por él como por los Ingenieros Geógrafos franceses) guardaban relación con la densidad media de la Tierra. Según Piazzi Smyth, su volumen en pulgadas cúbicas (71250) dividido por la décima parte de cincuenta pulgadas cúbicas daba como cociente la densidad media de la Tierra, es decir $71250/12500 \approx 5.7$; una cantidad que “la ciencia podría confirmar en el futuro” y que mientras tanto era muy parecida al valor medio de los obtenidos hasta ahora (se estaba refiriendo a la reciente determinación de H. Cavendish en 1798, así como a los posteriores de F. Baily y de G. B. Airy). El número 50, como el 25, era considerado por el astrónomo escocés clave para el análisis geométrico que realizó, máxime cuando 50 pulgadas piramidales equivalían a la diezmillonésima parte del eje menor del elipsoide terrestre.



Carta Celeste que ilustra la presentación del artículo de K. Spence en la revista Nature. La presentación la escribió O. Gingerich, catedrático de Astronomía y de Historia de la Ciencia en la Universidad de Harvard.

Digamos, a modo de conclusión, que el interés por el estudio geodésico y astronómico de la Gran Pirámide ha estado y sigue estando presente en la comunidad científica. Quizás una de las pruebas más concluyentes, que certifica esta afirmación, sea la que apareció publicada, el día 16 de noviembre del año 2000, en una revista tan prestigiosa como es *Nature* (*Internacional weekly journal of science*). El título del artículo fue "Ancient Egyptian chronology and the astronomical orientation of pyramids", siendo su autor Kate Spence, profesor en la Facultad de Estudios Orientales de la Universidad de Cambridge.

K. Spence trata de demostrar que para orientar la pirámide se usó la alineación celestial de dos estrellas brillantes de las constelaciones de la

Osa (Mayor y Menor), explicándose así que pudiesen cometer un error inferior a los tres minutos de arco. En efecto, estudios basados en la precesión equinoccial permiten probar que en torno al año 2500 a.C. las dos estrellas circumpolares Mizar, en la Osa Mayor, y Kocab, en la Osa Menor, estaban alineadas con el Polo Norte Celeste y localizadas a uno y otro lado del mismo; es decir, que la culminación superior de una se producía en el mismo instante que la culminación inferior de la otra. Concretamente, Kate vino a demostrar que en el año 2467 a. C. la línea invisible que unía las dos estrellas era vertical y contenía al citado Polo, de manera que el plano vertical formado por el observador y la línea estelar coincidiría con el plano meridiano del mismo, pudiendo ser inmediato el determinar su intersección con el plano del horizonte, esto es, la dirección Norte-Sur.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GILLINGS R. J. "Mathematics in the time of the pharaohs". Nueva York. 1982.
- LEVALLOIS J. J. "Mesurer la Terre, 300 ans de geodesie française, de la toise du Châtelet au satellite". París. 1988.
- MAINDRON E. "L'Académie des Sciences, histoire de l'Académie, fondation de l'Institut National. Bonaparte membre de l'Institut Nacional". París. 1888.
- ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY. "Report of the Council of the eighty-first general meeting of the Royal Astronomical Society". 1901.
- RUIZ MORALES M., RUIZ BUSTOS M. "Forma y Dimensiones de la Tierra, síntesis y evolución histórica". Barcelona. 2000.
- SPENCE K. "Ancient Egyptian chronology and the astronomical orientation of pyramids". Nature vol. 408 (www.nature.com).
- SMYTH P. "The Great Pyramid, its secrets and mysteries revealed". Nueva York. 1994. ■



Una nueva dirección

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

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

SOKKIA

Novedades Técnicas

ALTA CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO FERROVIARIO CON EL GPR3000 DE LEICA

El Jefe de Topografía de los Servicios Técnicos de GRUPO COMSA, Jesús Gimeno, que cuenta con más de 30 años de experiencia profesional, es pionero en el uso de la metodología de control de posicionamiento, nueva construcción y realineamiento de vías por el método de coordenadas absolutas.

GRUPO COMSA, cuyos orígenes se remontan a 1891, ofrece un servicio integral al sector ferroviario, que va desde el estudio inicial y el proyecto de ingeniería, hasta la construcción, renovación y mantenimiento de líneas ferroviarias. En los últimos años, además, el Grupo ha diversificado su actividad hacia los ámbitos de construcción en obra civil, edificación, inmobiliario, medio ambiente y concesiones, entre otros. El Área Técnica de GRUPO COMSA ofrece su soporte a todos estos negocios. Dentro de esta área, Jesús Gimeno lidera la sección de topografía, en la que, en 1994, empezaron a desarrollar métodos de trabajo que ofrecieran un servicio de alta precisión a sus clientes a través de tecnologías combinadas, GPS y topografía clásica.

Con el GRP3000 de Leica se puede alcanzar el nivel de precisión requerido por los pliegos de condiciones técnicas necesarios para trabajar en líneas de alta velocidad. Éste es el caso del mantenimiento de la línea de alta velocidad (AVE) entre Madrid y Barcelona, en el tramo adjudicado a COMSA, desde Zaragoza a Medinaceli, aproximadamente 185 kilómetros de doble vía en los que se utilizan estos sistemas topográficos para el análisis geométrico.

En su apuesta por la tecnología puntera, COMSA utiliza el GRP de Leica tanto para el posicionamiento topográfico de la construcción de la vía



como en el mantenimiento de las vías de alta velocidad, de metropolitanos, tranvías y todo tipo de infraestructura ferroviaria. Uno de los proyectos en los que Jesús Gimeno ha trabajado últimamente con este sistema es el mantenimiento de la línea de AVE Madrid-Barcelona, en el tramo de Zaragoza a Medinaceli. Casi 185 km de doble vía en los que a causa del paso de los trenes se producen deformaciones en la geometría de las vías, que se corrigen mediante el proceso topográfico con GRP.

“Las vías se deforman porque no están sujetas a un soporte rígido, como puede ser una estructura de hormigón”, comenta Gimeno. “Están colocadas sobre el balasto y se deforman al paso de los trenes por los esfuerzos





producidos por las cargas de los trenes y otros agentes externos. Con el GRP3000 realizamos el control de esas deformaciones para devolverlas a su posición de origen”.

Uno de los procesos iniciales para detectar las desviaciones geométricas consiste en hacer circular un vagón auscultador, que mide las aceleraciones, tanto verticales como transversales, y registra dónde se producen las mayores aceleraciones. A partir de estos datos se determinan las zonas afectadas. Es entonces cuando el equipo de topografía “...se dirige a esa zona y se toman los datos topográficos necesarios para conocer de forma cuantitativa la deformación geométrica que se ha producido. A continuación, se calculan automáticamente los desplazamientos para la corrección de la vía, tomando como referencia la posición teórica de la vía en proyecto. Estos datos se envían automáticamente a las bateadoras, que corregirán la vía a la posición requerida” explica el Jefe de Topografía de GRUPO COMSA. Las ventajas de este método de coordenadas absolutas residen en la obtención de unos resultados de calidad, a los que se añade, por otro lado, la facilidad de transmisión de los datos de manera automática entre topografía y maquinaria pesada. De esta forma se evitan los posibles errores en la transformación de los datos a los distintos formatos necesarios para el lenguaje de la maquinaria pesada.

A la pregunta de por qué apuesta por los productos Leica, Jesús Gimeno tiene una respuesta clara: “La calidad de los productos Leica está sobradamente demostrada. El uso diario así lo demuestra. Durante el primer año otros productos pueden dar resultados similares, pero a partir de ese momento se aprecia la calidad y la durabilidad en el tiempo. Leica responde en condiciones extremas”.

Con el método de coordenadas absolutas, el GRP demuestra toda su funcionalidad, aportando informaciones en un todo uno. Con el GPR3000 “controlas la posición absoluta, es decir, se conoce la posición en el espacio (X, Y, Z) de los carriles en su posición actual y se determinan los desplazamientos a ejecutar para llevar la vía a la posición (Xt, Yt, Zt) teórica que se definió en el proyecto de origen, conjuntamente con otras mediciones simultáneas de ancho de vía, peralte y puntos o perfiles transversales completos, para compararlos con los gálibos teóricos. Así, se podrá crear un histórico de las deformaciones producidas y a partir de ellas generar un análisis para intentar conocer las causas que producen esas deformaciones”, asegura Gimeno. “Con el modo relativo se podían conocer las deformaciones geométricas, pero nunca compararlas con teóricos absolutos ni ge-

nerar históricos precisos; podías tener la posición geométrica de la vía prácticamente bien, ya que aunque estuviera desplazada toda la vía 10 cm de la posición teórica para la que se había proyectado, estaría paralela, por lo que su geometría sería correcta, pero en cambio no estaría situada en la posición absoluta correcta. El sistema GRP nos permite eliminar ese riesgo”.

Como Jefe de Topografía de los Servicios Técnicos de GRUPO COMSA, el trabajo de Jesús Gimeno no se limita a dar servicio a los negocios, también estudia las novedades de mercado, propone nuevos métodos, los aplica y controla los resultados. Cuando desarrolla el método de coordenadas absolutas, se puso en contacto con Jaime Fernández, Director General de Leica en España y Portugal, para que Carlo Bonano, responsable de Sistemas de Ingeniería de Leica Geosystems en Italia, que participó personalmente en el desarrollo del sistema GRP, le hiciera una demostración del nuevo sistema en la línea de AVE entre Madrid y Sevilla: “Vi que era el producto que intentábamos crear. Teníamos la idea predispuesta y fija, estábamos pensando en un producto concreto y... ¡resulta que ya estaba desarrollado!”.

Gimeno asegura, con conocimiento, que “es uno de los mejores productos del mercado, con unos resultados de precisión y calidad”. Destaca entre sus características la precisión, la durabilidad y la calidad. Uno de los ejemplos donde el GPR ofreció unos resultados únicos fue durante el trabajo que el equipo de topografía de COMSA realizó en el Túnel de Paracuellos (Zaragoza), de casi 5 km de longitud.





El túnel de Paracuellos del Jarama es una de las mayores estructuras situadas en la línea de alta velocidad (AVE) entre Madrid y Barcelona. El túnel atraviesa una zona geológica bastante compleja para la construcción. La línea ferroviaria entre Madrid-Barcelona-Francia mide 796 km de longitud y actualmente es uno de los proyectos ferroviarios más significativos de Europa. Los parámetros de la vía cumplen con el estándar europeo para la alta velocidad (350 km/h), con un radio horizontal mínimo de 6.615 metros, un radio vertical mínimo de 25.000 metros (normalmente 40 km) y una pendiente máxima de 2,5%. El tramo de la línea que está en obra entre Madrid y Lérida es de 469,2 km y tiene 82 viaductos, que suman un total de 25.283 m de longitud, y 17 túneles, que totalizan 24.252 m. Según Gimeno, "...en estos tipos de túneles y viaductos la precisión topográfica es la prioridad. Hicimos unos controles geomé-

tricos asociados al gálibo teórico del túnel para controlar el gálibo cinemático del tren. El trabajo se ejecutó con una gran rapidez, ya que se realizaron ochocientos perfiles de 40 puntos por perfil, aproximadamente, en un par de semanas. Si no se hubiese realizado con el GRP y utilizando estaciones totales de nueva tecnología con medidores láser sin reflector y dependiendo del mismo número de técnicos que con el GRP, el tiempo necesario para la misma toma de datos hubiera sido aproximadamente de cuatro veces más. Además, creo que el aumento de la calidad y la rapidez en la ejecución de los trabajos topográficos siempre se traduce en un beneficio en los costes".

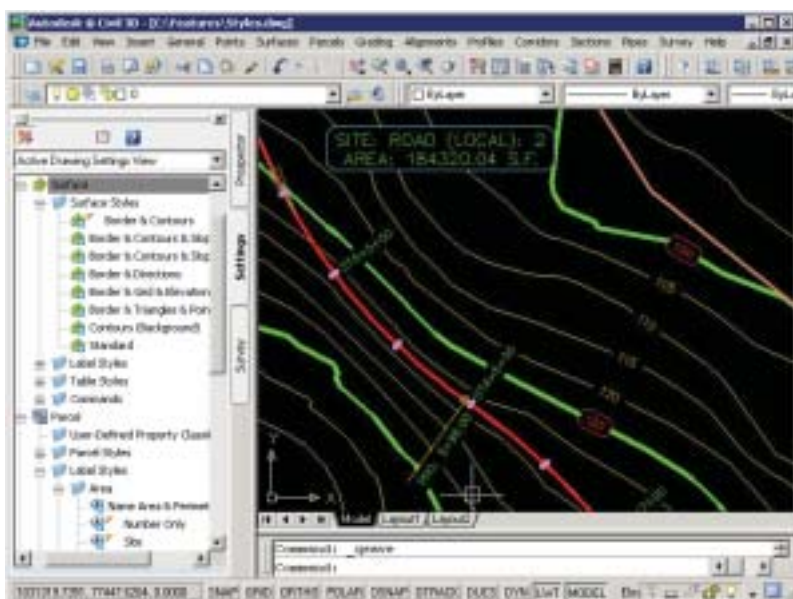
Gimeno constata que la flexibilidad del sistema GRP de Leica Geosystems, con su versatilidad en cuanto a las configuraciones para aplicaciones puntuales y concretas del cliente, "...es un sistema único que engloba todas las herramientas para la medición en el mantenimiento y en la construcción de la vía ferroviaria. La calidad de los productos Leica está sobradamente demostrada. El uso diario así lo demuestra. Durante el primer año otros productos pueden dar resultados similares, pero a partir de ese momento se aprecia la calidad y la durabilidad en el tiempo. Leica responde en condiciones extremas".

"Con el GPR3000 controlas la posición absoluta, es decir se conoce la posición en el espacio (X, Y, Z) de los carriles en su posición actual y se determinan los desplazamientos a ejecutar para llevar la vía a la posición (X, Y, Z) teórica que se definió en el proyecto de origen, conjuntamente con otras mediciones simultáneas de ancho de vía, peralte y puntos o perfiles transversales completos para compararlos con los gálibos teóricos. Así se podrá crear un histórico de las deformaciones producidas y a partir de ellas generar análisis para intentar conocer las causas que producen esas deformaciones".

AUTODESK PRESENTA UNA NUEVA GENERACIÓN DE SOLUCIONES DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOESPACIAL PARA EL MERCADO DE INFRAESTRUCTURAS, CARTOGRAFÍA Y GIS

Autodesk, recientemente clasificada como la compañía de Gestión de Información Espacial (SIM) de más rápido crecimiento en el mundo

según IDC, anuncia el lanzamiento de los productos de software Autodesk Civil 3D 2007, Autodesk Map 3D 2007 y Autodesk Raster



Design 2007. Estas nuevas soluciones permiten la integración del diseño asistido por ordenador (CAD) y los datos del sistema de información geoespacial (GIS), permitiendo a los clientes crear, gestionar y compartir valiosa información espacial para una mejor toma de decisiones y una mejor eficiencia operativa. Al permitir un acceso sin precedentes a los datos espaciales por toda la organización del cliente, Autodesk ayuda a los clientes de municipios, ingenierías y constructoras, obras públicas, transporte y servicios a ser más productivos y ofrecer mejores servicios.

Basándose en su estrategia de resolver los desafíos críticos de negocio, las soluciones de gestión de información espacial de Autodesk ayudan a los clientes a acelerar los tiempos de llegada al mercado y a lograr la máxima productividad y eficiencia en los proyectos. Estas soluciones proporcionan un entorno abierto y flexible que hacen

que los valiosos datos espaciales sean fáciles de utilizar y de gestionar. Las soluciones de gestión de información espacial de Autodesk incluyen Autodesk Civil 3D 2007, Autodesk Map 3D 2007, Autodesk Raster Design 2007, Autodesk MapGuide. Autodesk Civil 3D y Autodesk Map 3D, las cuales están construidas sobre la plataforma AutoCAD 2007 y permiten a los clientes crear, gestionar y compartir datos con una eficiencia y productividad mejoradas.

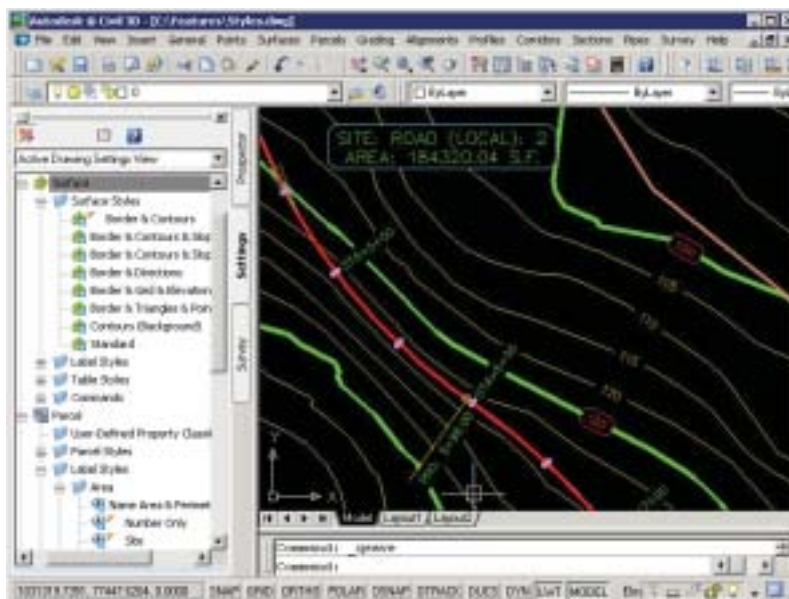
El software Autodesk Civil 3D 2007 utiliza un modelo dinámico de ingeniería, probado en la industria, que mantiene relaciones inteligentes entre los objetos. Un cambio realizado en un lugar se actualiza en todo el proyecto, ayudando a completar los proyectos de transporte, ubicaciones, cubiertas y subdivisiones más rápido y con más precisión. Todos los miembros del equipo trabajan a partir del mismo modelo consistente y actualizado, por lo que pueden permanecer sincronizados durante todas las fases del proyecto, incluyendo la de estudio, diseño, trazado, *reporting*, análisis y visualización. Las nuevas características incluyen:

- Funcionalidad de estudio integrada
- Capacidades de multi-usuarios ampliadas
- Flexibilidad de diseño incrementada
- Mejoras en los dibujos de producción
- Interoperabilidad de datos geoespaciales mejorada
- Todos los beneficios de AutoCAD y Autodesk Map 3D 2007.

Autodesk Map 3D 2007 es la plataforma líder para crear y editar datos espaciales, ofreciendo una práctica funcionalidad de creación de mapas para los ingenieros y profesionales geoespaciales que necesitan una forma abierta y flexible de integrar la información CAD y GIS. Complementa las implementaciones GIS existentes, proporcionando un acceso escrito y leído a una amplia variedad de fuentes de datos geoespaciales. Autodesk Map 3D permite una rápida carga, edición y gestión de grandes volúmenes de conjuntos de datos geoespaciales y automatiza todos los flujos de trabajo, a partir de la creación de datos geoespaciales, a través de la web y de la publicación en intranets. Las nuevas características incluyen:

- Mejoras en el rendimiento de los gráficos a escala para los datos geoespaciales
- Nuevas herramientas de estilo para la creación de mapas y diseños atractivos
- Capacidades de gestión de datos mejoradas
- Capacidad para importar datos de diseño Autodesk Civil 3D
- Fácil publicación de datos espaciales vía MapGuide Open Source.

Autodesk Raster Design 2007 permite a los usuarios editar o sectorizar los dibujos escaneados sin tener que realizar un costoso rediseño. La funcionalidad mejorada permite a los usuarios integrar los mapas, las fotos aéreas, las imágenes de satélite y los modelos digitales de elevación



para mejorar las presentaciones y las entregas de diseño y proyecto. Las nuevas características incluyen:

- Soporte para archivos ESRI GRID
- Soporte de lectura para datos de formato de elevación DTED procedentes de NIMA (National Imaging and Mapping Agency)
- Nueva biblioteca JPEG2000 para una eficiencia incrementada.

Cientos de miembros de la Red de Desarrolladores de Autodesk (ADN) están ya distribuyendo productos y aplicaciones complementarias compatibles con la línea de producto 2007 de Autodesk. ADN fue creada por Autodesk para suministrar a los desarrolladores de software comercial e independiente los recursos necesarios para construir aplicaciones de software especializadas que cubren las necesidades de una amplia variedad de clientes, en una gran diversidad de sectores.

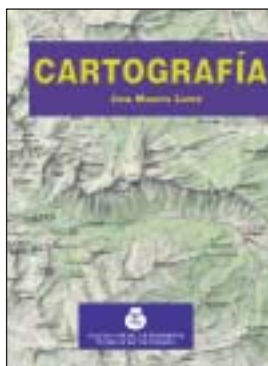
Los clientes cuentan con diversas opciones cuando decidan adquirir e implementar el software de Autodesk. Autodesk Subscription proporciona una alternativa para las actualizaciones y ofrece beneficios añadidos. Los clientes por suscripción reciben las últimas versiones de sus licencias de software Autodesk, soporte web directo por parte de Autodesk, opciones de formación a medida, y una amplia variedad de beneficios tecnológicos y empresariales, por una cuota anual.

Autodesk Consulting está disponible para los clientes que desean maximizar el valor de su inversión en tecnología Autodesk, a través de una asesoría y formación integradas. La formación presencial local está también disponible a través de los 1.200 Centros de Formación Autorizados de Autodesk, con instalaciones en más de 75 países de todo el mundo

Autodesk Civil 3D 2007 y Autodesk Map 3D 2007 estarán disponibles a partir del mes de junio a través de los canales de distribución de Autodesk.

Para más información sobre estos productos, visite www.autodesk.es/infraestructuras o, si lo prefiere, llame al 902 12 10 38.

Libros Técnicos



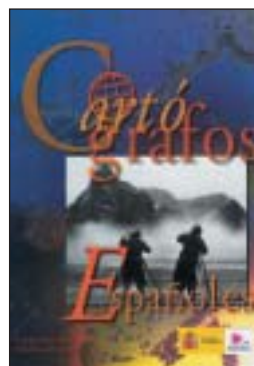
Título: Cartografía
Autor: José Martín López

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



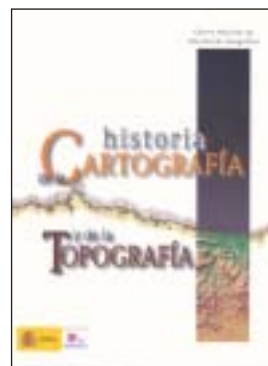
Título: Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000
Autores: Luis Urteaga y Francesc Nadal

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



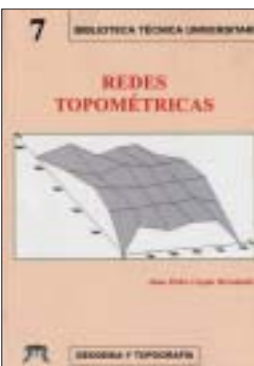
Título: Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital
Autor: José Luis Lerma García

43,34 € Ref. 5006



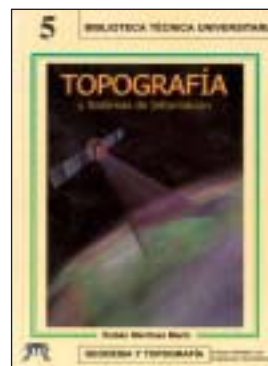
Título: Fotogrametría analítica
Autores: Felipe Buill - Amparo Núñez - Juan José Rodríguez

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



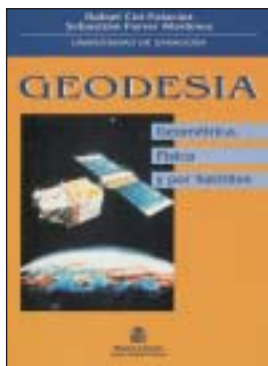
Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

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



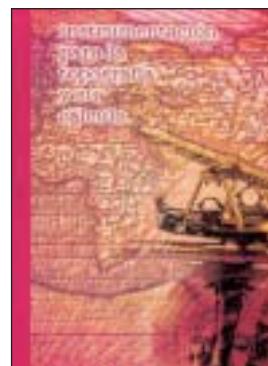
Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

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

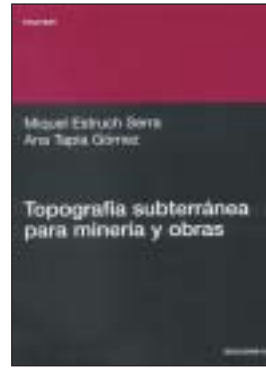
26,75 € (+CD por 33,70 €)
Ref. 7001



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**
 Autores: Miquel Estruch Serra y Ana Tapia Gómez
30,00 € Ref. 804



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



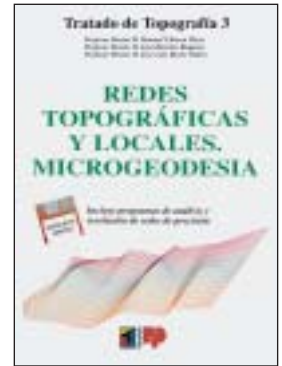
Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
 Autor: Alonso Sánchez Ríos
15,70 € Ref. 6003



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

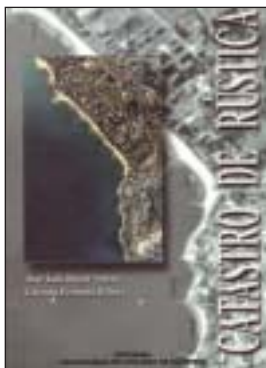


Título: **Tratado de Topografía 2**
 Autores: M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné
51,10 € (42,10 € coleg.) Ref. 2002



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

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



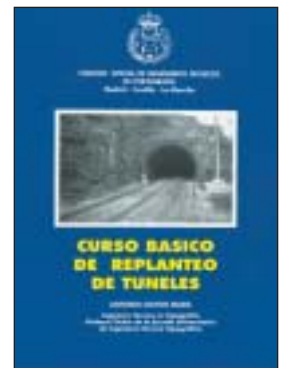
Título: **Catastro de Rústica**
 Autores: José Luis Berné Valero y Carmen Femenia Ribera
31,68 € Ref. 5005



Título: **Introducción a las Ciencias que estudian la Geometría de la Superficie Terrestre**
 Autores: J.J. de San José, J. García y M. López
30,10 € Ref. 6001



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.**

Bibliografía

Complementos Geodésicos y Cartográficos

Mario Ruiz Morales

Universidad de Granada

Granada 2005

149 págs.

En demasiadas ocasiones, algunos de los libros dedicados al estudio de la Topografía y de la Fotogrametría no analizan, aunque sea de manera sucinta, las cuestiones astronómicas, cartográficas y geodésicas que, paradójicamente, son imprescindibles para entender cabalmente el significado y aplicaciones de esas dos disciplinas. Con el ánimo de paliar en lo posible tal deficiencia, se publica este manual.

Su primera parte se centra en la definición de las coordenadas astronómicas y geodésicas, cuya relación, que no es en absoluto trivial, se demuestra apoyándose en los imprescindibles sistemas de referencia, tanto geocéntricos como topocéntricos. La segunda parte es esencialmente un resumen de la conformidad, propia de la Cartografía Matemática, que desemboca en el estudio detallado de la Proyección Lambert que es, junto a la UTM, el prototipo de los sistemas cartográficos conformes generalmente empleados. Los últimos capítulos se dedican a la cartografía topográfica, detallando sus principales peculiaridades, terminando con unos breves apuntes sobre los organismos cartográficos, destacando de entre todos ellos al referente principal en España, el Instituto Geográfico Nacional.

El libro consta de dos anexos incluidos al final. El primero es la Ley de Ordenación de la Cartografía, que regula este tipo de actividad en España, otorgando un especial protagonismo al Mapa Topográfico Nacional, el producto cartográfico más genuino del Instituto geográfico Nacional. El segundo es un listado en el que se relacionan los organismos cartográficos europeos, incluyendo su dirección postal y la electrónica, cuando ha sido posible.

El autor, D. Mario Ruiz Morales, es Ingeniero Técnico en Topografía, Doctor en Matemáticas y miembro por oposición del Cuerpo de



Ingenieros Geógrafos del Instituto Geográfico Nacional, organismo en el que presta sus servicios desde el año 1965, habiendo desempeñado el cargo de responsable de la Delegación Territorial de Andalucía Oriental de dicho organismo durante muchos años. Es Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Camino, Canales y Puertos de la Universidad de Granada. Es autor de numerosos libros y artículos, tanto técnicos como relativos a la historia de la ciencia y, en particular, de las Ciencias de la Tierra.

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

Vida Profesional

FESTIVIDAD DE SAN ISIDORO DE SEVILLA



D. Pedro J. Cavero Abad, Decano del COITT, haciendo entrega de la placa al colegiado jubilado D. Miguel A. Muñoz Gracia

El pasado 22 de abril tuvo lugar en Madrid la celebración de los tradicionales actos conmemorativos de la festividad de San Isidoro de Sevilla, patrón de los Ingenieros Técnicos en Topografía, organizados por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía y la Delegación Territorial en Madrid del mismo.

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

A continuación, los asistentes se desplazaron al Palacio de Congresos de Madrid, en cuyo Salón de Banquetes, el Decano del COITT, D. Pedro J. Cavero Abad, dirigió unas palabras a los asistentes, procediendo después a hacer entrega de una placa, como homenaje y reconocimientos a sus muchos años de dedicación profesional, a cada uno de los siguientes Ingenieros Técnicos en Topografía colegiados que se han jubilado en este último año o han alcanzado en activo la edad de 68 años:



El Decano del COITT, D. Pedro J. Cavero Abad, haciendo entrega de la placa al colegiado jubilado D. Francisco Haro Monreal

D. Gregorio F. Cruz germández	D. Nicolás Lasheras Moreno
D. Luis Martín Domingo	D. Miguel A. Muñoz Gracia
D. Rafael Losilla Martínez	D. Carlos Ciruelos Guijarro
D. Inocencio Serrano García	D. Luis Gil Fuentes
D. José Carlos Fernández del Barrio	D. José Luis Dávila Trocoli
D. José María Cuesta Álvarez	D. Ricardo Bas Santa Cruz
D. Juan Tomás Sánchez	D. Manuel Hernández Romero
D. José Luis Areense Medina	D. Enrique del Pozo Cebrián
D. Manuel Pastor San Román	D. Bienvenido Calzadilla Cristóbal
D. Manuel Gutiérrez Cabañas	D. Francisco Haro Monreal
D. Alfonso Sala Juanola	D. Manuel Peinado Aznar
D. Juan A. González Arribas	D. José E. García Oset
D. Fernando Alfaro Moscoso	D. Elías Ortega Ariza
D. Ramiro Moreno Halcón	D. Miguel Cortés Pérez
D. Jorge C. Garrido Úbeda	D. Canuto Hortigüela Hortigüela
D. José Granado Quintero	D. Miguel Díaz Montero
D. José Martínez Manuel	D. José I. Uriarte Ildir

En el acto de entrega se hizo una especial mención a las jubilaciones de D. Miguel A. Muñoz Gracia, anterior Decano del COITT, así como Colegiado de Honor, y D. Francisco Haro Monreal, quien durante muchos años fue Secretario General del COITT, quienes recogieron su placa.

A continuación se procedió a la entrega de distinciones de Colegiado Distinguido a D. Víctor Paredes Miguel y de Colegiado de Honor a D. Manuel Chueca Pazos, quienes las recibieron de manos del Decano del COITT, D. Pedro J. Cavero Abad.



D. Víctor Paredes Miguel recibiendo las distinciones de Colegiado Distinguido de manos del Decano del COITT



De izquierda a derecha, D. Víctor Paredes Miguel, Colegiado Distinguido, D. Pedro J. Cavero Abad, Decano del COITT, y D. Manuel Chueca Pazos, Colegiado de Honor

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

Como conclusión, se sirvió un cóctel a los asistentes.



D. Manuel Chueca Pazos recibiendo las distinciones de Colegiado de Honor de manos del Decano del COITT en presencia de D. Fernando Cruz Argibay, Secretario General del COITT

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

El pasado 6 de abril, el jurado nombrado por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, organizador del V Premio San Isidoro para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica presentados durante el año 2005, y constituido por D. Antonio M. Luján Díaz (Profesor de la UPM), D. José Antonio Sánchez Sobrino (IGN), D. Javier González Matesanz (IGN) y D. Carlos Barroso Gómez (Director de *Topografía y Cartografía*), decidió por unanimidad conceder los siguientes premios:

Primer Premio, dotado con 1.500 € y diploma acreditativo, para el trabajo titulado *“Modelado 3D de la Iglesia de San Benito Abad”*, de **D. Mariano Veneros Gómez**, siendo tutores del mismo D. Javier Gómez Lahoz y D. Diego González Aguilera, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingeniería Geodésica, Cartografía y Topografía de Avila.

Segundo Premio, dotado con 900 € y diploma acreditativo, para el trabajo titulado *“Diseño Geométrico del Trazado de un Circuito de Competición para Fórmula 1”*, de **D. Alfonso Enrique Ponz**, siendo tutor del mismo D. Enrique Priego de los Santos, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingeniería Geodésica, Cartografía y Topografía de Valencia.

Tercer Premio, dotado con 450 € y diploma acreditativo, para el trabajo titulado *“Elaboración del Mapa Turístico y Excursionista de Jalance a escala 1:25.000”* de **D. Óscar García Costa**, siendo tutor del mismo D. Jesús Irigoyen Gaztelumendi, y que fue presentado en la E.T.S. de Ingeniería Geodésica, Cartografía y Topografía de Valencia.

El acto de entrega de los premios a los autores de los proyectos declarados ganadores, así como a los tutores de los mismos, se realizó en los actos que, con motivo de la celebración de San Isidoro, organizó la Junta de Gobierno del COITT y que tuvieron lugar en Madrid el pasado 22 de abril.

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



De izquierda a derecha, el ganador del V Premio San Isidoro, D. Mariano Veneros Gómez, el Decano del COITT y D. Diego González Aguilera, uno de los tutores del trabajo ganador



D. Alfonso Enrique Ponz recibiendo el 2º premio del V Premio San Isidoro de manos del Decano del COITT



El Decano del COITT haciendo entrega del 3º. Premio del V Premio San Isidoro a su ganador, D. Óscar García Costa

CURSO DE CLIP EN GRANADA

Organizado por la Delegación Provincial en Granada del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, se celebró, durante los días 22 y 29 de abril de 2006, un curso de CLIP para I.T. en Topografía colegiados y no colegiados, así como para técnicos de otras especialidades.

Las clases fueron impartidas por D. Fernando Hernández Méndez, colegiado adscrito a la Delegación de Granada y gran conocedor del programa, en las instalaciones del Centro de Enseñanza Ave María San Cristóbal, a cuyo director queremos agradecer públicamente desde estas líneas su colaboración.

Asistieron veinte personas, que era el total del número de plazas, y a juzgar por las encuestas realizadas tras la finalización del mismo, hay que decir que el grado de satisfacción fue elevado, habiendo propuestas solicitando un segundo curso de CLIP avanzado y otras referidas a ISTRAM, MDT, SIG, GPS, ARC INFO y CATASTRO.

Creemos sinceramente que ésta es una buena línea a seguir, pues se trata de ofrecer a los colegiados, por parte del Colegio, los servicios que demandan, entre los que se encuentran los cursos de postgrado, que les ayudan a mantenerse al día en las nuevas técnicas y sistemas para poder competir con otros profesionales en los campos de la Obra Civil, Edificación, Topografía, etc., a precios más ventajosos de los que ofrece el mercado para este tipo de cursos y que, a buen seguro, redundarán en



Asistentes al curso de CLIP organizado en Granada

una mejor proyección de nuestra profesión y de los profesionales que la integran.

Al final del curso, se hizo entrega de un Diploma de asistencia a todos los participantes en el mismo y también, como no, de la documentación y el manual del curso en CD, todo ello elaborado y con cargo a la Delegación Provincial en Granada del COITT.

este verano tu
vete a la playa
mientras

atlas forma

Planifica tu formación para el
otoño

En septiembre y octubre

AutoCAD Avanzado 2006

Protopo

GPS



atlas forma, S.L.

C/ Camino de las ceudas, nº 2 bis Of. N.

28230 Las Rozas Madrid

91 636 38 19

627 53 53 78

Fax 902 022 965

atlas@atlasforma.com

Elige fecha y hora.
Máندانos un Email
con tus preferencias

TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

SI DESEA ESTAR AL DÍA Y TENER INFORMACIÓN MUNDIAL SOBRE TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA, CATASTRO, GEODESIA, FOTOGRAMETRÍA, GPS, etc., suscríbese

El precio de la suscripción para el año 2006 es de:

	Correo ordinario	Correo certificado
España	33 € <input type="checkbox"/>	45 € <input type="checkbox"/>
Países C.E.E.....	46 € <input type="checkbox"/>	67 € <input type="checkbox"/>
América	46 € <input type="checkbox"/>	74 € <input type="checkbox"/> (con suplemento aéreo)
Otros países	48 € <input type="checkbox"/>	75 € <input type="checkbox"/> (con suplemento aéreo)

Estudiantes (remitir justificante de estar matriculado en el curso 2005-2006) 27 €

NOMBRE Y APELLIDOS.....

DIRECCIÓN, POBLACIÓN

PROVINCIA, CÓDIGO POSTAL, PAÍS, TEL. CONTACTO

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

c/c n.º 1098-8.- CAJA DE AHORROS PROVINCIAL DE GUADALAJARA-Alcalá, 27 - 28014 MADRID

Remítase este Boletín a **Topografía y Cartografía**. Avenida Reina Victoria, 66, 2.º C - 28003 MADRID - Tel. 91 553 89 65 - Fax 91 533 46 32 - E-mail: topografiaycartografia@top-cart.com

Índice Comercial de Firmas



Alquiler y venta de instrumentos topográficos

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



SERVICIO TÉCNICO OFICIAL


BATIMETRÍAS

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

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

CB-TOP Casanovas-Berge Asoc.

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



BERDALA
INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS
Y GEODÉSICOS
SERVICIO TÉCNICO

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



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

EDEF
Estudio de Fotogrametría

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

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

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



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

<http://www.geocenter.es>

DISTRIBUIDOR OFICIAL
VENTA Y ALQUILER




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

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

ATICSA
Distribuidor Oficial

Leica INTERGRAPH TCP-IT
Geosystems

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



MEDICIONES TOPOGRÁFICAS EXTREMEÑAS, S.L.L.

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

06800 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

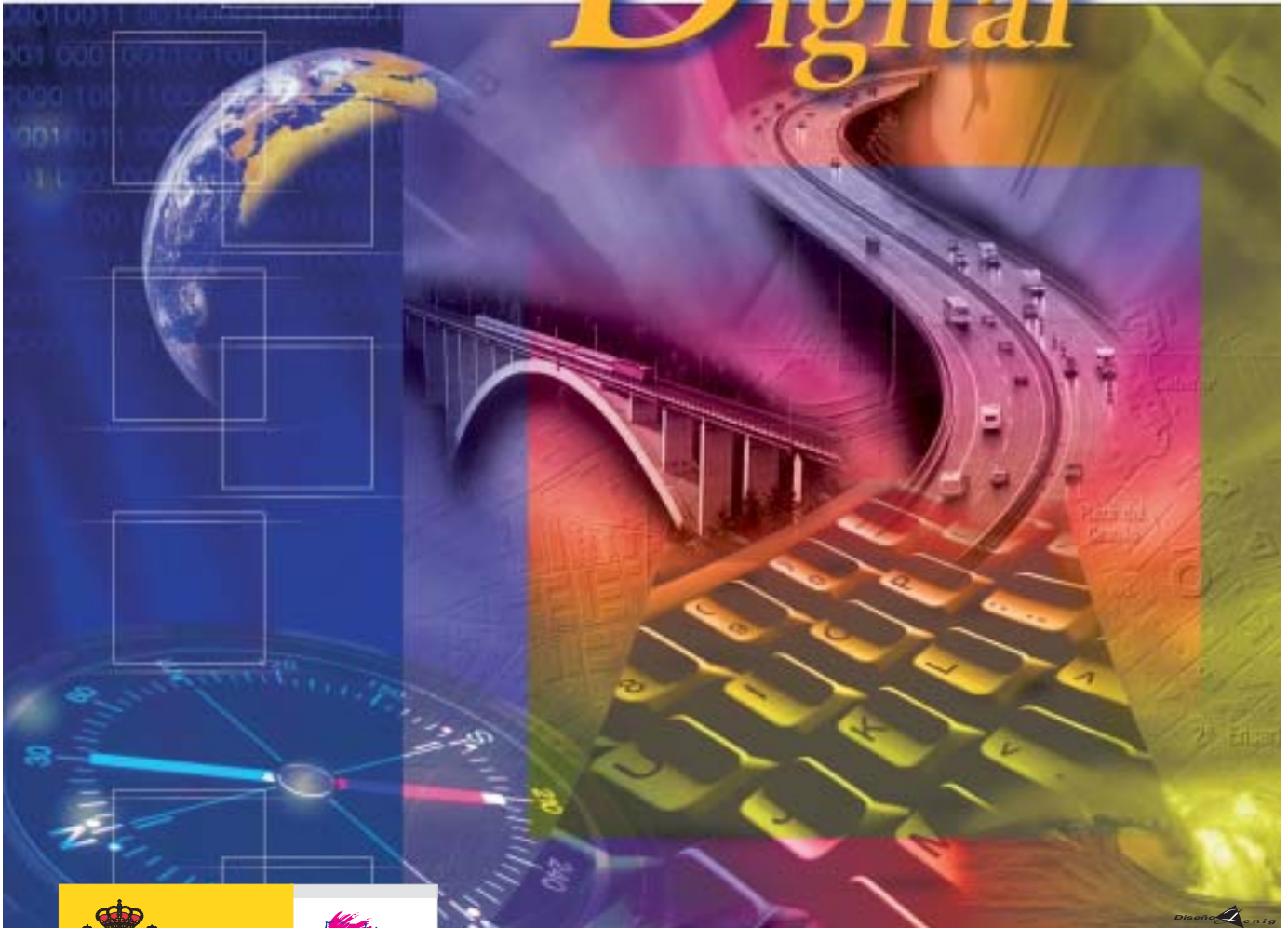
Alvaro Molina Topografía-G.P.S.
Alquiler y Servicios Topográficos

Sistemas G.P.S. 

Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico

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

Cartografía Digital



BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN1000, 500, 200, 25),
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,
MAPA INTERACTIVO DE ESPAÑA, MAPA POLÍTICO DE EUROPA,
MAPA POLÍTICO DEL MUNDO, CALLEJEROS Y OTROS PRODUCTOS.

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