Nuestra portada:

Globo de Coronelli (circa 1685) montado horizontalmente, como era costumbre en la tradición monástica italiana de dicha época.

Vol. XX - N.° 115
Marzo-Abril
2003

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.° C
28003 Madrid
Teléfono 91 553 89 65
Fax: 91 533 46 32

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

Ampliación del Metro de Madrid-Metrosur: Controles Topográficos a efectuar durante la ejecución de los túneles y montaje de vías **4**
José Manuel Granados

Los estudios de Ingeniería Técnica Topográfica en España: Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña) **10**
M. Amparo Núñez Andrés

Microgesia y Redes Locales de Alta Precisión. RedTop: Una solución informática **16**
José Luis Berné Valero, Sergio Baselga Moreno y Ana Anquela Julián

Algoritmo de implementación del Método de Burns para la extracción de líneas rectas **28**
Ana García de Vicuña Ruiz de Argandoña

¿Cuánto les cuesta a los estadounidenses el no disponer de un Sistema de Información Territorial público? **33**
Bengt Kjellson

Algoritmo de Segmentación de Imágenes basado en texturas. Aplicaciones Cartográficas **40**
Tomás J. Rubio Campos y Juan J. Ruiz Lendínez

Fórmulas del Índice de Refracción de las Ondas de Radio **44**
Jean M. Rüeger

La influencia española en la Cartografía y la Topografía de América **40**
Roy Minnick

Estudio de las tuneladoras y de los sistemas de guiado, con aplicación en diversos túneles, y control dimensional de una tuneladora. (y III) Control Dimensional del Escudo de una Tuneladora **59**
Marc Martí Cardona

Novedades Técnicas **62**

Bibliografía **66**

Vida Profesional **69**

Índice Comercial **72**

Ampliación del Metro de Madrid-Metrosur: Controles Topográficos a efectuar durante la ejecución de los túneles y montaje de vías

José Manuel Granado López
INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA
TYPSA

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En la zona sur de la Comunidad de Madrid se estima que se concentra una población potencial de más de un millón de habitantes, repartidos sobre todo en cinco grandes municipios. Éstos son, de mayor a menor población: Móstoles, Fuenlabrada, Leganés, Alcorcón y Getafe. Según el censo de 1996, Móstoles tenía 201.000 habitantes, Fuenlabrada 190.000, Leganés 175.000, Alcorcón 145.000 y Getafe alcanzaba ya los 140.000 residentes.

Estos municipios están bajo la influencia de la ciudad de Madrid y, por lo tanto, tienen una gran dependencia de la misma, por lo que se hacía necesario mejorar ostensiblemente sus comunicaciones y transporte con ella. Hasta la fecha del censo (1996) existía una red ferroviaria de cercanías de RENFE, además de líneas de autobuses regionales, con lo cual la creación de una nueva línea de Metro complementará y mejorará el actual servicio de transporte público, ya que algunas estaciones de la nueva línea de Metro dispondrán de intercambiadores con los trenes de cercanías y las líneas de autobuses. Además, se decidió prolongar la Línea 10 del Metro de Madrid hasta Alcorcón, que servirá de enlace con la Línea de Metrosur.

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE METROSUR: MUNICIPIO DE MÓSTOLES

La línea de Metrosur se ha concebido para enlazar los cinco municipios anteriormente citados entre ellos mismos y, a la vez, con el metropoli-

Esquema de la nueva Línea de METROSUR

Tuneladora empezando a excavar

El autor también hizo idénticos trabajos con esta tuneladora en la ampliación del Metro de Madrid al Aeropuerto de Barajas (Línea 8), con resultados satisfactorios de gran precisión planimétrica y altimétrica.

El trazado urbano de Móstoles comprende 5 estaciones, las cuales empezaron a ejecutarse antes de instalarse dicha tuneladora. Posteriormente la tuneladora, en su recorrido haciendo túnel, iría uniendo las estaciones entre sí. Las estaciones se construyeron mediante el sistema de pantallas, haciéndose posteriormente el vaciado en sus dos niveles (vestíbulo y andén). Cuando la tuneladora llega a cada una de las estaciones, lógicamente lo hace al nivel de los andenes y además con el vaciado acabado, con lo cual en el momento de entrada a la estación (denominado cale) se puede aventurar el posible error en planimetría y en altimetría en la ejecución del túnel.

tano madrileño actualmente en servicio a través de la Línea 10. Se han proyectado 27 estaciones, de las cuales 6 son de intercambio con la red de cercanías de RENFE y una enlaza con la Línea 10 en Alcorcón (en concreto la denominada Puerta Sur).

En este capítulo se describirán de forma resumida los trabajos topográficos de Control Geométrico y Asistencia Técnica efectuados en el tramo urbano del municipio de mayor tamaño (Móstoles), en el que el autor dirigió todas las labores, desde el inicio hasta la entrega de la obra terminada en su totalidad.

Este tramo se ha proyectado soterrado por el subsuelo de la ciudad de Móstoles, con una longitud de túnel de unos 4.300 m, ejecutados por la tuneladora bautizada como la "Adelantada", propiedad de la Empresa Fomento de Construcciones y Contratas (FCC).

Fotografía tomada justo en el momento del cale de la Tuneladora, haciendo entrada en la estación de Móstoles-Hospital.

CONTROL GEOMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO DEL TÚNEL EJECUTADO

Como en cualquier obra de tipo lineal (autovías, ferrocarriles, etc.) la empresa encargada de confeccionar el proyecto constructivo, en su anejo de topografía y cartografía , está obligada a implantar la red de bases a lo largo de su trazado. Esta red de bases, tanto si se han observado por técnicas GPS como por métodos de topografía clásica (poligonales, triangulaciones, etc.), ha de estar cerrada con unas tolerancias aceptables. En el comienzo de las obras esta red de bases se comprobó mediante el método de poligonal, la cual abarcaba, a través de la superficie urbana de Móstoles, un itinerario desde la estación Móstoles-Malasaña

Base con Estación Total

(pozo de arranque de la tuneladora) hasta la estación Móstoles-Universidad (fin del tramo de la tuneladora). De esta poligonal de bases, una vez calculada y compensada, se extrajo la base más cercana al frente de excavación, por donde se introdujo la tuneladora (denominado pozo de arranque o pozo de ataque), con su azimut correspondiente.

Según iba avanzando la tuneladora se iban implantando las bases en los hastiales de los túneles (fuera del alcance de los trenes que sacaban las tierras e introducían las dovelas). Estas bases estaban colocadas separadas una distancia media de 125 metros, a la altura del centro del túnel, y ancladas a las dovelas. Su diseño consistía en un plato sobre una ménsula colocada horizontalmente, con un tornillo bulón (de rosca de 5/8), sobre el cual se encajan tanto la Estación Total como las placas de puntería que sujetan los prismas. Por lo tanto, de entrada, se elimina el error de estacionamiento, al no hacerse uso de ningún trípode.

Se colocaron bases en ambos lados del túnel y se fueron ejecutando poligonales de ida y vuelta hasta la última base más cercana al frente de excavación. En el primer tramo, desde el pozo de ataque hasta llegar a calar con la estación Móstoles-Hospital, la poligonal arrancaba en la pareja de bases más cercana al pozo de ataque y se cerraba continuamente sobre el mismo azimut. Pero a partir del primer cale la poligonal además se pudo enganchar, saliendo a la superficie por la rampa de entrada de camiones, por lo que se amarraba el azimut de nuevo para seguir avanzando por el túnel hacia las siguientes estaciones. En cada cale se volvía a salir al exterior para volver a enganchar con la Poligonal Principal, y así sucesivamente hasta calar con la última estación (Móstoles-Universidad). Los errores de cale definitivos (en coordenadas UTM) fueron:

e_x (error en X) = 0,082 m
e_y (error en Y) = –0,045 m

Estos errores se consideran perfectamente admisibles, de acuerdo con las tolerancias preestablecidas.

Conviene reseñar que la longitud de los tramos parciales entre estaciones era un kilómetro de media, lo cual no era especialmente problemático. Pero merece la pena recordar que en el tramo más largo entre dos estaciones en el metro de Madrid se reforzó la precisión en planimetría con ayuda de sondeos. Este tramo al que nos referimos es el de la Línea 8 comprendido entre Recintos Feriales y Aeropuerto, el cual era de unos 3.700 m. Este trabajo consistió en buscar una forma de bajar coordenadas UTM y azimut al túnel desde la superficie de la calle. Se eligió un tramo recto del túnel, situado a unos 800 m antes de llegar a su cale definitivo; desde la Poligonal Principal de la obra se replantearon dos puntos del eje, separados poco más de 170 m y visibles entre sí dentro del túnel. Una vez perfectamente replanteados en la calle, mediante máquinas de sondeo y una plomada láser se bajaron perpendicularmente hasta el túnel, atravesando la clave del mismo, y posteriormente se materializaron en el túnel y se radiaron también desde la propia poligonal del túnel, con resultados casi idénticos, con lo cual se reforzó la precisión de dicha poligonal, dando muestras de seguridad y confianza para un posterior cale de garantías.

Volviendo al túnel de Metrosur, hablemos de los trabajos topográficos relativos a la altimetría, los cuales se podría antojar que son más simples y rápidos.

Para ir arrastrando la cota se siguió un itinerario de nivelación geométrica, con nivel automático convencional y miras clásicas. Los itinerarios van de una estación a la siguiente, con anillos de ida y vuelta, y teniendo en cuenta que en cada estación se cierra en una base de la Poligonal Principal. Antes de llegar al cale, en cada tramo, y como aún no se podía acceder a la calle, se procedió a volver al último clavo, en el cual estaba amarrada la cota absoluta. Las bases de nivelación suelen colocarse hincadas en las dovelas, pero a mucha menor altura que las bases de planimetría, ya que lo único que se necesita es poder poner encima de ellas la mira.

Como los itinerarios no solían ser muy largos y el mayor error en cota se produce al bajar la cota desde la calle hasta los andenes, no se consideró necesario hacer nivelación de alta precisión, además de la gran falta de tiempo que se sufre a pie de obra.

SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA. GEOMETRÍA DE LA MISMA Y COMPROBACIONES TOPOGRÁFICAS

Una vez finalizado el túnel en su totalidad se procede a efectuar un levantamiento taquimétrico del mismo mediante perfiles transversales, por ejemplo cada 20 metros. La finalidad del mismo es comprobar que el túnel se ha hecho conforme al trazado en planta y alzado previsto. Es importantísimo que en planta respete los radios de curvatura previstos, así como en alzado los parámetros exigidos, para que se puedan encajar las dos vías proyectadas.

Es posible, como ocurrió en el trazado de Móstoles, que una vez levantado topográficamente todo el túnel ejecutado, se introduzca alguna variación en el trazado de las vías, bien en planimetría o en altimetría.

Hay que tener en cuenta algunos condicionantes, tales como el gálibo resultante de los trenes que van a circular (en la Línea de Metrosur cir-

Nivelación de la Vía antes de hormigonar

POCKET CARTOMAP 4

La perfecta herramienta para trabajo de campo...

ANEBA
Geoinformática, S.L.
C/ Nicaragua, 48 2º 6ª
08029 - Barcelona
Tel. 933 633 820
Fax. 933 633 821
C/Cº de Valderribas, 93-C 7ºB
28038 - Madrid
Tel. 913 287 146
Fax. 913 287 147

http://www.aneba.com
aneba@aneba.com

Software para Topografía e Ingeniería Civil

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

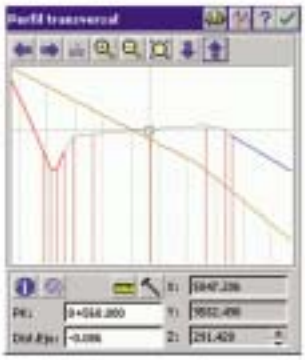
Pocket CARTOMAP, para Windows CE y Pocket PC 2002, engloba todas las ventajas de las que dispone **CARTOMAP**, pudiendo conectarse a diferentes instrumentos (GPS, estaciones totales,...) ofreciendo la mejor solución en campo para Topografía, Ingeniería Civil y GIS, haciendo uso de la mejor interface de usuario para Pocket PC y Tablet PC.

Pocket CARTOMAP está avalado por los doce años de experiencia de **ANEBA**, fabricantes de **CARTOMAP**, que dispone de 4.000 usuarios en todo el mundo, lo que refleja su sencilla utilización y la disponibilidad de las funcionalidades más avanzadas del mercado.

Adquisición de datos

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

Dibujo automático en campo



Replanteo y control de calidad

Consulta y actualización de GIS

CONSTRUMAT BARCELONA

Podrá visitar a **ANEBA** en el Recinto Montjüic 1 (M1) Palacio 5, Stand A-27

Fira Barcelona

SALÓN INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN DEL 26.05.03 AL 31.05.03

Regla de PERALTES utilizada para montaje de VIA

cularán los trenes modelo 8000) y que el trazado permita desarrollar las velocidades exigidas (hasta 100 km/hora).

Además, la dirección del Metro de Madrid, a través de la Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid, exige cumplir con unos criterios específicos, como radios de curvatura máximos y mínimos y kV máximos y mínimos. Al unir las vías con las estaciones es fundamental tener en cuenta que la cota cabeza carril quede a una diferencia de desnivel inamovible de 1,05 metros y a una distancia del andén acabado de la cara inactiva de la vía de 0,773 metros (en planta).

Estos trazados, que se presentan a la dirección del Metro de Madrid, siempre deberán cumplir los requisitos anteriormente descritos, pudiéndose entonces proceder al montaje de las vías y a su posterior hormigonado.

Conviene destacar que antes del montaje de las vías hay que echar 2 capas de grava de hasta un espesor total de 1,20 m. Una vez finalizada esta ejecución de grava se comienza a acopiar los carriles (en tramos de 18 metros) para ir montando la vía por tramos. Antes de acopiar carriles, el topógrafo procede a replantear los piquetes sobre las dovelas. Estos piquetes son los PK múltiplos de 5, los cuales van a servir de referencia para la posterior colocación en planta y alzado de ambas vías.

En esta obra de metro se montaron diariamente (e inmediatamente hormigonaron) una media de 90 metros de longitud de túnel. Siempre, y en cada tramo de vía, antes del hormigonado se procedió a las siguientes comprobaciones geométricas:

- *Nivelación del carril más bajo:* Se nivelan los PK múltiplos de 5 (por ejemplo los 10235, 10240, 10245, etc.), según el perfil longitudinal proyectado en cota cabeza carril (c.c.c.). Se admite una tolerancia inflexible de ±2 mm.
- *Comprobación del Peralte:* Se comprueba en los mismos PK que anteriormente, pero sólo el desnivel relativo entre los 2 carriles (no haría falta trabajar con cota absoluta). Se admite una tolerancia inflexible de ±2 mm.

  Actualmente, hay una regla de peraltes comercializada para estos trabajos. Metro de Madrid acepta un peralte máximo de 150 mm para las curvas de menor radio y, por supuesto, en las rectas siempre cero de peralte. En cuanto a la transición al peralte, ésta no debe ser superior a los 2 mm por metro.
- *Comprobación de la Flecha:* Es la medida más fiable para asegurar que la vía tiene los radios de curvatura exigidos al milímetro. Se trata de una aplicación de la definición de cuerda entre dos PK separados, por ejemplo 10 metros: se ata un hilo mediante dos manoplas adaptadas en esos dos PK extremos y, mediante una plantilla, se hace lectura en el PK intermedio y se compara con el valor predeterminado para ese punto. Se admite una tolerancia inflexible de ± 3 mm.
- *Comprobación del Ancho de Vía:* Es obligatorio comprobar el ancho de la vía entre sus 2 caras activas, en los PK multiplo de 5. El valor teórico al que debe estar el ancho de vía en el Metro de Madrid es de 1.445 mm. Otros anchos teóricos en otras infraestructuras son: 1.435 mm (AVE), 1.668 mm (RENFE) y 1.000 mm (FEVE). Se admite una tolerancia inflexible entre +3 mm y –2 mm. Se debe utilizar la misma regla de peraltes para la medida del Ancho de la Vía.
- *Comprobación del Veinteavo:* La condición del veinteavo significa que Metro de Madrid exige que la base del carril (taco de hormigón) tenga una pendiente de 1/20. Esto, traducido en números, viene a querer decir que si la base del taco es de 140 mm éste deberá estar inclinado 1/20 de 140, es decir 7 mm. Se admite una tolerancia inflexible de ±1 mm y se comprobará también en los PK múltiplos de 5.

Como se puede observar, realmente se emplean los mismos PK (piquetes) para comprobar el estado geométrico de la vía, antes de ser hormigonada.

Además, conviene realizar algunas comprobaciones someras y aleatorias de distancias de la vía al hastial en el túnel y al andén en la estación, para asegurar que cumple con los gálibos y separaciones requeridas.

Después de acabar de hormigonar toda la vía se procede a ejecutar las soldaduras y finalmente se vuelven a hacer todas las comprobaciones geométricas en la vía que se habían hecho en el prehormigonado. ■

Instrumental para medir la flecha de la VIA

STRATUS
Receptor integrado, de fácil uso para aplicaciones estáticas y cinemáticas
L1, 12 canales GPS con antena integrada SK-600
ISSA
Isidoro Sánchez, S.A.
www.isidoro-sanchez.com
"Creando valor y soluciones en Topografía"
RADIAN IS
Sistema GPS totalmente integrado.
RTK + Post-proceso para Topografía y Mapping.
L1/L2, 12 canales
Antena SK-600
"Trabajamos cada día con el único objetivo de dar el mejor servicio posible. Y ésto, lo logramos esforzándonos por hacer las grandes cosas y, por supuesto, cuidando todos los pequeños detalles"
GSR2600
Sistema GPS modular
RTK + Post-proceso para Topografía y Mapping
L1/L2, 12 canales
Antena SK-600
Presentamos los nuevos
GPS
de SOKKIA
DISTRIBUIDOR DE:
SOKKIA
GRUPO EMPRESARIAL
Inland
www.inland.es

Los estudios de Ingeniería Técnica Topográfica en España: Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña)

Mª Amparo Núñez Andrés
JEFA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA TÉCNICA TOPOGRÁFICA
EUP DE BARCELONA (UPC)

En 1988 comenzaron a impartirse las enseñanzas de Ingeniería Técnica Topográfica en la hasta ese momento Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Barcelona, que pasó así a convertirse en un centro politécnico, Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona, con dos titulaciones.

En el curso 1997/1998 dió comienzo el nuevo plan de estudios, (Resolución 25313, de 31 de octubre de 1997, BOE del 27-11-1997). Este plan se adaptaba a la directriz general propia de la titulación de Ingeniero Técnico en Topografía (Real decreto 14850/1991 de 30 de agosto, BOE núm. 298 del 14-12-1991). Desde el curso 1999/2000 se imparten las asignaturas correspondientes a los tres cursos.

EL PLAN DE ESTUDIOS

El plan de estudios se estructura en un único ciclo, con título terminal, de 225 créditos. Consta de tres cursos y cada uno consta, a su vez, de dos cuatrimestres de 15 semanas lectivas cada uno. Todas las asignaturas son cuatrimestrales, siendo evaluadas las del primer cuatrimestre en el mes de enero y las del segundo en junio.

En la UPC existen planes de estudios con fase selectiva, la cual es evaluada globalmente, de modo que el estudiante ha de obtener la calificación de apto en esta fase en un termino máximo del doble de la duración de la fase establecida en el plan. En este caso, esta fase se encuentra establecida en el primer cuatrimestre de primer curso, si el estudiante no la supera no podrá continuar los estudios de esta titulación en la UPC.

Las asignaturas de la fase selectiva se imparten en dos cuatrimestres sucesivos, para que el alumno tenga la posibilidad de superarla en un año académico.

La distribución de los créditos en asignaturas troncales y obligatorias, optativas y de libre elección, establecida en el plan de estudios vigente, se recoge en el siguiente cuadro:

Curso	Troncales y Obligatorias	Optativas	Libre elección	TFC	Total
1º	73,5	—	—	—	73,5
2º	64,5	—	9	—	73,5
3º	30	22,5	13,5	12	78
Total	**139**	**22,5**	**22,5**	**12**	**225**

La distribución de las asignaturas por cuatrimestres y cursos queda recogida en los siguientes cuadros:

Primer año académico:

Cuatrimestre primero 1A (fase selectiva)

Asignatura	Créditos	Horas/semana
Métodos Matemáticos I	6	4
Física I	6	4
Geometría Métrica Descriptiva	6	4
Instrumentos Topográficos I	6	4
Cartografía I	6	4
Geomorfología	6	4

Cuatrimestre segundo: 1B

Asignatura	Créditos	Horas/semana
Métodos Matemáticos II	7,5	5
Física II	4,5	3
Sistemas de Representación	4,5	3
Instrumentos Topográficos II	4,5	3
Cartografía II	6	4
Informática Aplicada a la Topografía	6	4
Derecho y ordenación del territorio	4,5	3

Segundo año académico:

Cuatrimestre primero: 2A

Asignatura	Créditos	Horas/semana
Ampliación de calculo	4,5	3
Fundamentos de Fotogrametría	4,5	3
Astronomía Geodésica	4,5	3
Métodos Topográficos I	6	4
Cartografía III	6	4
Estadística y Ajuste de Observaciones	6	4
Catastro	4,5	3

Cuatrimestre segundo: 2B

Asignatura	Créditos	Horas/semana
Geodesia	4,5	3
Métodos Topográficos II	4,5	3
Fotogrametría Analítica	4,5	3
Teledetección	4,5	3
Fundamentos de sistemas de Inf. geog.	6	4
Fundamentos de Geofísica	4,5	3
Libre elección	9	6

Tercer año académico:

Cuatrimestre primero: 3A

Asignatura	Créditos	Horas/semana
Técnicas de posicionamiento global	6	4
Fotogrametría Analítica y Digital	4,5	3
Proyecciones Cartográficas	6	4
Topografía Aplicada a la ingeniería I	6	4
Optativas	9	6
Libre elección	9	6

Cuatrimestre segundo: 3B

Asignatura	Créditos	Horas/semana
PFC dirigido	6	4
Fotogrametría Digital	4,5	3
PFC	6	4
Topografía Aplicada a la ingeniería II	4,5	3
Optativas	13,5	9
Libre elección	4,5	3

Todas las optativas cuentan con 4,5 créditos y se encuentran divididas en las llamadas líneas de intensificación. Cada estudiante deberá seleccionar su *curriculum* académico cursando al menos tres asignaturas de una de éstas vías, completando la optatividad con asignaturas sin perfil. Las asignaturas del resto de las vías pueden ser cursadas como libre elección.

Todas estas asignaturas se ofertan también como libre elección, de modo que un estudiante puede cursar varias vías, una como optativa y otras como libre elección.

EL PROFESORADO

En los inicios la mayor parte de la carga docente estaba a cargo de una sección de profesores pertenecientes al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica II, los cuales, con la reforma del plan de estudios en 1997, cambiaron de área de conocimiento, pasando a la correspondiente a Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogramétrica, lo cual implico también un cambio de departamento, pasando en 1999 a formar parte del Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica.

Línea 1 Topografía y Aplicaciones a la Ingeniería	Línea 2 Cartografía y SIG	Línea 3 Fotogrametría y Teledetección	Línea 4 Sistemas de Posicionamiento y Navegación	Asignaturas sin perfil
Introducción a la Obra Civil Topografía Hidrográfica Topografía Subterránea Levantamientos Especiales Instrumentación y Metrologia Industrial	SIG Cartografía Matemática Proyectos Cartográficos Producción Cartográfica	Proyecto de Teledetección Laboratorio de Fotogrametría Fotogrametría Terrestre Tratamiento de Imágenes en Fotogrametría	Técnicas Geodésicas Cartografía Matemática Navegación y Sistemas de Información Tratamiento de Datos GPS	Geodesia Física Métodos Numéricos Técnicas Medioambientales Economía y Gestión de Empresas

Este departamento imparte el 61% de las asignaturas troncales y obligatorias y un 66% de las asignaturas optativas. El reparto de asignaturas por departamentos se recoge en el siguiente cuadro.

Departamento	Nª Profesores	Asignaturas
Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica	12	Geometría Métrica y Descriptiva Instrumentos Topográficos I Cartografía I Geomorfología Instrumentos Topográficos II Cartografía II Fundamentos de Fotogrametría Astronomía Geodésica Métodos Topográficos I Cartografía III Geodesia Métodos Topográficos II Fotogrametría Analítica Teledetección Fundamentos Sistemas de Información Geográfica Técnicas de Posicionamiento Global y Navegación Fotogrametría Analítica y Digital Topografía Aaplicada a la Ingeniería I Proyecciones Cartográficas Topografía Aplicada a la Ingeniería II Fotogrametría Digital Topografía Subterránea Levantamientos Especiales Instrumentación y Metrología Industrial Topografía Hidrográfica Sistemas de Información Geográfica Proyectos Cartográficos Producción Cartográfica Introducción a la Obra Civil Laboratorio de Fotogrametría Tratamiento de Imágenes en Fotogrametría Fotogrametria Terrestre Técnicas Geodésicas Navegación y Sistemas de Información Tratamiento de Datos GPS
Expresión Gráfica Arquitectónica II	3	Sistemas de Representación Informática Aplicada a la Topografía
Física Aplicada	5	Física I Física II Fundamentos de Geofísica Técnicas Medioambientales Geodesia Física Proyecto de Teledetección
Matemática Aplicada I	6	Métodos Matemáticos I Métodos Matemáticos II Ampliación de Cálculo Estadística y Ajustes de Observaciones Cartografía Matemática Métodos Numéricos
Organización de Empresas	1	Derecho y Ordenación del Territorio Catastro Economía y Gestión de Empresas

Presentamos MicroStation V8

Descúbralo

Mejore el rendimiento de su proyecto con MicroStation® V8 de Bentley®. La última versión del producto de diseño más potente del mercado incluye en su arquitectura un conjunto de cambios sin precedentes, permitiendo a cualquier persona involucrada en un proyecto saber quién, cómo y cuando realizó alguna modificación. Los usuarios pueden editar y referenciar ficheros DWG –sin necesidad de traducciones–, trabajar sin límites prefijados tanto en el número de niveles como en el tamaño de los ficheros y aprovechar las ventajas de Microsoft® Visual Basic® for Applications, Oracle9i™ así como otras funcionalidades que incluyen: histórico de ficheros, estilos de texto y acotación, modelos, etc. Si no es todavía usuario de nuestro programa SELECT℠, éste es el momento de contratarlo: MicroStation V8. Descúbralo.

BENTLEY

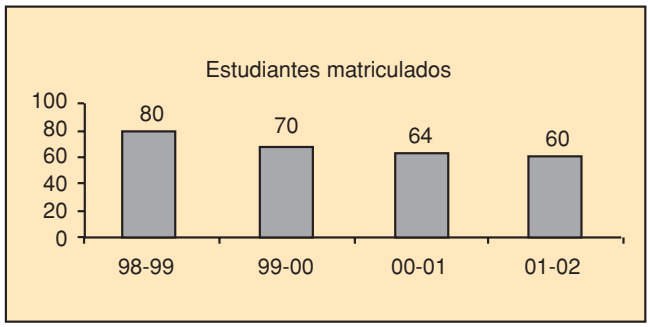
Para más información:
Bentley Systems Ibérica, S.A.
Centro Empresarial El Plantío
C/ Ochandiano, 8
28023 Madrid
Tfno: 91.372.89.75
Fax: 91.307. 62.85
www.bentley.es

Bentley, la "B" del logo de Bentley, MicroStation son marcas registradas de Bentley Systems Incorporated o Bentley Software Inc. Microsoft, Visual Basic y Oracle9i son marcas registradas de sus respectivas compañías. Copyright 2001 Bentley Inc.

ALUMNADO

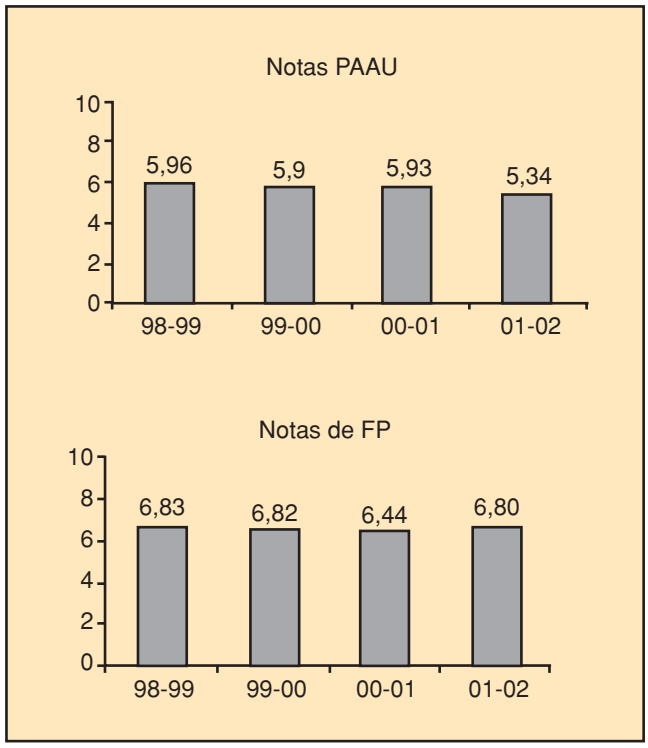
Las enseñanzas de Ingeniería Técnica Topográfica tienen limitado sus acceso a un número de 65 estudiantes de nuevo ingreso, procediendo un 72,3% de COU y un 18% de FP en el curso 2001/2002 y en el curso 2002-2003 un 71,6% de COU y un 25,4% de FP.

El número de alumnos que han elegido esta titulación como primera opción ha descendido en los últimos años, fruto del creciente número de titulaciones que se ofertan y la disminución de alumnos que llegan a la universidad.



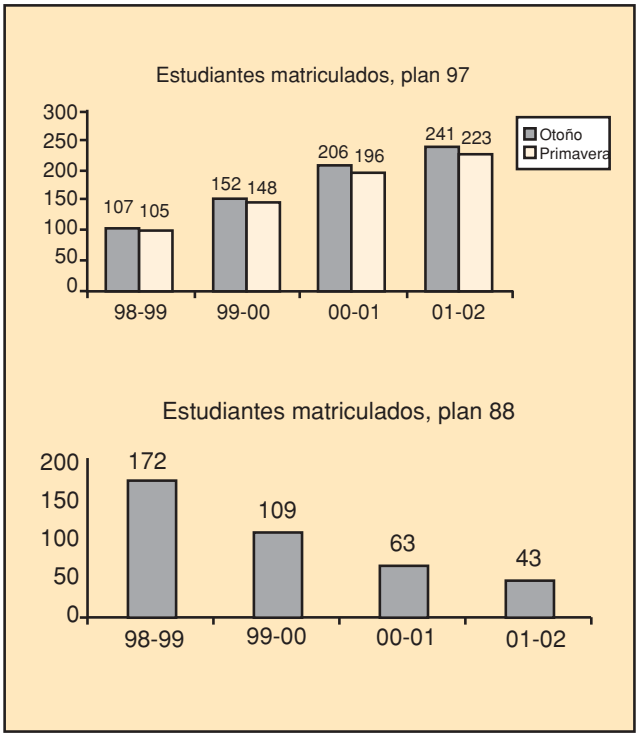
Evolución de la demanda en primera opción de los últimos años

Como consecuencia de la disminución de la demanda se ha producido un decremento de la nota de corte de entrada, en el caso de los estudiantes provenientes de las Prueba de Acceso a la Universidad (PAAU), mientras que en el caso de FP se ha vuelto a recuperar en este último año la tónica general.



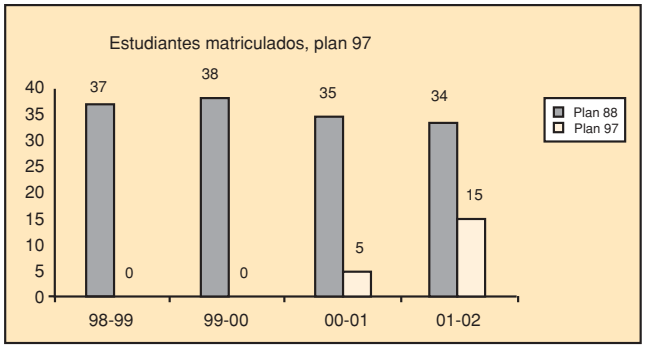
Evolución de la nota de corte en los últimos años

La evolución del numero de alumnos por cursos en ambos planes y el número total se recogen en los siguientes gráficos.



En el plan del 97 se diferencia entre los alumnos matriculados en cada cuatrimestre, puesto que la matricula se realiza de forma independiente. En el mes de julio se realiza la matrícula del primer cuatrimestre, mientras que durante la primera semana de febrero se realiza la del segundo cuatrimestre.

El número de titulados durante los últimos cuatro años se refleja en el siguiente gráfico:



A este respecto se debería indicar que, como el plan de estudios se implantó de forma gradual, es lógico que durante los primeros años no hubiese estudiantes titulados. Por otro lado, la convocatoria de septiembre de 2002 fue la última para el plan del 88.

LABORATORIOS

En la Escuela existen tres laboratorios relacionados con nuestras enseñanzas, encargados de la impartición de docencia, proyectos de investigación y transferencia de tecnología:

Laboratorio de Fotogrametría. Fue el primero de los laboratorios relacionados con las enseñanzas de Ingeniería Técnica Topográfica que se puso en marcha dentro de la EUPB.

El material con el que cuenta este laboratorio es de tres restituidores analógico-mecánicos B-8 (WILD), varias tabletas digitalizadoras, un restituidor analítico P2000, dos estaciones fotogramétricas, una Socet Set y otra Photopol, un restituidor digital monoscópico Photomodeler, dos restituidores digitales DVS y un restituidor monoscópico Phox, cedido por Al-Top.

En cuanto a la transferencia de tecnología, se han realizado diferentes convenios, de especial relevancia en el ámbito arquitectónico y cartográfico, entre los que destaca el realizado con la Junta Constructora del Templo de la Sagrada Familia de Barcelona.

Laboratorio de Cartografía y Teledetección. Cuenta con ocho ordenadores PC son software relacionado con la Cartografía, SIG y Teledetección (Arcview 3.2, Arcgis 8.1, Acad Map 3, etc.), un escáner A4 DuoScan de Agfa y varias tabletas digitalizadoras.

Se encarga de la impartición de docencia, fundamentalmente la realización de

Trabajos Fin de Carrera, y de transferencia de tecnología, realizando proyectos conjuntos con el Laboratorio de Fotogrametría.

Laboratorio de Instrumentos. En él se dispone de 4 receptores GPS bifrecuencia Leica serie 530, 2 receptores GPS monofrecuencia Astech Dimension XII, 20 estaciones totales, 20 niveles, 24 taquímetros, 5 distanciometros, 2 navegadores Garmin 12 y 1 navegador Maguellan Pro-Mark X

DIRECCIONES DE INTERES: www.eupb.upc.es , www.upc.es , http://mercator.upc.es/ ■

Microgeodesia y Redes Locales de Alta Precisión. RedTop: Una solución informática

José Luis Berné Valero, Sergio Baselga Moreno y Ana Anquela Julián
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODESIA Y FOTOGRAMETRÍA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Resumen

El cálculo, análisis, planificación y diseño de redes topográficas y no topográficas o de control con fuertes requisitos de precisión y fiabilidad no es una tarea sencilla. El conjunto de teorías y técnicas empleadas ha desarrollado ya un cuerpo de doctrina que habitualmente se denomina Redes Locales *o* Microgeodesia.

Los avances tecnológicos de los últimos años permiten además que los cálculos se realicen con paquetes de programas informáticos muy elaborados, gestionando gran cantidad de datos y basados en teorías elevadas, que permiten conjugar la precisión, la versatilidad y la economía.

Para resolver todas las cuestiones que se plantean al abordar cualquiera de las tareas necesarias en una red local de alta precisión, se ha desarrollado un programa informático llamado RedTop, cuyo contenido se explica en este artículo y que puede descargarse, de forma gratuita, vía Internet, de www.upv.es/cgf.

Abstract

The design, analysis and computer of topographic, no topographic and control nets with high fiability and precision requirements are not easy. Both, theory and practice, have developed a new topic named Local Nets *or* Microgeodesy.

The new technological advances let computer data with very complex software, working with plenty data and high theory, that give high precision, versatility and economy.

To solve all the problems with high precision local nets, new software named RedTop have been developed. How it is and how it do is explained in this paper, and it can be downloaded free from www.upv.es/cgf.

INTRODUCCIÓN

El cálculo, análisis, planificación y diseño de redes topográficas y no topográficas o de control, con fuertes requisitos de precisión y fiabilidad no es una tarea sencilla, influyendo en la toma de decisiones varios factores desde el punto de vista del ingeniero proyectista, tales como finalidad de la red, instrumentación a utilizar, orografía del terreno y factores económicos. El conjunto de teorías y técnicas empleadas ha desarrollado ya un cuerpo de doctrina que habitualmente se denomina Redes Locales o Microgeodesia.

Los avances tecnológicos de los últimos años permiten que los cálculos se realicen con paquetes de programas informáticos muy elaborados, gestionando gran cantidad de datos y basados en teorías elevadas, que permiten conjugar la precisión, la versatilidad y la economía. Pero esto puede suponer que el profesional de la topografía acabe convirtiéndose en una prolongación de los equipos de observación y transferencia de datos al ordenador, desconociendo el porqué de los cálculos o no participando en la toma de decisiones. Los sistemas expertos que se están imponiendo no son en sí malos, pero no podemos estar al margen del porqué de las decisiones.

El análisis y diseño de redes es un problema que ya viene interesando a los especialistas en geodesia y control de deformaciones desde el inicio de los años 70, habiéndose relanzado en los últimos años con la adaptación del método de los mínimos cuadrados al binomio matrices-ordenador. Se ha llegado a un punto en el que la compensación de una red

CYRA

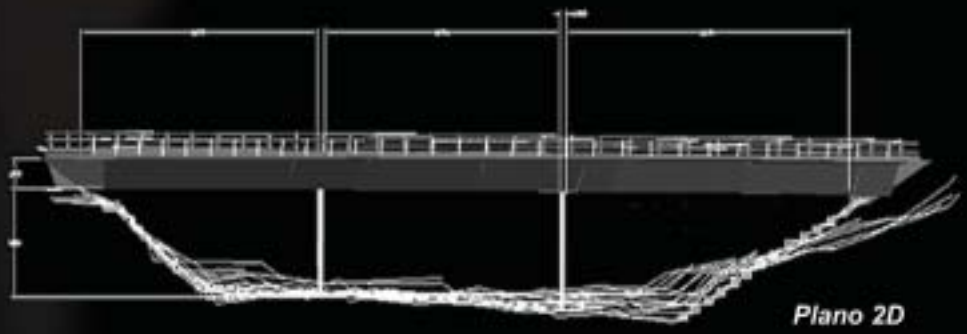
Cyra Technologies, Inc.

A Leica Geosystems Company

Leica Geosystems

Realidad

Nube de puntos



Plano 2D

Imagen modelada

SI LE PARECE BIEN REALIZAR

LEVANTAMIENTOS SIN REFLECTOR,

¿QUE LE PARECERIA REALIZARLOS

EN **3D**, TOMANDO **1000 PUNTOS** POR **SEGUNDO**?

ASOMBROSO...!!!

LEICA GEOSYSTEMS, S.L. c/ Nicaragua 46, 08029 Barcelona

Tel. 93 4949440 - Fax. 93 4949442. e-mail Anton.Bravo@leica-geosystems.com

geodésica o topográfica de forma rápida, económica y con análisis de precisión y fiabilidad está al alcance de cualquier ingeniero o usuario. Tan es así que hoy cualquier proyecto de cierta envergadura sólo se contempla desde este punto de vista, exigiéndose en la mayoría de las redes locales y catastrales no sólo el cálculo por compensación rigurosa, sino las elipses de resultados, precisiones y parámetros de fiabilidad, así como las cotas de error de las observaciones respecto al B-test de Baarda de detección de errores groseros

El método general de mínimos cuadrados aparece en la literatura bajo diversas denominaciones. Es denominado "Método General" por los autores Chueca y Berné, Mikhhail, Copper y Wolf. En el libro de Leick aparece como "Modelo Mixto de Ajuste" y M. Sevilla y Harvey le llaman "Método Combinado".

La particularizaron de éste cuando aparece una relación directa entre observaciones y parámetros, es denominado por los profesores Chueca y Berné "Método de Observaciones Indirectas", mientras que otros (Harvey) le llaman "Método Paramétrico" y en el libro de Leick aparece como "Modelo de Ecuaciones de Observación".

Las redes locales y geodésicas tienen por objeto la estimación de parámetros que describen la geometría de una superficie terrestre a partir de valores observados de ciertas magnitudes susceptibles de ser medidas por métodos directos o indirectos.

Esto plantea dos cuestiones; por una parte es necesario establecer las relaciones matemáticas entre los parámetros y las observaciones, de acuerdo a las propiedades geométricas del problema, a partir de observaciones de distancias, angulares o de diferencias geométricas de nivel, lo que establece el modelo funcional.

Por otra parte, el comportamiento estadístico de las variables o mediciones topográficas que intervienen establecen el modelo estocástico. Ambos modelos se unen constituyendo el modelo matemático de la red.

El concepto estocástico se introduce a través de la ley de distribución de errores de Gauss para las observaciones, con la incorporación de un vector de correcciones o residuos que, bajo la hipótesis de no presencia de errores sistemáticos y groseros en las observaciones, sigue una distribución m-dimensional normal de media cero y matriz de covarianzas definida por la precisión *a priori* de las propias observaciones.

Caso determinista: En toda red se dispone de datos que permiten recurrir a los métodos de compensación o ajuste que tienen por objeto dar la mejor de las soluciones posibles. Las soluciones a este problema se abordan con técnicas habituales de álgebra lineal, aplicando el algoritmo de los mínimos cuadrados, y estudiando algunas propiedades estadísticas de las diferentes soluciones. También es necesario el modelo estocástico para estimar las medidas de precisión de los resultados de la compensación y para efectuar un análisis estadístico de los mismos.

En definitiva, la solución óptima de un problema de ajuste o compensación es aquella que, además de satisfacer exactamente las ecuaciones del modelo en su forma lineal, dé lugar a unos errores residuales que satisfagan el principio de los mínimos cuadrados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y FIABILIDAD DE REDES

Una vez efectuado el ajuste riguroso de la red en cuestión es preceptivo ratificar si las hipótesis previas establecidas son congruentes o no con los resultados calculados, cifrando el poder de afirmación de su aceptación o rechazo.

Se plantean dos cuestiones de fundamental importancia en redes: ¿Cuál es el mínimo error detectable por el test de detección de errores groseros? y ¿qué perturbación produce el error máximo no detectable en una observación en los resultados del ajuste de una red?

Se ha admitido y demostrado que el modelo de ajuste riguroso empleado Gauss-Markov requiere la formulación de un modelo matemático y de un modelo estadístico, por tanto será preciso verificar la adecuación a cada caso concreto mediante el establecimiento de criterios suficientes para mantener el debido rigor en la exposición de la teoría y algoritmos que se han desarrollado hasta aquí. Será preciso establecer criterios sobre:

1. Los valores *a priori* y *a posteriori* del estimador de la varianza del observable de peso unidad y su inferencia estadística.
2. Las figuras, recintos y geometría general de errores de la red y en cada punto de ella su valoración e interpretación rigurosa.
3. Los constreñimientos previos establecidos (puntos fijos, orientaciones, bases medidas) y su influencia en la posible introducción de errores de la red.
4. Los pesos *a priori* asignados a los observables y su adecuación a la realidad de la observación efectuada.
5. La detección, valoración y eliminación de posibles errores groseros de observación.

Por fiabilidad se entiende el estudio de la facilidad de detectar errores groseros, es decir, cuantifica la resistencia a los errores groseros. La fiabilidad interna valora la capacidad de la red para la detección y control de errores groseros, mientras que la fiabilidad externa estudia la influencia que tienen los errores groseros no eliminados.

Se analiza la fiabilidad de la red, determinándose los parámetros de redundancia local y global, fiabilidad interna y externa y cotas de error detectable por el W-test de Baarda de errores groseros por cada observación.

Para resolver todas las cuestiones aquí planteadas se ha desarrollado un programa informático llamado RedTop, cuyo contenido se explica a continuación, y que, de forma gratuita, se puede descargar vía Internet de www.upv.es/cgf.

APLICACIÓN INFORMÁTICA REDTOP

Al ejecutar RedTop se muestra en pantalla un formulario como el siguiente:

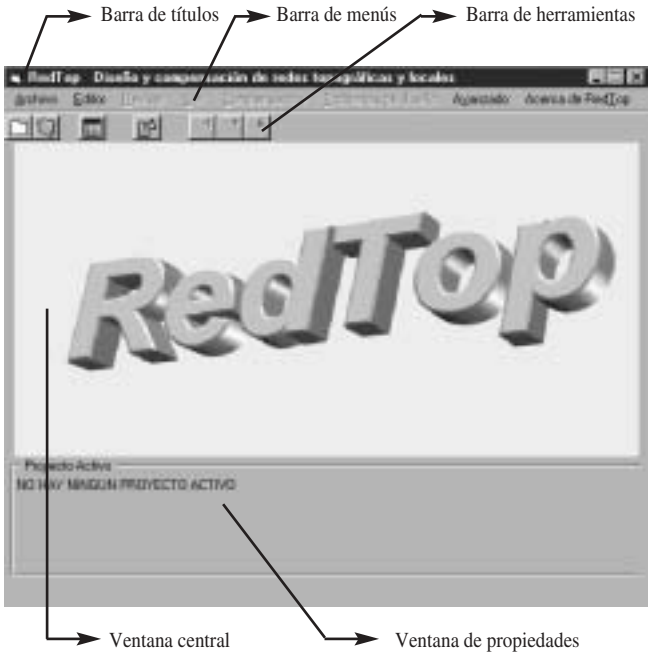
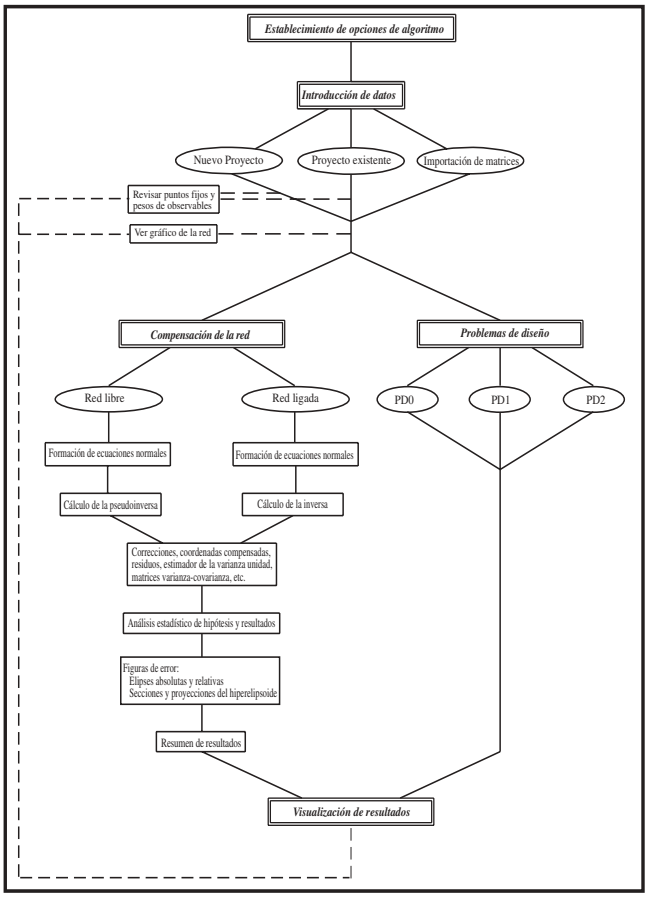


Figura 1. Pantalla de arranque de RedTop

La estructura del programa se indica en el cuadro adjunto



Barra de títulos

Es la barra horizontal situada en la parte superior de la pantalla, que contiene el nombre del programa y en algunos formularios información adicional.

Barra de menús

Es la barra que se encuentra a continuación de la de títulos. Proporciona el medio de acceso a todas las opciones del programa.

En determinados momentos, como en el de la figura, que corresponde al arranque del programa, algunas opciones se encuentran desactivadas, dado que no tiene sentido que sean utilizadas. En la figura 1 lo están las correspondientes a los cálculos y visión de datos, pues todavía no se ha abierto ningún proyecto.

Las letras subrayadas de los elementos del menú indican un modo de acceso rápido a ellos, mediante la pulsación de ALT más dicha letra. También algunas opciones dentro de los menús desplegables tienen una tecla de acceso rápido. Por ejemplo, con F6 se ejecuta la orden *Opciones* del menú *Avanzado*.

Barra de herramientas

Contiene botones de acceso a las funciones más usadas del programa. Los botones, enumerados de izquierda a derecha, son:

- Nuevo Proyecto
- Activar Proyecto
- Importar Matrices
- Editor de texto
- Compensación con matriz inversa clásica
- Compensación con pseudoinversa
- Compensación con matriz de constreñimientos.

No obstante, la función de cada botón se muestra si posamos el ratón sobre él unos breves instantes.

Ventana central

Ocupa la mayor parte de la pantalla. No tiene más función que servir de fondo sobre el que se mostrarán los distintos mensajes de advertencia al usuario y cuadros de entrada.

Ventana de propiedades

Contiene información relativa al proyecto activo en cada momento: Nombre del proyecto activo o de las matrices importadas, número de vértices y ecuaciones, o de ecuaciones e incógnitas, etc.

Menú *Archivo*

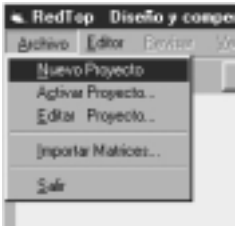


Figura 2. Menú Archivo.

Nuevo Proyecto

Permite crear un proyecto nuevo, que no es más que un fichero ASCII en el que se han almacenado las coordenadas de los puntos fijos y variables y los observables junto con sus pesos.

Al entrar en la opción *Nuevo Proyecto* se muestra un cuadro de diálogo tabulado, que no es más que tres fichas: una para introducir los datos de los vértices, otra para los observables y otra con las opciones para guardar el fichero.

Se muestra a continuación la ficha de coordenadas de los vértices:

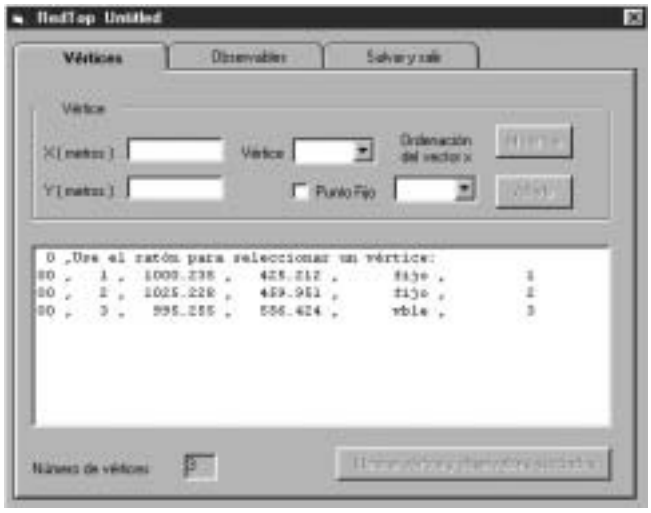


Figura 3. Nuevo Proyecto: introducción de las coordenadas.

La ficha *Observables* permite introducir las medidas realizadas en campo. Los ángulos deben introducirse en grados centesimales y las distancias en metros. El sentido de lectura de los ángulos es dextrógiro.

Con respecto a los pesos puede decirse que las observaciones del mismo tipo no han de tener necesariamente el mismo peso, puesto que los pesos se dan individualmente a cada observación.

Figura 4. Nuevo Proyecto: introducción de observables.

Por último, la página *Salvar y Salir* guarda el proyecto en disco, con el nombre deseado por el usuario.

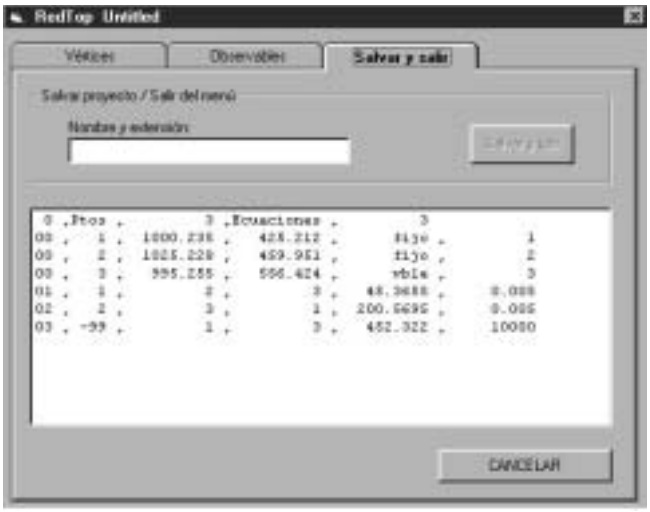


Figura 5. Nuevo Proyecto: salvar y salir.

Activar Proyecto

Permite abrir un proyecto almacenado para realizar los cálculos sobre él. Si lo que se desea es abrir el proyecto y modificar algún dato del mismo la opción apropiada sería *Editar Proyecto*.

El cuadro *Abrir Proyecto* permite al usuario moverse por las distintas unidades y carpetas y seleccionar el archivo deseado, del modo estándar en cualquier aplicación de Windows.

A continuación se muestra el cuadro *Activar Proyecto*.

Expanda sus horizontes GIS con tecnología INTERGRAPH

BRINGING IT TOGETHER.

¡ Llámenos y pida una versión gratuita de evaluación de nuestro software, o analice su proyecto con nuestros especialistas !

Hace más de **30 años** que mantenemos el liderazgo en **soluciones de Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica –GIS-**, abarcando todos los componentes típicos del flujo de trabajo:

- Aerofotogrametria con cámaras aéreas de última generación, incluyendo la cámara digital más innovadora del mercado. (RMK TOP, DMC)
- Scanners y equipos de restitución digital (PhotoScan, SSK Pro, Imagestation)
- Sistemas de gestión y distribución de imágenes de alta resolución (TerraShare)
- Sistemas GIS diente-servidor fáciles de usar, abiertos y programables según estándares (GeoMedia, GeoMedia Professional, GeoMedia Grid)
- Sistemas GIS via web, incluyendo modificación/edición de información gráfica, segmentación dinámica, optimización de rutas, etc. (GeoMedia Web)
- Soluciones para gestión de fuerza de trabajo móvil, incluyendo actualización on-line y off-line (IntelliWhere OnDemand y TrackForce)
- Soluciones específicas por industrias: Transporte, Carreteras, Catastro, Agua, Electricidad, Telecomunicaciones, Gas, etc.

Además, a fin de asegurar el éxito de su proyecto, ponemos a su disposición la experiencia profesional de nuestros más de mil empleados, mediante servicios de consultoría e implementación.

INTERGRAPH es la única empresa que puede ofrecerle soluciones integradas en todas las fases de su flujo de trabajo.

¡¡ Conozca la empresa con mas experiencia e implementaciones de Mapping y GIS en el mundo !!.

www.intergraph.com/gis / www.intelliwhere.com / www.ziimaging.com

INTERGRAPH (España) S.A. • C/ Gobelas, 47 - 49 • (La Florida) 28023 MADRID • Tel.: 91 708 88 00 • Fax: 91 372 80 21
INTERGRAPH (España) S.A. • C/ Nicaragua, 46. 1º 1ª • 08029 BARCELONA • Tel.: 93 321 20 20 • Fax: 93 321 47 73

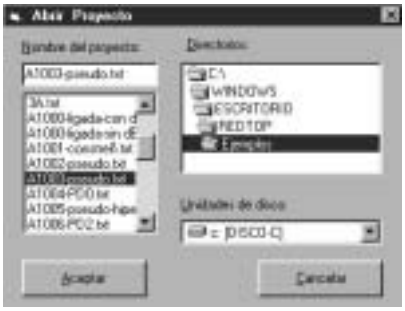


Figura 6. Activar Proyecto.

Editar Proyecto

Esta opción permite modificar los datos de un proyecto ya existente para luego operar sobre ellos.

Tras un cuadro de selección de archivos, como el de la figura 6, se muestra el de edición de datos, que es el mismo que ya vimos para la introducción (figuras 3 a 5).

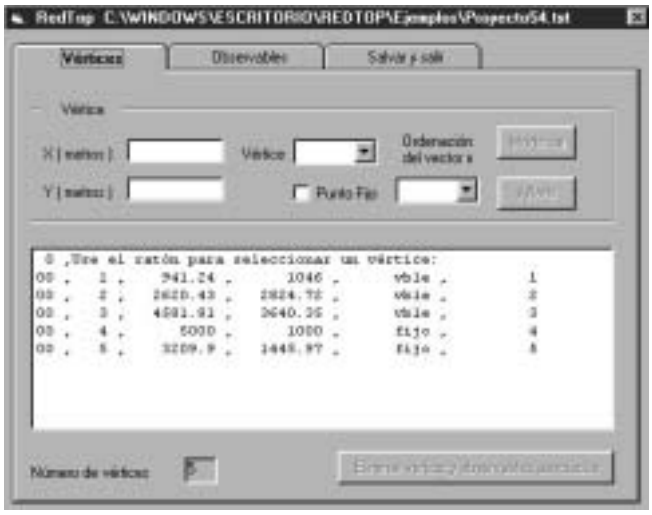


Figura 7. Editar Proyecto: Menú de edición.

De este modo, una vez modificado el fichero puede ser guardado con otro nombre. En el caso de hacerlo con el nombre de un archivo ya existente el programa muestra un aviso para confirmar la sobreescritura.

Importar Matrices

El menú correspondiente a *Importar Matrices* permite designar los archivos que contienen los ficheros de texto de cada una de las matrices del sistema: matriz de diseño A; matriz de términos independientes de las formas de observación, k; matriz de criterio de los pesos P; y opcionalmente la matriz de constreñimientos E.

Como ya se dijo anteriormente, esta opción tiene gran flexibilidad: los ficheros de matrices son ficheros de texto en el que los elementos vienen en las distintas filas y separados en columnas por un punto y coma, o uno o varios espacios, o uno o varios tabuladores. Por otra parte, la existencia de un formato incorrecto o la incongruencia entre dimensiones de las matrices, además de la detección de una matriz de pesos no cuadrada o la de una ecuación entre puntos fijos en la matriz A, llaman al correspondiente mensaje informativo.

El programa también detecta e interpreta si el fichero de los pesos que se introduce contiene una matriz cuadrada de pesos o simplemente el vector con los elementos de la diagonal, así como la existencia de la incógnita de factor de escala, siempre que se introduzca en la última columna de la matriz A.

El botón *Introducir Coordenadas Aproximadas* se utiliza si en la compensación se quiere obtener no sólo las correcciones sino también las coordenadas compensadas (por adición a las correcciones de las coordenadas aproximadas iniciales) y también si se quieren visualizar la red y sus figuras de error en el menú gráfico.

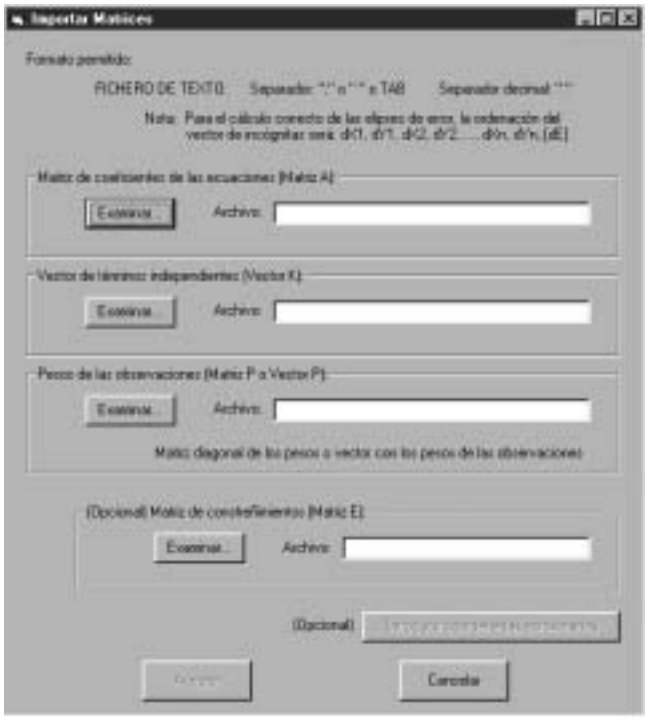


Figura 8. Importar Matrices.

Menú Editor: *Editor de texto*

En él se visualizan los ficheros de salida automáticamente tras la compensación y se puede utilizar para realizar cualquier otra operación relacionada con tratamiento de textos.

Es de importancia el menú *Reemplazar* > *Reemplazar Caracteres*, diseñado teniendo en consideración que, en el intercambio de datos entre distintas aplicaciones, pueden existir problemas con el hecho de que algunas utilicen el '.' como separador decimal (es el caso, por ejemplo,

de RedTop) y otras utilicen la ‘,’ (como por ejemplo Excel). Con el menú *Reemplazar Caracteres* es inmediato cambiar todas las comas por puntos o viceversa.

Los archivos se pueden imprimir, por supuesto, y se pueden utilizar distintos estilos y tipos de letra. Las opciones clásicas de *Copiar, Cortar* y *Pegar*, se encuentran implementadas también en el Editor.

Figura 9. Editor de texto: pantalla principal.

Menú *Archivo*

Tiene las opciones clásicas de *Abrir, Guardar, Guardar Como, Imprimir* y *Salir.*

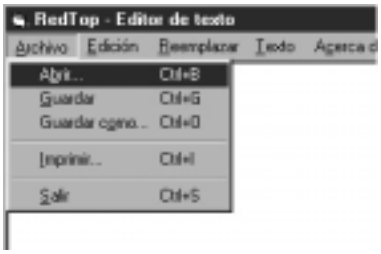


Figura 10. Editor de texto: menú Archivo.

Menú *Edición*

También con las opciones clásicas de *Cortar, Copiar* y *Pegar.*

Figura 11. Editor de texto: menú Edición.

Menú *Reemplazar*

Permite reemplazar caracteres dentro del texto. Su formulario se muestra a continuación.

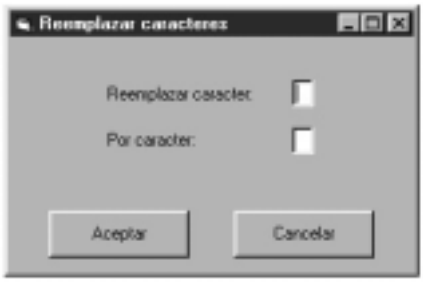


Figura 12. Editor de texto: reemplazar caracteres.

Menú *Texto*

Permite utilizar distintos tipos de letra (Courier New, Arial o Symbol) y tamaños (8, 10 o 12).

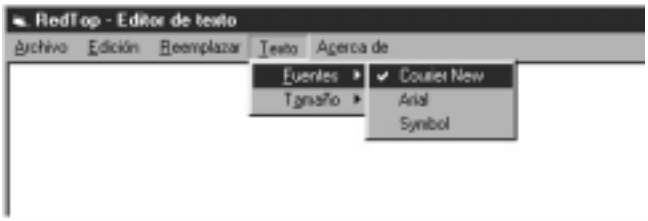


Figura 13. Editor de texto: fuente y tamaño.

Menú *Revisar*

Permite modificar la situación de cada punto –fijo o variable– y el peso de los observables, y trabajar con los nuevos datos sin tener que guardarlos en disco.

En cuanto al peso de los observables, se puede modificar de manera individualizada o asignar un peso único para los observables de un tipo (ángulo o distancia).

El formulario es un control tabular con dos fichas, una para modificar los puntos y otra para los pesos. Se muestran a continuación.

Figura 14. Menú Revisar: Puntos Fijos.

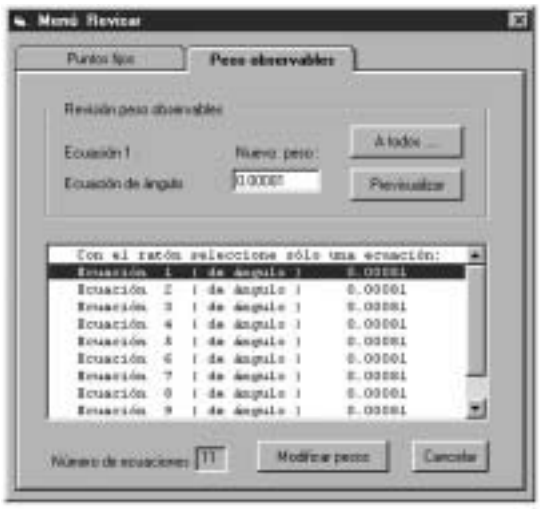


Figura 15. Menú Revisar: Peso de los observables.

Menú *Ver*

Con él se accede a la pantalla gráfica de la aplicación. Desde este menú puede visualizarse el gráfico de la red además de las diversas elipses de error, siempre y cuando hayan sido previamente calculadas en la compensación.

Existe la posibilidad de realizar zooms, para lo cual se dibujará un rectángulo con el ratón y, situándose dentro de él, se apretará el botón derecho.

Además, es posible dar una salida a fichero dxf (ASCII) de la imagen que se muestra en pantalla, mediante la opción *Crear Fichero DXF*.

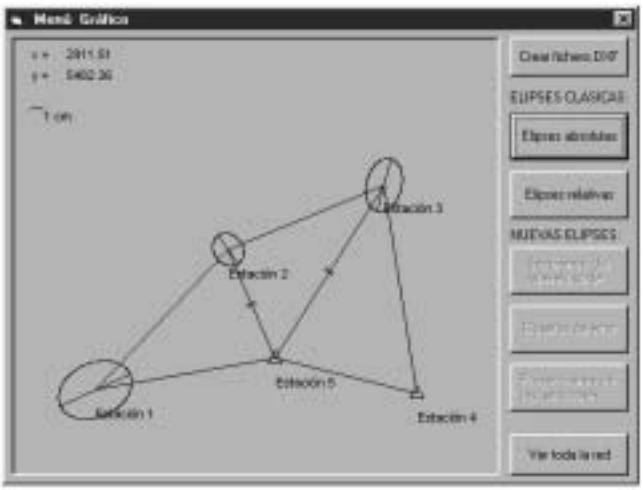


Figura 16. Menú Ver: Vértices, observaciones y elipses de error.

Menú *Compensación*

Es el que se utiliza cuando se quiere realizar el ajuste mínimo-cuadrático de las observaciones.

Al final de la compensación se vuelcan los resultados a un archivo de nombre seleccionado por el usuario y, si se desea, se visualiza automáticamente en el editor de texto.

Figura 17. Menú Compensación.

Matriz *Inversa*

El proceso se inicia con unas preguntas al usuario:

1) Si desea incluir la incógnita de factor de escala
2) Si desea añadir alguna ecuación de condición
3) El parámetro de traslación deseado para el Test de Baarda
4) Si se desea el cálculo de las elipses de error derivadas del hiperelipsoide
5) El nombre del fichero de salida.

Concluido el ajuste y enviados los resultados al fichero de salida, se pregunta al usuario si quiere visualizarlo.

Matriz de constreñimientos

De modo análogo, se plantean inicialmente unas preguntas:

1) El parámetro de traslación deseado para el Test de Baarda
2) Si se desea el cálculo de las elipses de error derivadas del hiperelipsoide
3) El nombre del fichero de salida.

Concluido el ajuste y enviados los resultados al fichero de salida, se pregunta al usuario si quiere visualizarlo.

Matriz pseudoinversa

Como en los casos anteriores, hay inicialmente unas preguntas:

1) El parámetro de traslación deseado para el Test de Baarda
2) Si se desea el cálculo de las elipses de error derivadas del hiperelipsoide
3) El nombre del fichero de salida.

Durante el ajuste se pregunta al usuario qué autovalores pueden ser considerados cero. Finalmente, concluido éste y enviados los resultados al fichero de salida, se pregunta al usuario si quiere visualizarlo.

Geo center

AHORA PAGUE SUS COMPRAS EN 6 o 12 MESES

SIN INTERESES

6 meses — Financiamos el 85% IVA incluido
12 meses — Financiamos el 75% IVA incluido

C.E. 1% - C.A. 1%

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

Disponemos de servicio de alquiler de GPS TRIMBLE

Consulta nuestros precios y te sorprenderás

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

5.430 € + IVA

Estación Total Trimble 3600DR con ACU
Precisión angular: 10cc
Precisión en distancias: 2mm + 2ppm
Alcance: 2.500 m
Controlador ACU: con software Trimble Survey Controller
Medición sin prisma
Disponible en 10cc y 15cc

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

Medidor de Distancia Láser Trimble HD-360

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

Trimble
AUTHORIZED DISTRIBUTOR

Geo Center busca distribuidor exclusivo para Zaragoza

Geo center

Consúltenos su distribuidor Geo center más cercano: MADRID, GRANADA, BARCELONA, PAIS VASCO, VALENCIA

Tel. 902 19 01 22 - Fax. 902 19 11 81
www.geocenter.es

Menú *Problemas de Diseño*

Se accede a él para resolver PD0, PD1 o PD2.

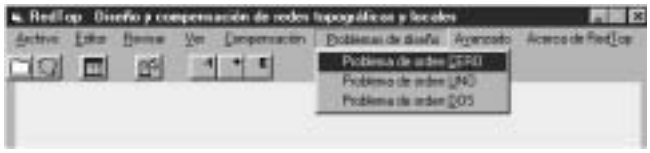


Figura 18. Menú Problemas de Diseño.

Problema de orden cero

Se resuelve la red con varios vértices de máxima precisión intrínseca. Así, las preguntas al usuario son cuatro:

1) El nombre del fichero de salida, como viene siendo usual
2) El número de vértices en los que se busca la mayor precisión
3) El número identificador de estos vértices
4) Los autovalores a considerar como nulos.

La salida se da nuevamente por fichero y opcionalmente además por pantalla.

Problema de orden uno

Se obtienen las coordenadas aproximadas óptimas para determinados puntos, elegidos por el usuario.

La opción no está disponible, como ya se comentó, para la importación de matrices, pues necesita la formación de las ecuaciones a partir de observables, tipo de ecuación y coordenadas de los puntos aproximados y fijos, datos que no se conocen en la entrada por matrices.

Las preguntas que el programa hace al usuario son:

1) Fichero de salida
2) Número de vértices en los que mejorar las aproximadas
3) Identificación de dichos vértices
4) Máxima variación en las coordenadas aproximadas
5) Valor diferencial que se utiliza para realizar las derivadas
6) Tipo de red libre con que se trabaja
7) Matriz cofactor Q_{xx} deseada: cálculo automático, entrada por fichero ASCII o manualmente
8) Autovalores a considerar nulos en diversas matrices.

Problema de orden dos

Da los pesos necesarios de los observables para alcanzar la matriz cofactor Q_{xx} deseada. Las preguntas a que se ha de responder son:

1) Autovalores a considerar nulos
2) Varianza *a priori* del observable de peso unidad
3) Matriz cofactor Q_{xx} deseada: matriz de criterio absoluta de Baarda, cálculo automático con las medias, entrada por fichero ASCII o manualmente
4) Autovalores a considerar nulos.

Menú avanzado

Contiene opciones sobre los algoritmos a realizar y la visualización de las coordenadas compensadas.

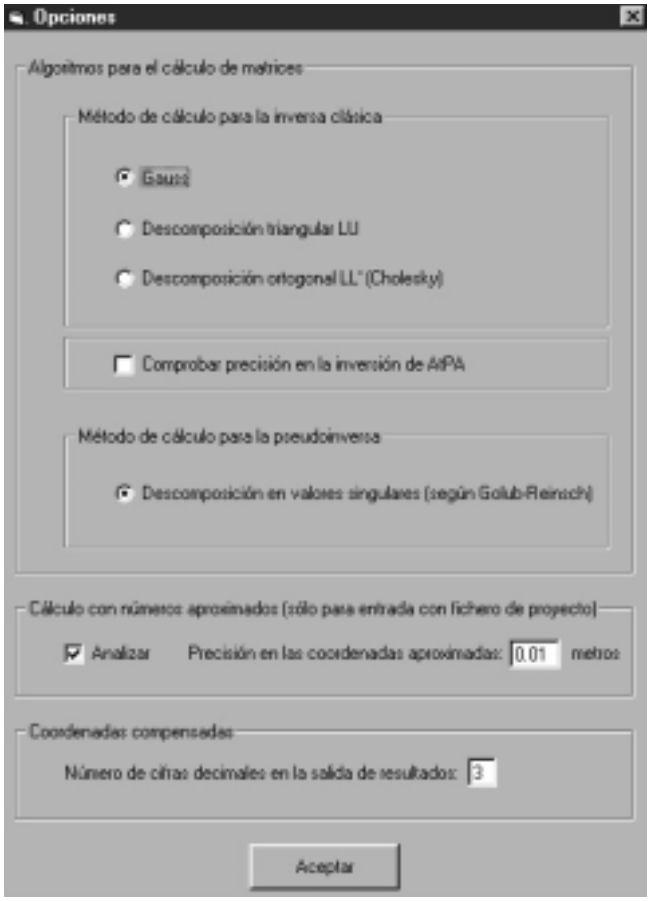


Figura 19. Avanzado: Opciones.

Cálculo de la inversa clásica

Permite escoger el método entre: método de Gauss, descomposición LU o Cholesky. Por defecto se considera Gauss. Además permite (por defecto está desactivada la opción) calcular una matriz de comprobación de la precisión en la inversión: $(A^TPA)(A^TPA)^{-1} - I$, teóricamente 0, da idea de los truncamientos sufridos en el proceso de cálculo.

Cálculo de la pseudoinversa

El único método posible es el que, con diferencia, da mejores resultados en la pseudoinversión: el de descomposición en valores singulares.

BIBLIOGRAFÍA

- Berné, J. L.; Baselga, S.; Anquela, A. (2001): *"RedTop. Aplicación informática para el diseño, análisis y compensación de redes topográficas"*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Berné, J. L.; Anquela, A. (1996): *"Proyecto de redes topográficas de alta precisión"*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Caspary, W. F. (1987): *"Concepts of network and deformation analysis"*. Monograph 11. School of Surveying. The University of New South Wales, Australia.
- Chueca, M; Herráez, J.; Berné, J. L. (1996): *"Redes topográficas y locales. Microgeodesia"*. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Chueca, M.; Berné, J. L. (1999): *"Análisis y diseño de redes"*. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. UPV. Valencia.
- Chueca, M.; Berné, J. L. (1997): *"Problemas de análisis y diseño de redes"*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Chueca, M.; Berné, J. L.; Anquela, A.; Baselga, S. (2001): *"Avances en la interpretación de resultados en redes locales. Recintos de error"*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- García, S. (2000): *"Diseño y ajuste de redes topográficas en ingeniería. Una aplicación informática"*. Tesis doctoral. Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo.
- Grafarend, E. W.; Sanso (1985): *"Optimisation and Design of Geodetic Networks"*. Springer-Verlag. Berlín.
- Núñez-García Del Pozo, A. (1987): *"Análisis de redes libres"*. Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid.
- Núñez-García Del Pozo, A.: *"Concepto de precisión y fiabilidad en redes geodésicas"*. Boletín de Información del Servicio Geográfico del Ejército.
- Sevilla, M. J.; Núñez, A. (1980): *"Ajuste y análisis estadístico de ondulaciones del geoide"*. Física de la Tierra. Universidad Complutense. Madrid. ■

"LA TIENDA VERDE"

C/. MAUDES, 23, TEL. 91 535 38 10 y MAUDES, 38, TELS. 91 534 32 57 - 91 533 07 91
FAX: 91 533 64 54 - 28003 MADRID
www.tiendaverde.org

"LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA"

- MAPAS TOPOGRAFICOS: S. G. E. I. G. N.
- MAPAS GEOLOGICOS.
- MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.
- MAPAS AGROLOGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.
- MAPAS GEOTECNICOS.
- MAPAS METALOGENETICOS.
- MAPAS TEMATICOS.
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS MURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFIAS AEREAS.
- CARTAS NAUTICAS.
- GUIAS EXCURSIONISTAS.
- GUIAS TURISTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

"VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA"
"SOLICITE CATALOGO"

Algoritmo de implementación del Método de Burns para la extracción de líneas rectas

Ana García de Vicuña Ruiz de Argandoña
ING. EN GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
E.P.S. DE ÁVILA (UNIV. DE SALAMANCA)

Resumen

Enmarcado dentro del programa de Doctorado Ciencia y Tecnología de la Ingeniería Geodésica y Cartográfica de la Universidad de Salamanca surge el siguiente trabajo de investigación, cuyo principal objetivo es diseñar un software que permita extraer líneas rectas de imágenes digitales, puesto que puede ser de gran ayuda en el ámbito de la fotogrametría para el cálculo de los puntos de fuga y de los parámetros de la distorsión radial. El método implementado en el programa para extraer líneas rectas ha sido el método de Burns.

1. INTRODUCCIÓN

En Fotogrametría Terrestre, y más específicamente en Fotogrametría Arquitectónica, es habitual poder contar con la geometría del objeto para poder llevar a cabo las tareas fotogramétricas (Orientación Interna, Orientación Externa, Refinamiento de Coordenadas, Restitución). Por ello son importantes los métodos de extracción de líneas que permiten definir la figura básica del objeto.

Las líneas que se extraen participan en el cálculo de los parámetros de la distorsión radial y de los puntos de fuga, útiles en las tareas fotogramétricas.

Un punto de fuga se define como aquel punto del plano del fotograma en el que concurren todas las trazas correspondientes a líneas del objeto paralelas a una misma dirección. Cada dirección genera un punto de fuga. En el estudio de un objeto, para determinar los tres puntos de fuga relevantes es necesario identificar en el mismo las trazas o líneas de fuga, pudiéndose emplear para ello dos métodos; manual y automático.

Figura 1. Esquema de líneas que definen la geometría del objeto. (F. A. van der Heuvel, 1998, *"Vanishing point detection for architectural photogrammetry"*).

El Método Manual consiste en dibujar sobre el fotograma dichas líneas a partir de los elementos arquitectónicos de las fachadas, como pueden ser cornisas, pilares, puertas, etc.

El Método Automático se basa en el empleo de una serie de algoritmos que permiten detectar automáticamente las líneas (Método de Burns, Transformada de Hough, máscaras de convolución).

La tarea de determinar los puntos de fuga se verá dificultada por el hecho de que en ella intervienen rectas que adolecen de distorsión radial (es decir, curvas). Para obtener los parámetros de distorsión radial es preciso realizar el trabajo previo de extraer las observaciones con las que alimentar los modelos matemáticos. Las observaciones son puntos pertenecientes a los segmentos lineales que se pretende "enderezar". Como ya se ha comentado, la determinación de estos segmentos puede realizarse de forma manual o automática.

A continuación se describe el método de Burns y su implementación.

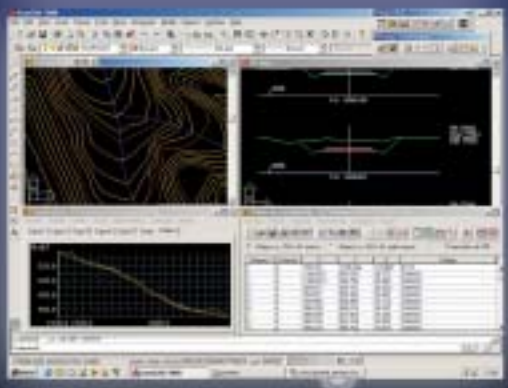
2. MÉTODO DE BURNS

El método de Burns es una técnica de extracción de líneas rectas basada en el gradiente de orientación. Según Burns, la orientación del borde transporta la información importante sobre la colocación de los píxeles que participan en la variación de intensidad que delimitan la línea recta.

Software Técnico de Cálculo Topográfico, Diseño y Proyectos en Entorno Autocad

DINAMISMO EN AUTOCAD

PROTOPO



Módulo 1
Editor de Coordenadas
Modelo Digital del Terreno y Curvado.
Nuevo Cálculo de volumen entre Modelos.
Nuevo Cálculo Topográfico, Radiaciones, Poligonales, Redes.

Módulo 2 (Incluye módulo 1)
Perfiles Longitudinales.
Perfiles Transversales. Volúmenes.
Nuevo Diseño de Transversales.
Nuevo Listado Volúmenes (Especial Viales).

Módulo 3 (Programa Completo)
Trazado en Planta.
Sección Tipo
Enlace entre Ejes.
Nuevas Herramientas de Ayuda al Trazado.
Nuevas Aplicaciones. Aprovechamiento de Firmes, Túneles.

GPSAT

Programa integrado en Autocad para posicionamiento, registro y replanteo con GPS y/o Sonda.
Topografía y Batimetrías:
Dibujo de Cualquier Entidad de Autocad con posición GPS.
Cálculo de parámetros de transformación Helmert 2D, 3D.
Nuevas Pantallas de Captura, Replanteo y Rumbos.

PROCAD

Potente y fácil programa de diseño asistido CAD para las libretas Pocket PC.
Incluye múltiples funciones de dibujo, edición, organización por capas, colores, DXF, georeferenciación de imágenes Raster...

PROSAT

Programa integrado en ProCad, que permite la recepción de mensajes del GPS con la consiguiente Navegación sobre imágenes escaneadas o ficheros de Autocad, permitiendo registro, replanteo, dibujo de cartografía, batimetrías, rutas...

GRATIS

* Herramienta PPROTOPO para Cartografía. Punto-GIS, Curva de Nivel.
* PROCAD.
* PROLINK.

TECNOLOGÍA

Protopo 5.5 está desarrollado en Visual C++ (no en LISP ni ADS) usando controles ActiveX para mejorar la productividad, y conseguir una presentación más próxima a Windows, con pantallas dimensionables, dinámicas y con alta velocidad (Triangulación de 90.000 puntos en menos 24sg). Funciona como aplicación integrada en Autocad realizada en el mismo lenguaje que este. (Object, ARX, MFC).

microgesa

C/ Jacometrezo, 15 - 4º
28013 Madrid
TLF: 915422471* - FAX: 91 5471457
www.microgesa.es info@microgesa.es

La extracción de líneas rectas a partir del método de Burns consiste en agrupar los píxeles en regiones entorno de líneas basadas en el gradiente de orientación y más tarde extraer de cada región un segmento de línea recta.

Los pasos básicos en la extracción de líneas rectas a partir del método de Burns son los siguientes:

1. *Agrupación de píxeles en regiones entorno de líneas.*
2. *Interpretación de la región entorno de línea como una línea recta.*
3. *Atributos de la región entorno de línea.*
4. *Filtrado de líneas.*

2.1. Agrupación de píxeles en regiones entorno de líneas

Los píxeles con gradientes de orientación similares se agrupan en regiones entorno de líneas. Para ello se emplean diferentes máscaras, que permiten calcular el gradiente convolucionando la imagen con la máscara.

Las máscaras más empleadas en el cálculo del gradiente son:

1	2	1
0	0	0
–1	–2	–1

Horizontal (Gx)

–1	0	1
–2	0	2
–1	0	1

Vertical (Gy)

1	–1
1	1

Horizontal (Gx)

–1	1
–1	1

Vertical (Gy)

A continuación se calcula la dirección del vector gradiente (gradiente de orientación) a partir de la fórmula:

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

Los píxeles, según el valor del gradiente de orientación, se clasificarán en intervalos de orientación, de manera que los píxeles adyacentes pertenecientes al mismo intervalo de orientación pertenecerán a la misma región entorno y serán etiquetados con el valor de la región entorno a la que pertenecen.

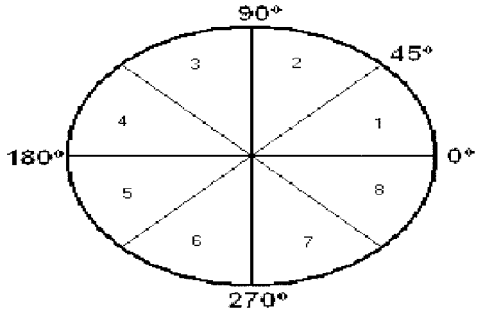


Figura 2. Intervalos de orientación. (*Extracting Straight Lines*. IEEE Vol. Pami 8 Nº 4. Julio 1986)

2.2. Interpretación de la región entorno de línea como una línea recta

Cada región entorno de línea es un área candidata a ser línea recta. Cada una de las regiones entorno está formada por un conjunto finito de tramos rectos horizontales adyacentes de longitud variable. Por cada uno de los tramos rectos se va a considerar un punto. Para determinar la ubicación del punto, en la imagen del módulo del gradiente se toma la intensidad de los píxeles que forman el tramo recto, se establece un umbral para definir qué pixel es el que da comienzo y final al tramo y se calcula el punto medio. Con todos estos puntos se realiza un ajuste por mínimos cuadrados para ver qué recta representa de forma más real la línea.

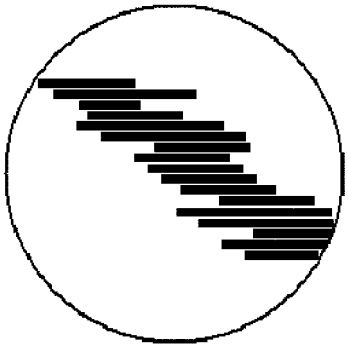


Figura 3. Estructura de las regiones entorno de líneas. (*Extracting Straight Lines*. IEEE Vol. Pami 8 Nº 4. Julio 1986)

2.3. Atributos de la región entorno de línea

Los parámetros de posición de una recta sirven para medir otros atributos aproximados, como su longitud, anchura, contraste y rectitud, y se emplean como criterios de selección para líneas con propiedades particulares.

2.4. Filtrado de líneas

Se realiza un filtrado de líneas sobre los atributos para aislar grandes líneas rectas de cualquier contraste, líneas pequeñas de bajo contraste, líneas cortas de bajo contraste, regiones homogéneas de líneas adyacentes de muy bajo contraste y líneas en posiciones y orientaciones particulares.

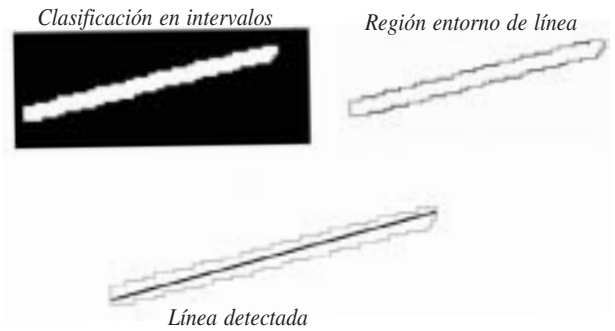


Figura 4. Extracción de una línea de una región entorno de línea. (Extracción de contornos GCII - FAIS - UPM)

3. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE BURNS

3.1. Objetivos del software desarrollado

El principal objetivo es, como se ha comentado anteriormente, desarrollar un algoritmo que permita extraer los elementos lineales de imágenes digitales, ver cuáles son las ventajas e inconvenientes que presenta el Método de Burns, así como determinar la efectividad del mismo, que depende de muchos condicionantes (información contenida en la imagen, forma de establecer las regiones entorno, mínimo número de píxeles que debe contener una región entorno, etc).

3.2. Problemas que resuelve el software

Los problemas que resuelve el programa son principalmente la lectura de la imagen (niveles de gris de la imagen), extracción de regiones entorno de líneas (bordes) y la extracción de las líneas que definen el borde.

La lectura de la imagen consiste en cargar una imagen desde un archivo y recorrer todos los píxeles de la misma para obtener una matriz de niveles de gris equivalente a la imagen original.

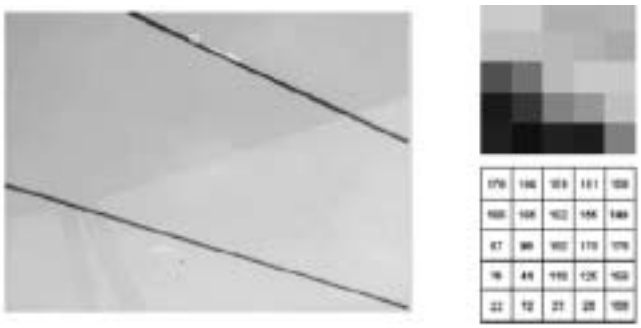


Figura 5. Estructura de la imagen digital. (Extracción de contornos GCII - FAIS - UPM)

En la extracción de regiones entorno de líneas de la imagen se recurre a un proceso de clasificación de píxeles en función del gradiente de orientación. Se calcula en primer lugar el gradiente de orientación de todos los píxeles de la imagen y se clasifican en intervalos de orientación en función de los valores del gradiente de orientación. Se han considerado dos cuadrantes, primer y segundo cuadrante, puesto que las direcciones del tercer y cuarto cuadrante son equivalentes al primero y segundo. De esta manera, los píxeles con gradientes de orientación comprendidos entre 0º y 45º se clasificaran en el intervalo de orientación uno y así sucesivamente hasta llegar a los 180º.

El siguiente paso, una vez realizada la clasificación de todos los píxeles, es asignar una etiqueta de región. La forma en que se ha realizado es recorriendo todos los píxeles y evaluando su entorno de vecindad. Si un pixel se encuentra en el mismo intervalo de orientación que alguno de sus ocho píxeles vecinos, todos ellos se etiquetarán con la misma etiqueta de región. Puede ocurrir que aparezcan regiones que no representan el borde; para eliminarlas se estudia el número de píxeles de que están compuestas, así como el entorno de vecindad de todos los píxeles contenidos en ella. Si el número de píxeles es inferior a un mínimo establecido por el usuario y no existe al menos un pixel que cumpla con el requisito de que sus ocho píxeles vecinos estén etiquetados en la misma región, serán eliminadas.

Para extraer las líneas que definen el borde se implementó el algoritmo de esqueletización, que es un algoritmo de reducción que permite obtener el esqueleto de una región; esto es, extraer la línea que define el borde. El método consiste en aplicar a los píxeles que componen el contorno de un borde una serie de condiciones, siendo suprimidos si las satisfacen. De esta manera se obtienen los puntos de la línea sin ajustar, haciéndolo posteriormente mediante un ajuste mínimo cuadrático.

Figura 6. Esqueleto de una región. (Extracción de contornos rectos GCII - FAIS - UPM.)

3.3. Puntos críticos al implementar el Método de Burns

Al realizar la segmentación de la imagen en función de la dirección del gradiente se ha utilizado el solapamiento de particiones, debido a que la utilización de una única partición implica errores por exceso de agrupación. Aunque las agrupaciones locales sean similares localmente, las regiones pueden contener píxeles con atributos de orientación muy poco similares, debido a pequeños arrastres en la orientación de un pixel a otro.

Se establece también un criterio de selección de regiones, para aislar los sucesos que más interesan. Por una parte se seleccionan aquellas regio-

nes que cuenten con un número importante de píxeles y que contengan al menos uno unido con un entorno de vecindad de ocho (en todas las direcciones). El resultado está condicionado por el número mínimo de píxeles que debe contener una región, el cual establece el usuario, además de por un ancho de región, puesto que si la región no cumple con la condición de tener al menos un píxel con un entorno de vecindad de ocho, se eliminará.

El establecimiento de un umbral en el módulo del gradiente para ver los píxeles que dan comienzo y final al segmento, condiciona también los resultados en la obtención de los puntos que van a definir la línea. Por ello se ha realizado un análisis para ver cómo se comporta el módulo del gradiente. Se ha observado que toma valores altos en las zonas en las que hay bordes o cambios bruscos de contraste y valores pequeños en las regiones en las que hay niveles de gris más o menos constantes. Por ello, se establece como umbral el hecho de que se produzca un cambio brusco en el módulo del gradiente entre píxeles adyacentes.

4. CONCLUSIÓN

Este artículo pone de manifiesto la aplicabilidad del Método de Burns en la extracción de líneas rectas, de gran importancia en Fotogrametría Arquitectónica.

El algoritmo ideado por Burns es uno de los más importantes dentro de la extracción de contornos rectos. A diferencia del resto de métodos, toma como referencia el gradiente de orientación, que sirve para extraer las regiones entorno de línea, sin relegar por ello la importancia de la magnitud del gradiente que se emplea para extraer la línea de la región entorno.

Cabe destacar en el desarrollo del Método de Burns la escasa documentación encontrada, a pesar de la importancia del mismo, puesto que muchos de los autores que tratan el tema de extracción de líneas lo mencionan, pero son pocos los que lo tratan de forma exhaustiva. Es un campo que se encuentra en constante desarrollo, con autores que proponen nuevas metodologías, nuevos aspectos de métodos desarrollados. Es un tema abierto a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno de la Universidad de Salamanca y en especial a D. Javier Gómez Lahoz, Profesor Titular en la E.P.S. de Ávila (Universidad de Salamanca) la ayuda prestada, sin la cual hubiera sido imposible la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Burns, B.; Hanson, A. R.; Riseman, E. M. (1986). *Extracting Straight Lines.* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol. Pami 8 Nº 4. Julio 1986.
- Devernay, F. (1995). *A Non Maxima Suppression for Edge Detection with Sup - Pixel Accuracy.* Research Report 2724, INRIA, 1995 in Sophia - Antipolis.
- Fleck, M.; Forsyth, D; Malik, J.; Ponce, J. (1992). *Primitives, Perceptual Organization and Object Recognition.* Computer Science Division, University of California; Dept. of Computer Science, University of Iowa; Beckman Institute, University of Illinois, 1992 in California, Iowa, Illinois.
- Förstner, W. *A Framework for Low level Feature Extraction.* Institute for Photogrammetry, University Bonn.
- Fuchs, C.; Heuel, S. (1998). *Feature Extraction.* Institute for Photogrammetry, University Bonn, 1998, Bonn.
- Gómez Lahoz, J. (2001). *Fotogrametría y Patrimonio.* Curso de doctorado. Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno. Universidad de Salamanca, 2001, Salamanca.
- González, R. C.; Woods, R. (1993). *Tratamiento Digital de Imágenes.* Copublicación de Addison - Wesley Iberoamericana, S.A. y Ediciones Díaz de Santos, 1993, Nueva York.
- Hernández Barrio, J.: *Extracción de contornos rectos utilizando la transformada de Hough.* GCII - FAIS - UPM.
- Marr, D.; Hildreth, E. (1980). *Theory of Edge Detection.* Proceedings of Royal Society of London. Vol. 207, pp. 187-217, 1980, London.
- Steger, C. *Evaluation of subpixel line and edge detection precision and accuracy.* Forschungsgruppe Bildverstehen (FG BV), Informatik IX, Tecnnische Universität München.
- Varas Martínez, R.. *Extracción de contornos rectos.* GCII - FAIS - UPM.
- Yaniv, Z. Edge detection School of Engineering and Computer Science. The Hebrew University, Jerusalem.
- Comité Científico Internacional de Fotogrametría Documental y Arquitectónica (CIPA): http://www.cipa.com
- Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS): http://www.isprs.org ■

¿Cuánto les cuesta a los estadounidenses el no disponer de un Sistema de Información Territorial público?

Bengt Kjellson

Resumen

En la mayoría de los países desarrollados, incluidos los de la Europa Occidental, los registros territoriales y los catastros son conservados y mantenidos –a menudo de manera informática, siendo fácilmente accesibles– por cuerpos u organismos de la administración pública. Frecuentemente hay una larga y arraigada tradición de hacerlo. Los gobiernos continuamente hacen esfuerzos para mejorar estos sistemas, impulsando cambios legislativos, desarrollos técnicos o modificaciones en las estructuras de su organización. Los objetivos clave en este campo son la transparencia, los bajos costes de las transacciones y la eficacia de los mercados de propiedades territoriales. El desarrollo de estas funciones ha ocupado también un lugar prioritario en las agendas que se han establecido como parte de loa dramáticos cambios políticos de la Europa Central y Oriental. Han sido contemplados como unos elementos muy importantes para poder implantar la economía de mercado, así como para reforzar la democracia.

La situación en los Estados Unidos es muy diferente. Los Estados Unidos tienen una posición única entre los países más desarrollados, ya que no disponen de un sistema, ni estatal ni federal, de registro territorial, bajo la forma de un sistema informatizado de títulos de propiedad. En su lugar, el mercado de bienes raíces depende de las compañías aseguradoras de títulos, que son las que aportan estabilidad y orden. Parece que las iniciativas públicas se restringen a dar información acerca de los terrenos federales. En las transacciones de propiedad y en las hipotecas intervienen una serie de agentes que no existen en ninguna otra parte del mundo.

En este artículo se presenta un intento de comparar las transacciones concernientes a la refinanciación de la propiedad residencial de los Estados Unidos con lo que sucede en las jurisdicciones europeas. Este es un tipo de transacción de las más comunes en ambos lados del Atlántico y, por tanto, un buen indicador de su eficiencia. Este estudio comparativo ilustra las diferencias entre lo que supone para los propietarios de terrenos el disponer o no de un sistema de registro territorial público bien desarrollado, tanto bajo el punto de vista de costes y tiempos como de las consecuencias de esto.

El resultado de este estudio muestra que el procesar una transacción en los Estados Unidos lleva mucho más tiempo y supone un coste mucho más elevado que en la mayoría de los países de Europa Occidental. Las jurisdicciones europeas tienen unas claras ventajas sobre sus equivalentes en los Estados Unidos. Tal vez, lo más importante sea el hecho de que, en las transacciones de refinanciación, los propietarios americanos tienen que pagar unas tasas considerablemente más elevadas. La diferencia de costes no parece corresponderse con ningún tipo de beneficio, como podrían ser unos menores tipos de interés, cuando se compara con los tipos de interés de otros tipos de préstamos disponibles en el mercado. Tal como están las cosas hoy día, el mercado de propiedades americano padece de lo que se podía denominar como costes de gestión extremadamente altos. Además, ya han surgido algunas iniciativas para agilizar e integrar algunos de los procesos que se dan en las transacciones de propiedades.

Abstract

In most developed countries, including those of western Europe, land registers and cadastres are kept –often in computer form and easily accessible– by public administration bodies or courts. There are often very long and strong traditions of doing so. Efforts are continually made by governments to enhance these systems, through legislative changes, technical development or changes to organizational structures. Transparency, low transaction costs and efficient property markets are key objectives for this development. The development of these functions was also put

high on the agenda as part of the recent dramatic political changes in eastern and central Europe. They were seen as very important steps in order to establish market oriented economies as well as strengthening democracy.

The situation in the Unites States is very different. The US has a unique position among the most developed countries, having no state or federal system for land registration in a title system or computerized deeds system. Instead the property market relies on title insurance companies to provide stability and order. Public initiatives seem to be restricted to information about federal land. A number of actors not seen in other parts of the world are involved in conveyance and mortgage transactions.

The paper presents an attempt to compare transactions concerning the refinancing of residential property in the United States with European jurisdictions. This is a transaction of the most common kind on both sides of the Atlantic, and therefore a good indicator of efficiency. This benchmarking illustrates the differences between having and not having a well-developed public land registration system for property owners, both in the way of cost and time, and the consequences of this.

The outcome shows that it takes considerable longer time to process such a transaction in the United States, and at a considerable higher cost than the most advanced European jurisdictions. European jurisdictions have distinct advantages over their American counterparts. Most important perhaps is the fact that American homeowners have to pay considerably higher fees for refinancing transactions. The difference in costs do not seem to correspond to any benefits in the form of lower interest rates when compared to rates for other kinds of loans available in the market. As things stand today, the American property market suffers from what can only be termed as extremely large transaction costs. Furthermore there are few moves to streamline and integrate processes in the whole chain of events in property transactions.

1. INTRODUCCIÓN

Los mercados necesitan información para funcionar adecuadamente. Cuanto mejor informados estén los que intervienen en el mercado, mejor funcionará el mismo, no importando cual sea el tipo de bienes que se manejen en dicho mercado en particular. Bajos costes de transacción, riesgos reducidos, fácil acceso al mercado e igualdad entre los participantes, son algunas de las características que asociamos normalmente con un mercado que funcione bien, y todas ellas dependen del acceso a la información. La forma en que la información es creada y estructurada varía entre los distintos tipos de mercados; desde el ver y tocar la fruta y comparar los precios en el mercado de verduras local, a leer los informes anuales y disponer de suscripciones a distintos servicios para hacer un seguimiento de lo que sucede en las Bolsas mundiales. Al igual que en el resto de los mercados, los participantes en el mercado de propiedades territoriales necesitan información para hacer sus negocios.

El desarrollo de los mercados de propiedades territoriales se ha contemplado en la Europa Oriental y Central como una parte muy importante de los cambios que han experimentado con el fin de establecer economías de mercado y, además, reforzar la democracia. Al crear unas condiciones seguras y sólidas para los compradores de casas, así como para los inversores en propiedades territoriales, mejoran las condiciones para poder disponer de mejores viviendas y aumentan las posibilidades de crecimiento económico. La información, para y desde los mercados de propiedades territoriales, ha formado parte de este desarrollo.

En la mayoría de los países desarrollados, incluidos los de la Europa Occidental, los registros territoriales y los catastros son mantenidos, a menudo de manera informática y siendo fácilmente accesibles, por cuerpos u organismos de la administración pública. Por lo general, esto ha sucedido así desde hace cientos de años. El acceso a una información fiable y actualizada sobre la propiedad territorial es de capital importancia para muchos sectores diferentes del mercado de la propiedad, tanto del sector público como del privado. La mejora de los sistemas de registro territorial, ya sean de escrituras o de títulos de propiedad, y la provisión de la información mediante acceso directo, son los pasos que se están tomando en la actualidad en muchas jurisdicciones de Europa, a fin de cumplir mejor con las demandas del mercado. Los gobiernos están continuamente haciendo esfuerzos para mejorar estos sistemas, mediante cambios legislativos, desarrollos técnicos o modificaciones en las estructuras de su organización. La transparencia, los bajos costes y la eficacia de los mercados de propiedades son los objetivos clave de estos desarrollos. Este mismo tipo de desarrollo se está efectuando en otros lugares del mundo, en donde los gobiernos están impulsando la información sobre propiedad territorial para que forme parte de las iniciativas gubernamentales dentro de la red de comunicaciones globales. Esto ha dado como resultado nuevos servicios en Internet, las transacciones electrónicas, etc.

Hasta el momento, poco se ha oído desde los Estados Unidos en este campo. El mercado americano de la propiedad territorial tiene muchas características únicas, como, por ejemplo, el notable papel que desempeñan en él las compañías aseguradoras de títulos. Es por tanto interesante identificar y comparar las transacciones de propiedades territoriales más frecuentes en los contextos europeo y estadounidense. A continuación se describirán las transacciones más comunes y sencillas necesarias para hipotecar la propiedad residencial, tanto en los Estados Unidos como en las jurisdicciones europeas, y se destacarán sus diferencias. Finalmente, se intenta comparar la eficacia de estos mercados y ver cuánto cuestan estas diferencias a los clientes.

2. LA TRANSACCIÓN ESTADOUNIDENSE

2.1. Antecedentes

Al examinar los temas de la propiedad territorial en los Estados Unidos desde una perspectiva europea, sorprenden unas cuantas cosas. Al igual que en otros estados federales, esto es una cuestión estatal y no federal, lo que significa que existen ciertas diferencias de un estado a otro. Hay algunas similitudes entre los estados, aunque, como hemos dicho, también existen diferencias de un estado a otro. (DETR 1998)

El mercado de propiedades territoriales de los Estados Unidos depende, en gran medida, de las compañías aseguradoras de títulos (excepto en uno o dos estados) que son las que aportan estabilidad y orden. No es fácil tener acceso a la información territorial en los Estados Unidos. En consecuencia, en los cambios de dominio e hipotecas intervienen una serie de agentes que no se suelen ver en otras partes.

Esto significa que los Estados Unidos tienen una situación única entre los países más desarrollados, al no disponer de un sistema estatal o federal de registro territorial, con un sistema informatizado de escrituras o títulos de propiedad.

Con algunas excepciones, el registro de escrituras domina en todos los estados. Las cortes de justicia son las responsables de registrar las escrituras. Al igual que en otras partes del mundo, los profesionales que intervienen en la transacción de propiedades, como, por ejemplo, las entidades de crédito, los agentes de la propiedad, los topógrafos, los gobiernos locales, los abogados y procuradores, etc., son los principales usuarios de esta información. Parece, sin embargo, que los usuarios finales contratan los servicios de las compañías de búsqueda de títulos para conseguir la información que necesitan, no poniéndose directamente en contacto con los que mantienen los registros territoriales. Más aún, las compañías aseguradoras de títulos son un importante grupo de usuarios.

2.2. Consiguiendo un crédito

2.2.1. Contactando con la entidad de crédito

El primer paso para refinanciar una casa será, como sucede en la mayoría de los sitios, encontrar el crédito más adecuado. Existe en Internet una creciente variedad de posibilidades, aunque, a menudo, no son más que una comparación de los tipos de interés en lugar de verdaderas ofertas de crédito. El cliente deberá discutir con las entidades de crédito y comparar tanto los tipos de interés como los costes.

Existen otras posibilidades, que no son nada comunes en otras jurisdicciones y lugares, como es la de utilizar los "puntos de descuento". Esto supone la elección entre pagar el coste de la transacción, además de otros cargos, bajo la forma de un cierto número de "puntos de descuento" (1 "punto de coste" es el 1% de la cantidad solicitada), o bien aceptar un tipo de interés mayor a lo largo del tiempo de vida del crédito. Un "punto pagado" (para cubrir algunos costes de la transacción) reducirá el tipo de interés de la hipoteca desde un octavo de punto hasta un cuarto de punto (Fogarty 2001 (4)).

En la mayoría de los casos será necesario hacer la valoración de la propiedad, como parte de las negociaciones con la entidad de crédito. Ésta debe ser hecha por un tasador profesional, que hará una visita física a la propiedad y comparará dicha propiedad con todas aquellas que hayan sido vendidas recientemente en la misma área.

La entidad de crédito verá si existe la necesidad de hacer un nuevo seguro del título de la propiedad, lo que depende del tiempo transcurrido desde que se hizo el seguro por última vez. Cuando se trate de una refinanciación, en la que no hay cambio de propietario, probablemente se descontará el coste del seguro del título (Fogarty 2001 (3)).

Con el fin de asegurarse de que existirá dinero para el pago de los impuestos sobre la propiedad y de las pólizas del seguro de imprevistos, la entidad de crédito retendrá una cierta cantidad en una cuenta aparte *(escrow account)*. Éste es un procedimiento normal en los Estados Unidos y es empleado en la mayoría de las transacciones. Esto supone que la apertura de dicha cuenta sólo supone un coste adicional cuando una persona entra por vez primera en el círculo de propietarios. En todas las transacciones siguientes sólo es cuestión de sustituir una cuenta por otra. El agente encargado de estas cuentas *(escrow agent)* es una figura única que solo existe en los Estados Unidos (DETR 1998).

2.2.2. Registro

El registro, es decir, la inscripción de la hipoteca en el registro de escrituras del juzgado del condado, es un asunto relativamente simple. En la mayoría de los casos parece que se hace en algún departamento de la entidad de crédito o del agente inmobiliario.

El disponer de un registro de escrituras significa que el contenido del registro no se recoge de la manera tan sistemática que caracteriza al registro de títulos de la propiedad y que, además, no existe ninguna garantía por parte del gobierno. Aquel que esté interesado en determinar los aspectos legales de una propiedad específica, tendrá que hacer una minuciosa búsqueda en el registro y en las propias escrituras. Existen compañías de búsqueda de títulos, que se especializan en este tipo de trabajos.

Las compañías aseguradoras de títulos han recogido una gran cantidad de información, que es la que emplean en sus operaciones.

2.2.3. Tiempo necesario

El tiempo que necesita una entidad de crédito para procesar una petición depende de muchos factores. Durante el año 2001 el aumento del número de peticiones de refinanciación, debido a los tipos de interés históricamente muy bajos, originó un aumento del tiempo necesario para este proceso. A mediados de 2001 se necesitaban 6 semanas desde la petición hasta el cierre del trato, lo que es el doble del tiempo normal en los Estados Unidos (Fogarty 2001 (2)).

Por supuesto, el tiempo que se necesita para registrar varía según las distintas jurisdicciones, y teniendo en cuenta el elevado número de condados de los Estados Unidos, sólo puede decirse que varía desde algunos días hasta varias semanas.

2.2.4. *Costes*

Los costes asociados con la refinanciación de una casa dependen de muchas circunstancias, pero la siguiente lista da una buena indicación del coste típico normal de refinanciar un crédito de 200.000 US$ y de pagar dos puntos.

Puntos	4.000 $
Tasa de gestión	300 $
Tasa de valoración	300 $
Informe del crédito	16 $
Tasa del certificado de inundación	24 $
Seguro del título	906 $
Tasa de habitabilidad	450 $
Preparación de documentos	150 $
Minuta del notario	50 $
Impuestos y tasa del registro	350 $
Total	6.546 $

2.3. Acceso a la información e informatización

Puede disponerse instantáneamente de los informes de los créditos, pero en la mayoría de las jurisdicciones de los Estados Unidos no existe un acceso directo a la información territorial. Lo mismo sucede cuando se trata de acceder a información importante de valoración, bajo la forma de datos fiables de ventas y de características de la propiedad. La información no es fácilmente accesible para aquellos que intervienen directamente en la transacción y esto supone que hay que hacer considerables esfuerzos para recuperar la información relevante.

La informatización no ha sido obviamente terminada de implantar en las organizaciones que intervienen y la cantidad de papeleo es notable. La petición de préstamo pasa por un promedio de 30 a 40 personas de la entidad de crédito, según va del departamento de riesgos al de asignación de créditos, a continuación al de títulos, etc. (Dugas 1999). Una tecnología más sofisticada parece, en la actualidad, haber acelerado y abaratado el proceso de petición de créditos (Fogarty 2001 (2)), aunque aun parece haber un sustancial número de personas y departamentos involucrados.

3. LA TRANSACCIÓN EUROPEA

3.1. Antecedentes

Europa consta de un gran número de países e incluso aun más jurisdicciones y, en consecuencia, no existe nada que se pueda considerar como una transacción europea típica. No obstante, existe un gran número de semejanzas entre los distintos sistemas de registro territorial y de la provisión de información territorial en Europa. Las razones de esto tienen principalmente que ver con los desarrollos históricos y los conceptos legales compartidos entre los diversos países. Hasta el momento, la Unión Europea no ha ejercido ninguna influencia sobre la legislación relacionada con el territorio y con la propiedad territorial, ya que esto queda fuera del Tratado de Roma, pero hay signos de un emergente interés en la información sobre la propiedad, debido a las necesidades del sector medioambiental, así como de los esfuerzos para crear un mercado financiero integrado y único, que incluya a las hipotecas.

Esto significa que, para poder definir lo que es una transacción europea, debemos identificar algunas características típicas de los distintos mercados europeos. Las jurisdicciones de Europa operan bajo dos sistemas principales de registro: los de títulos de propiedad y los de escrituras. Una descripción simple diría que los registros de títulos son característicos de la Europa del Norte, en tanto que los registros de escrituras predominan en el sur, "encontrándose" los dos en Holanda, que tiene un sistema de escrituras con algunas características de los de títulos. Esto también significa que el empleo de notarios públicos es más común en el sur de Europa, en tanto que el uso de distintos tipos de expertos es más raro en el norte. De manera similar, el acceso público a la información de la propiedad territorial y de quién es su dueño, sin ningún tipo de restricción, es más común según vamos hacia el norte.

Esto significa que el sector público desempeña un papel predominante en lo que se refiere al registro territorial en Europa. El registro territorial es responsabilidad de los juzgados locales (por ejemplo en los países escandinavos), de una organización especial de registro (por ejemplo en Gran Bretaña) o de la organización del catastro (por ejemplo en Holanda). Típicamente, los registros están bajo garantía gubernamental; es decir, el gobierno garantiza los contenidos del registro y compensará a quien experimente pérdidas económicas originadas por errores en el mismo. No obstante, los notarios y los registradores españoles juegan un papel muy importante allí donde actúan, pero siempre bajo una fuerte supervisión del gobierno. En otros países con sistemas de títulos muy desarrollados, el papel principal del sector privado está relacionado con la manipulación de la información territorial. Las compañías privadas se usan para suministrar la información al usuario final e incorporar servicios de valor añadido.

Los mayores grupos de usuarios de la información del registro territorial en Europa son, sin duda, aquellos que participan en las transacciones de la propiedad, es decir: las instituciones financieras, los notarios, abogados, agentes de la propiedad y las compañías de seguros. Los sistemas informatizados de registro territorial y los sistemas de información territorial de las instituciones de créditos hipotecarios, interaccionan entre sí en gran medida, aprovechando las posibilidades de utilizar la información y las actividades de cada uno, a fin de mejorar su eficacia y reducir costes.

3.2. Consiguiendo un crédito

3.2.1. *Contactando con la entidad de crédito*

En general, el proceso para conseguir una hipoteca adicional, o refinanciar una vivienda, comienza tomando contacto con un prestamista o con

una entidad de crédito. A la hora de decidir a qué entidad de crédito se va a acudir, el factor decisivo es el tipo de interés que cada una ofrece. Aunque los tipos de interés se anuncian y publican en las páginas financieras de la mayoría de los periódicos de Europa, es aconsejable consultar con varias entidades, a fin de conseguir el mejor tipo de interés posible. En la mayoría de los países los préstamos se ofrecen con tipos de interés fijos (de 1 a 20 ó 30 años), o con tipos variables. Por ejemplo, en Suecia los expertos recomiendan una combinación de tipos de interés fijos y variables, habiendo una cierta preferencia entre los que solicitan el préstamo por los tipos de interés variable durante la última década.

En última instancia, las discusiones con la entidad de crédito llevarán a la firma de un contrato de hipoteca. En países como Finlandia, Suecia y Noruega, esto se hace sin la asistencia de ningún tipo de experto, usándose para ello contratos normalizados, pero en otros lugares puede que se necesiten los abogados de ambas partes.

Antes de que la institución financiera tome su decisión final, puede que surja la necesidad de valorar la propiedad. Esto, en la actualidad, se hace a menudo sin una inspección física de la propiedad, dado que los bancos y el resto de las instituciones hipotecarias tiene acceso directo no sólo al registro territorial, sino a datos de los sistemas de valoración.

Por supuesto, también se estudiará al que pide el préstamo, y la institución financiera también hará una comprobación del crédito del prestatario.

Cada vez aparecen más posibilidades de emplear Internet, habiendo incluso algunas instituciones de préstamo que sólo operan a través de la Red (por ejemplo *www.europeloan.com*).

3.2.2. Registro

Una vez que el solicitante y la entidad de crédito se han puesto de acuerdo en los términos y condiciones del préstamo, es el momento de concluir el papeleo. En primer lugar se firma el contrato de la hipoteca. La entidad de crédito ya comprobó el registro territorial cuando comenzaron las negociaciones (en algunos casos también se prohíbe temporalmente el registro de otras cargas en la propiedad durante una búsqueda o la petición de un registro pendiente). Esto posibilita el que se pague el préstamo a la firma del contrato. Simultáneamente, el solicitante del préstamo firma la petición de registro de esta nueva carga en el registro territorial (si fuese necesario, Suecia opera con un sistema de certificados de hipotecas que hace posible que los propietarios se refinancien sin registrar las nuevas hipotecas). Se entrega dicha petición en la oficina del registro, cosa que a menudo hace la misma entidad de crédito.

Con esto se efectúa el registro, enviándose los certificados resultantes al ocupante de la propiedad, que paga las tasas y los impuestos bien antes o después del registro.

3.2.3. Tiempo necesario

El tiempo necesario para este proceso varía, desde luego, entre lugares y jurisdicciones. El tiempo necesario para que una institución hipotecaria conceda un nuevo préstamo depende de varias cosas, por ejemplo: si el cliente es conocido o no, la cantidad del préstamo solicitado, los riesgos que entraña y el nivel de apoyo al negocio. Pero la tendencia general es que, debido a la competencia, las entidades de crédito intentan reducir este tiempo al máximo.

En Suecia es posible, a menudo, cerrar el trato a los dos o tres días de haber comenzado las negociaciones con la entidad de crédito. Las oficinas hipotecarias situadas en los centros de las ciudades de algunos países europeos también operan dentro de estos tiempos.

3.2.4. Costes

Los costes, en gran medida, se han convertido en una herramienta de competitividad muy importante para las instituciones financieras, en especial entre las especializadas en crédito hipotecarios (bancos hipotecarios, sociedades constructoras, etc.). Dado que cada vez son más las tareas que se han informatizado, han crecido las posibilidades de anunciar costes muy bajos (o sin costes). En algunos casos es cierto el hecho de que cuesta más cobrar una tasa a un cliente que la propia tasa. Esto significa que los costes en los que se incurre como parte de la transacción, se integran en parte del tipo de interés cargado, pero lo cierto es que los costes se han reducido drásticamente a lo largo de los últimos 15 ó 20 años.

Usando Suecia como ejemplo de los costes que un propietario tendría que pagar al refinanciar su casa, éstos serían nulos si no se necesitan nuevos certificados de hipoteca. Si se cobran tasas, éstas generalmente no son negociables. Y no hay nada parecido a cambiar costes por puntos.

Sin embargo, si se necesitan nuevos certificados de hipoteca adicionales hay que pagar una tasa de registro de 375 Coronas Suecas por cada certificado de hipoteca. La razón de esto puede ser que el propietario quiera hacer uso del incremento de valor que ha experimentado la propiedad desde la última vez que se la refinanció y aumentar la cantidad pedida en empréstito. También se cobra un timbre de un 2 % de la hipoteca al efectuar el registro. Usando el mismo ejemplo de un paquete de refinanciación por un total de 200.000 US$, puede asumirse que la necesidad de certificados de hipoteca adicionales no excederá los 50.000 $.

El banco cobrará una cantidad adicional si hay que hacer una inspección física para una valoración. Esto costará menos de 2.000 Coronas Suecas.

Esto significa que los costes (usando el ejemplo en el que se necesita un certificado de hipoteca adicional de 50.000 US$, pero sin necesidad de una inspección física de la finca) pueden resumirse de la siguiente manera:

Tasas de timbres y de registro:	1.035 $
Total	1.035 $

3.3. Informatización y acceso a la información

Las operaciones de las entidades de crédito europeas se basan en el acceso directo a la información desde distintos lugares. Desde cualquier mesa de despacho de un banco, y generalmente a muy bajo costo, se pueden hacer comprobaciones de crédito (a menudo desde operadoras del propio banco), se puede tener acceso a información del registro territorial (directa o indirectamente desde las agencias gubernamentales nacionales) así como información de las valoraciones según las ventas más recientes y las características de las propiedades vendidas. El hecho de que la mayoría de las entidades de crédito operen a escala nacional significa que los costes de la información territorial pueden distribuirse entre un número de transacciones muy elevado. La informatización ha avanzado más en algunas partes de Europa, sobre todo en los países nórdicos, que tienen una gran cantidad de ordenadores tanto en oficinas como domésticos. Nordea, que es un banco que opera en los países nórdicos y bálticos, tiene el mayor número de consultas personales en bancos de Internet (76 millones en 2001), siendo el siguiente el Bank of America con cerca de la mitad de esa cifra (Edenhall 2002).

Además, se han agilizado los procesos de trabajo mucho más que en los Estados Unidos. Las operaciones que realiza la mayor entidad de crédito de Suecia requieren que no más de tres personas intervengan en una transacción de refinanciación normal (menos de un décimo de la cifra en los Estados Unidos).

En los lugares en los que se dispone de acceso directo a la información territorial desde hace mucho tiempo, como por ejemplo Austria, Inglaterra y Gales, Finlandia, Holanda, Noruega, Escocia y Suecia, se ha alcanzado un número muy considerable de suscriptores y transacciones. Los servicios de información se han desarrollado en intimo contacto con los usuarios finales y éstos han obtenido grandes ventajas del empleo de estos servicios de acceso directo. Se han tomado medidas adicionales de desarrollo, con el fin de que los sistemas informáticos de los sistemas públicos y privados interaccionen más entre sí. A menudo, los objetivos de estos trabajos son reducir la duplicación de esfuerzos y los errores y aumentar la eficacia en ambos lados.

4. LAS DIFERENCIAS PRINCIPALES

4.1. El procedimiento

Si contemplamos este tipo de transacción tan común, es bastante obvio que existen grandes diferencias en la forma en la que se está procesando. Sin duda, el sistema americano es más complicado, precisa más gente, de más profesiones, y tarda mucho más. Parece como si las entidades de crédito operasen de una forma más dividida y menos jerárquica que las europeas. La petición de un préstamo, usando una propiedad como garantía, es tratada, en la institución financiera americana, por un gran número de personas, mientras que, por ejemplo, un proveedor de hipotecas británico, con oficinas en High Street, opera de una forma mucho más rápida y ágil, empleando menos departamentos y menores niveles de autoridad. El alto grado de informatización de la información territorial permite que cualquier empleado tras el mostrador decida, en la mayoría de los casos, acerca de las peticiones de préstamos, sin emplear en ello demasiado tiempo.

4.2. Información personal

La entidad de crédito tiene necesidad de cierto tipo de información antes de tomar la decisión de refinanciar, y esto concierne a dos aspectos: a la persona que pide el crédito y a la propiedad.

La información acerca de la persona solicitante está relacionada con la estimación de riesgos: ¿puede esta persona cumplir sus compromisos? No parece haber diferencias entre las instituciones europeas y americanas al hacer este análisis, ya que las decisiones se basan en comprobaciones de crédito. El informe de crédito es un instrumento muy fiable para establecer el historial de créditos de una persona y su situación financiera en general, y se emplea comúnmente en todo tipo de transacción comercial. El acceso a los informes de crédito es instantáneo en ambos lados del Atlántico y el coste de dichos informes es relativamente pequeño.

4.3. Información sobre la propiedad

Por otro lado, existen grandes diferencias en lo relacionado con la información territorial. La mayoría de los países de Europa, incluidos los países en transición de la Europa Central y Oriental, tienen, o están desarrollando, eficaces sistemas de registro, con información fácilmente accesible acerca de quién es el dueño de cada propiedad y qué servidumbres y cargas afectan a una propiedad en particular. Los usuarios profesionales disponen de acceso directo a la información y pagan un cargo por ello. El tener acceso directo a este tipo de información es algo que se da por sentado en muchas partes de la comunidad financiera de Europa. Para poder encontrar la información territorial que necesitan, las entidades de crédito de los Estados Unidos han de seguir un procedimiento bastante más complicado.

El que las entidades de crédito puedan disponer de un fácil acceso a la información territorial les ha permitido reestructurar la manera de tratar las peticiones de refinanciación de viviendas y, en algunas jurisdicciones (por ejemplo en Suecia), la forma de hacer el seguimiento de la seguridad durante la duración del préstamo.

5. CONCLUSIONES

Los Estados Unidos nunca han intentado desarrollar un sistema de registro territorial, estatal o federal, semejante a los que funcionan en la mayor parte de Europa, así como en Australia, Canadá y en varios países del sudeste de Asia, y que están siendo desarrollados en muchas

economías emergentes de todo el mundo. Esto significa que mantiene una situación única. En ningún otro país, con semejante desarrollo y predominio económico, existe tal falta de compromiso del sector público en lo que, a menudo, se contempla como la base de los mercados de propiedades. En vez de ello, se depende notablemente del sector privado, representado por las compañías de seguros de títulos, a fin de que exista una estabilidad en los mercados, semejante a la que ofrece la garantía estatal de los registros. Esto último nos lleva a la cuestión de qué alternativa actualmente ofrece las mejores y más eficaces soluciones al mercado de las propiedades territoriales. Ésta es una cuestión que puede estudiarse y analizarse de muy diversas formas. Pero centrándonos en unas transacciones comparables de propiedades residenciales, es decir las transacciones más comunes con las que se topa el ciudadano ordinario, debería ser posible tener una idea aproximada del resultado ¿Cuáles son los tiempos promedios para procesar una transacción, cuáles son los costes y hasta qué punto pueden efectuarse dichas transacciones sin la intervención de diferentes profesionales?

El resultado de este sencillo estudio indica que las jurisdicciones europeas poseen unas ventajas claras sobre sus homólogas americanas. Tal vez lo más importante sea el hecho de que los propietarios de viviendas de los Estados Unidos tienen que pagar unas tasas mucho más elevadas en las transacciones de refinanciación. La diferencia en costes no parece corresponderse con ningún tipo de beneficio –en forma de tipos de interés más bajos– cuando se comparan con los tipos de interés de otros préstamos que existen en el mercado. Hasta el momento no se ha identificado ningún gran tipo de beneficio en el sistema americano. De hecho, las diferencias de costes son tan grandes que podría argüirse que, desde el punto de vista económico, sería más que justificable el hacer una reforma total del papel del gobierno para que pueda guardar y garantizar los registros territoriales.

Las razones de esto son muchas, pero un factor obvio es la falta de acceso fácil a una información territorial actualizada y fiable. Las inversiones hechas por los gobiernos nacionales de Europa para disponer de unos registros territoriales bien organizados, en su informatización y en la provisión de la información relevante para el mercado, han aumentado la transparencia y, como resultado, han conducido a unos costes de transacción mucho más bajos en comparación con los de los Estados Unidos.

Esto nos lleva a la cuestión de si sería rentable, en los Estados Unidos, una inversión pública para la creación de un registro territorial público y moderno. La respuesta a esta pregunta debe de tener en cuenta que existe la posibilidad de recuperar la inversión, mediante las tasas por el uso de la información. Tal como están hoy día las cosas, los mercados de la propiedad territorial de los Estados Unidos, básicamente sufren de lo que puede denominarse como "costes de transacción extremadamente elevados".

El desarrollo en Europa puede conducir a un mayor incremento de las diferencias de los costes. Las iniciativas de varias jurisdicciones en introducir las transacciones electrónicas (por ejemplo en Gales, Inglaterra y Holanda) llevarán a una mayor eficacia y a una más alta seguridad. El proyecto que se ha iniciado para establecer un servicio paneuropeo de información territorial (EULIS, cofinanciado por la Unión Europea como parte de su programa eContent) debe alentar una creciente competencia entre las entidades de crédito.

Los gobiernos europeos están haciendo grandes esfuerzos para aumentar la transparencia y disminuir los costes de las transacciones, pero hasta ahora es difícil identificar la existencia de iniciativas similares en los Estados Unidos. Parece que existen algunas iniciativas para agilizar e integrar el proceso de toda la cadena de eventos de las transacciones de la propiedad territorial.

REFERENCIAS

- Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR), 1998, Housing Market Transactions; International Comparisons, London, DETR
- Dugas, C., 1999, *Net makes mortgage hunt easier,* www.USAToday.com, 08/06/1999
- Edenhall,Y, 2002, *Bankkunder + internet = sant*, Svenska Dagbladet Näringsliv 01/09/2002
- Fogarty, T.A., 2001 (1), *Mortgages: Rate high? Refinance*, www.USAToday.com, 01/05/01
- Fogarty, T.A., 2001 (2), *Flood of refinancing causes backlog,* USA Today, 05/18/2001
- Fogarty, T.A., 2001 (3), *How to tell if refinancing's a good deal,* USA Today, 05/18/2001
- Fogarty, T.A:, 2001 (4), *How to tell if refinancing's a good deal*, www.USAToday.com, 06/20/2001

NOTAS BIOGRÁFICAS

Bengt Kjellson es director de planificación y trabaja en temas de gestión estratégica a largo plazo en el Lantmateriet, que es la Agencia Nacional Sueca de Cartografía y Catastro.

Ha trabajado en el desarrollo de sistemas de registro territorial y de información territorial en organizaciones internacionales durante más de 15 años. A lo largo de este tiempo ha presentado, en diversas conferencias internacionales, incluidos los congresos internacionales de la FIG, ponencias y artículos sobre el registro territorial, la valoración e imposición fiscal de propiedades y los sistemas de información territorial. Es presidente del grupo de trabajo sobre administración territorial de la UN/ECE, que es la única organización conjunta de las organizaciones de catastro y de registro territorial. El grupo de trabajo organiza mesas redondas y publica inventarios y estudios sobre administración territorial y legislación. Bengt Kjellson es miembro de la Asociación Sueca de Topógrafos. ■

Algoritmo de Segmentación de Imágenes basado en texturas. Aplicaciones Cartográficas

Tomás J. Rubio Campos
INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Juan J. Ruiz Lendínez
INGENIERO TEC. EN TOPOGRAFÍA

Resumen

La caracterización de la textura es fundamental, ya que al contrario que otras propiedades de la Imagen, como nivel de gris o contraste, que tienen asociadas por sí mismas su correspondiente valor, la textura es una propiedad que necesita del estudio y asociación de unos índices que la definan unívocamente. Una vez obtenidos dichos índices, expresados en forma de histogramas bidimensionales, es posible la aplicación de un estadístico que establezca un criterio de similitud entre dos regiones diferentes de la imagen, posibilitando de esta manera la segmentación de la misma en función de su textura. Entre las aplicaciones se destacan las propuestas en el ámbito de la Ingeniería Cartográfica, como pueden ser los procesos de actualización y revisión catastral, así como las relacionadas con la elaboración de cartografía de Usos del Suelo.

Abstract

The texture characterization is essential because unlike others Image attributes, such as contrast, that has its respective value associated by itself, texture needs the study and association of certain parameters which define it unanimouly. Once they heve been stated as two-dimensional histogram, it is possible to apply a statistical that determines a similitude standart between two different zones of the image. This way we can get its segmentation according to its texture. It is important to show up its applications within the limits of Cartographic Engineering.

I. INTRODUCCIÓN

Los algoritmos de segmentación basados en texturas dividen la imagen original en diferentes regiones que presentan distintos comportamientos estadísticos. Se asume que los estadísticos de cada región son estacionarios y que cada región se extiende sobre un área que es significativa. Pero en cambio, la mayoría de las regiones de las imágenes reales no presentan propiedades estacionarias y además pueden aparecer también regiones muy insignificantes en la imagen, que pueden corresponder a ruido o una información muy puntual. Por consiguiente, los métodos basados en un conocimiento previo del número de texturas que aparecen en la imagen suelen fallar a menudo, debido a la aparición de regiones de textura inesperadas. La segmentación no supervisada no se basa en un conocimiento previo del número de texturas de la imagen, pero es más lenta debido a que requiere una etapa adicional de cálculo para determinar el número de regiones que aparecen en la imagen.

El algoritmo de segmentación propuesto va a constar de cuatro pasos. En primer lugar, la imagen es dividida de forma jerárquica y recursiva en un conjunto de regiones de diferente tamaño que presentan una textura uniforme, estas regiones serán colocadas según una estructura jerárquica, pudiendo presentar diferentes regiones la misma textura. Posteriormente, un segundo y tercer paso del proceso agrupa las regiones obtenidas, de una forma no supervisada, en un número correcto de clases, usando un algoritmo jerárquico de crecimiento de clases y de fusión de éstas. El procedimiento de crecimiento ha sido diseñado para incrementar preferiblemente el tamaño de las regiones mayores, debido a que dichas zonas tienen más probabilidad de ser áreas de textura real de la imagen. Posteriormente, se fusionan regiones definidas en el mismo nivel de la jerarquía que presenten un valor similar de textura. Por último, el cuarto paso realiza un procedimiento para mejorar los contornos de las regiones, basado únicamente en la similitud del nivel de gris de los píxeles que forman los contornos.

MODELO DE TEXTURA

Para caracterizar una textura va a ser necesario definir un vector de propiedades (texton) asociado a cada uno de los píxeles. El objetivo de esta sección es introducir los diferentes parámetros que contiene el vector de características que definen una textura. Después de probar diferentes métodos se ha elegido el patrón binario local junto con una medida de contraste (LBP/C Local Binary Pattern / Contrast), método que ofrece gran rapidez de cálculo. Las ventajas y desventajas de este algoritmo se explican ampliamente en (Ojala, Pietikäinen y Harwood, 1996). Según el mencionado método, el vector texton posee dos elementos: el patrón binario local (LBP) y una medida de contraste (C).

Para obtener el valor LBP (figura 1) de un determinado píxel compararemos su nivel de gris (nd^i) con el de cada uno de los 8 píxeles que forman la primera vecindad del mismo (nd^x). Si (nd^x) ≥ (nd^i) se le asigna un 1, en caso contrario se le asigna un 0. Los valores obtenidos son multiplicados por unos pesos dados a los píxeles y que son potencias de 2.

Finalmente, los valores resultantes de la multiplicación de los ocho píxeles son sumados para obtener el valor LBP del vector texton. El LBP es por definición invariante ante una transformación de la escala de grises. Para guardar información sobre el contraste de la textura, el valor LBP se combina con una simple medida de contraste llamada C, la cual es la diferencia entre el promedio del nivel de gris de aquellos píxeles que tienen el valor 1 y aquellos que tienen valor 0.

SEGMENTACIÓN BASADA EN TEXTURA

El proceso de segmentación desarrollado va a constar de los siguientes cinco pasos fundamentalmente:

1. Caracterización de texturas

Debido a que la textura asociada a un simple píxel no es significante si no se compara con sus píxeles vecinos, la imagen es descompuesta mediante una rejilla. Cada celda de la rejilla es un área rectangular que incluye un número fijo de píxeles. Su distribución LBP/C se aproxima por un histograma bidimensional discreto de tamaño 256 x b, donde 256 es el número de valores que puede tomar la variable LBP y b es el número de intervalos usados para discretizar el valor de C. Es necesario discretizar dicho valor, puesto que pertenece al campo de los reales, mientras que el valor LBP únicamente puede tomar valores enteros y por tanto no es necesario discretizarlo.

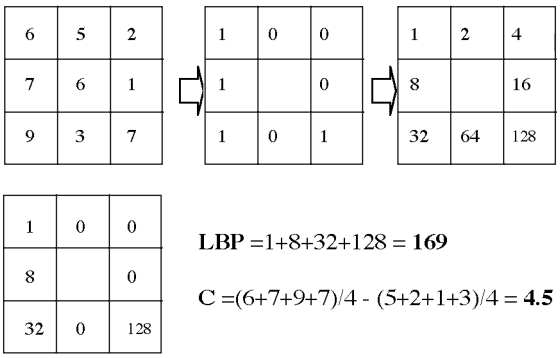


Figura 1. Cálculo del Patrón Binario Local (LBP) y el contraste (C)

Para poder comparar distribuciones LBP/C, se define un estadístico log-probabilístico no paramétrico llamado estadístico G. El valor de G es la probabilidad de que dos distribuciones provengan de la misma área: si el valor es más alto, más baja es la probabilidad de que dos distribuciones sean de la misma región.

La expresión del mencionado estadístico es la siguiente:

$$G = 2\left(\left[\sum_{A,B}\sum_{i=1}^{N} f_i \log f_i\right] - \left[\sum_{A,B}\left(\sum_{i=1}^{N} f_i\right)\log\left(\sum_{i=1}^{N} f_i\right)\right] - \left[\sum_{i=1}^{N}\left(\sum_{A,B} f_i\right)\log\left(\sum_{A,B} f_i\right)\right] + \left[\left(\sum_{A,B}\sum_{i=1}^{N} f_i\right)\log\left(\sum_{A,B}\sum_{i=1}^{N} f_i\right)\right]\right)$$

Donde, A y B son los dos histogramas a comparar, N es el número de elementos del histograma y f_i es la frecuencia del elemento i de cada histograma.

2. Generación de la estructura jerárquica

Las distribuciones LBP/C de cada celda que forma la rejilla son el elemento clave de la estructura piramidal. Cada nivel l de la pirámide es un mapa reducido con $^1/_4$ de las celdas del nivel inferior. Cada nodo de la pirámide (x, y, l) tiene asociados los siguientes parámetros:

Homogeneidad, H(x, y, l). H(x, y, l): Se configura al valor 1 si las cuatro celdas del nivel inferior que representa dicho nodo tienen la misma textura y sus valores de homogeneidad son 1. Esto implica que el área de imagen que representa el nodo en cuestión es homogéneo en textura. En caso contrario este parámetro tomará el valor 0. La decisión de si las cuatro celdas inferiores tienen la misma textura se basa en un test de uniformidad. Se calculan los valores de los seis estadísticos G resultantes de las distribuciones LBP/C de las cuatro celdas. Si llamamos G_{max} al valor mayor y G_{min} al valor menor obtenido, las cuatro celdas tendrán la misma textura si el cociente G_{max} / G_{min} es menor o igual que un umbral U. Se elige un pequeño valor de U debido a que es preferible dividir la imagen por exceso, ya que si regiones que tienen igual textura son incluidas en la misma clase en este paso, el error ya es irrecuperable.

Textura, T(x, y, l): Si la célula es homogénea, T(x, y, l) es igual a la textura de las cuatro celdas inmediatamente inferiores.

Puntero al nodo padre, $(X, Y)_{(x, y, l)}$: Si $H(x, y, l)$ es igual a 1, los valores de los punteros al nodo padre de las cuatro celdas inferiores son puestos a (x, y). Si no es así, los cuatro enlaces a los nodos padres son configurados como valor nulo.

Coordenadas, $C(x, y, l)$: Son las coordenadas de la región de imagen asociada al nodo (x, y, l).

Histograma: Cada nodo almacena el histograma bidimensional que caracteriza la textura de la región de imagen que representa dicho nodo. Para optimizar la memoria utilizada, si un nodo representa una región de imagen homogénea en textura, todos los nodos descendientes de dicho nodo hasta el final de la pirámide no almacenan sus correspondientes histogramas, puesto que la textura viene caracterizada por el histograma almacenado en el nodo padre.

3. Crecimiento de celdas homogéneas en textura

En este paso el algoritmo intenta enlazar celdas que no tienen padre al padre de algunas de sus celdas vecinas. Básicamente, una celda (x, y, l) es enlazada al padre de alguna de sus celdas vecinas $(x_p, y_p, l+1)$ si ambas celdas tienen la misma textura. En este paso no se fusionan celdas huérfanas entre sí.

4. Fusión de celdas homogéneas

Las celdas vecinas (x_1, y_1, l) y (x_2, y_2, l) son fusionadas si se cumplen las siguientes condiciones:

- $(X, Y)_{(x1, y1, l)} = NULL$. La celda es huérfana.
- $(X, Y)_{(x2, y2, l)} = NULL$. La celda es huérfana.
- Ambas son homogéneas en textura.
  $H(x_1, y_1, l) = 1$ & $H(x_2, y_2, l) = 1$.
- Tienen la misma textura.

5. Clasificación a nivel de píxeles

Como los píxeles del nivel base de la pirámide han sido tratados como bloques, la resolución de la imagen segmentada (R) es igual al cociente entre la resolución de la imagen inicial (S) y el área de píxeles que se ha utilizado para crear una celda (A).

Siguiendo la técnica propuesta, se podría segmentar una imagen de 256 x 256 píxeles usando celdas de 16 x 16 píxeles para obtener 16 x 16 elementos. Debido a que la resolución es muy pobre, se provocaría un error de segmentación importante. Para resolver este problema se propone un post-procesado posterior a la segmentación. Este paso consiste en el incremento, de forma recursiva, de la resolución de los contornos de las regiones de textura encontradas. En otros algoritmos (Schroeter y Bigün, 1995) el aumento de resolución de los contornos debe ser realizado en todos los niveles de la jerarquía de una manera descendente. En nuestro algoritmo sólo trabajaremos con el nivel inferior, puesto que las regiones de textura ya presentan unos contornos bien definidos. Según nuestro algoritmo, los píxeles que forman los contornos de las regiones son clasificados según el nivel de gris. Al contrario que otros algoritmos de mejora de la resolución (Ojala y Pietikäinen, 1999), los métodos basados en la característica de nivel de gris son muy rápidos, especialmente cuando se aplican sólo a las áreas de imagen que constituyen los contornos de regiones obtenidos en la segmentación.

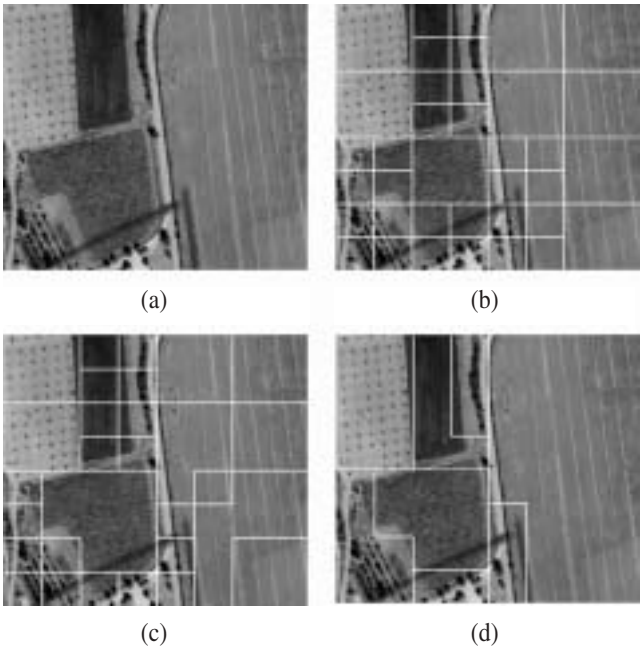


Figura 2. Secuencia de las fases del algoritmo de segmentación propuesto

La principal desventaja de este algoritmo es que cuando dos regiones presentan niveles de gris similares, la clasificación de los píxeles que forman el límite entre ambas regiones puede ser errónea.

La figura 2 muestra las diferentes etapas del algoritmo propuesto, aplicado sobre una imagen de satélite. La figura 2a muestra la imagen original. Los resultados de la segmentación jerárquica original se presentan en la figura 2b. La figura 2c muestra las regiones resultantes después del crecimiento homogéneo de celdas, y la figura 2d muestra las regiones finales tras el proceso de fusión. Se puede observar que la imagen aérea ha sido segmentada en regiones significativas de diferente textura.

La principal ventaja del algoritmo de segmentación propuesto radica en su bajo tiempo computacional. Dicho tiempo dependerá de dos factores: el umbral U definido y el tamaño del área mínima de imagen en la que se va a permitir la segmentación, es decir, del tamaño de la ventana.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se presenta una imagen compuesta por texturas artificiales (figura 3). Se adjunta la primera imagen original (figura 3a), la imagen segmentada tras las tres primeras etapas del proceso descrito (figura 3b) y finalmente la imagen segmentada tras el último proceso de mejora, consistente en la mejora de la resolución de contornos (figura 3c).

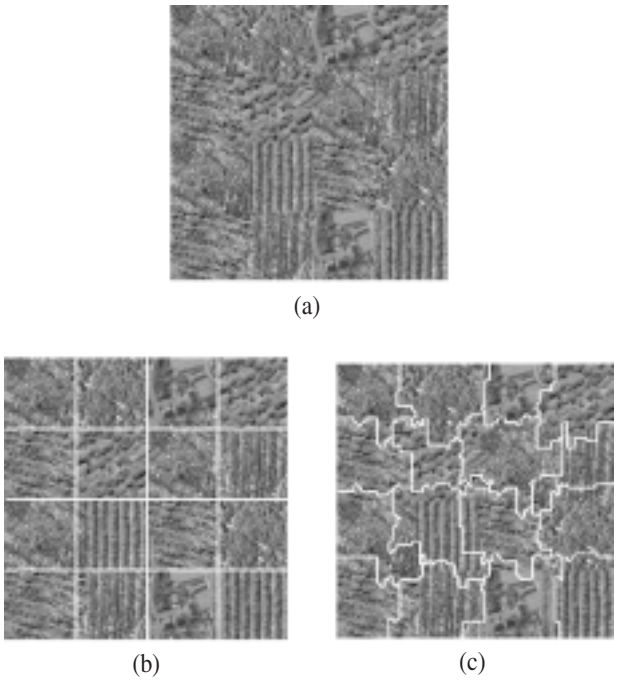


Figura 3. Imagen con texturas artificiales

El algoritmo ha sido capaz de discriminar las diferentes zonas en textura que presenta la imagen (figura 3b), llevando este proceso a cabo en un tiempo aproximado de 1,7 segundos.

ETAPA	TIEMPO
División en zonas homogéneas	1,159 s
Crecimiento de celdas homog.	0,101 s
Fusión de celdas homogéneas	0,150 s
Clasificación de contornos	0,269 s
Tiempo total	**1,679 s**

Tabla 1. Tiempos empleados

Aunque el algoritmo no es capaz de discriminar las mencionadas zonas con tanta exactitud como otros algoritmos (Schroeter y Bigün, 1995), nuestro procedimiento presenta la ventaja de su mayor rapidez y que trabaja de forma no supervisada. Se observa también cómo el resultado mejora considerablemente tras aplicar el proceso de clasificación de los píxeles que forman los contornos (figura 3c).

APLICACIONES

En lo referente a las posibles aplicaciones desarrollables en el ámbito de la Ingeniería Cartográfica, destacaríamos las que se proponen a continuación:

Elaboración de Cartografía de Usos del Suelo

Dicha cartografía puede ser realizada de manera rápida y fiable. Existiendo, además, un criterio estadístico para la determinación de la bondad en la asignación de una zona a una clase predeterminada y, por tanto, de la calidad final de la cartografía, ya que dicha asignación se realiza en función del estadístico que establece el grado de similitud entre dos regiones a partir de sus histogramas bidimensionales.

En cuanto al modo de operar para la clasificación de una imagen según la metodología propuesta, sería similar al proceso de clasificación de una imagen de satélite (Pinilla, 1995), siendo fundamental el trabajo de campo para la determinación del comportamiento textural de cada cultivo.

Otro factor de importancia es la escala a la que se realiza la edición final de la cartografía [5]. En la actualidad las imágenes de satélite nos permiten trabajar con unas escalas relativamente pequeñas, convirtiéndose este parámetro en un elemento que limita el uso de estas imágenes para la elaboración y ejecución de determinadas aplicaciones cartográficas. Sin embargo, con el empleo de imágenes aéreas la escala deja de ser un factor determinante en este sentido, puesto que se puede trabajar con un rango de valores mucho más variado y, por tanto, con un amplio abanico de posibilidades respecto a las aplicaciones a desarrollar.

Procesos de actualización y revisión catastral

La actualización y revisión catastrales podrían ser realizadas directamente mediante la clasificación y segmentación de ortofotografías catastrales en formato digital. De este modo se evitará, o en todo caso se facilitará, la tarea de los técnicos de catastro en lo referente a los trabajos de campo, cuyo objetivo es principalmente la identificación de los cultivos existentes.

El tratamiento de la información obtenida consistiría principalmente en la superposición de la imagen clasificada sobre la ortofotografía original, que a su vez contiene la información referente a los linderos de las distintas parcelas rústicas.

En este caso el problema de la escala, abordado en el apartado anterior, es especialmente significativo, ya que la escala habitual de trabajo es 1/5.000, para el caso de rústica, o 1/2.000 para el caso de urbana.

BIBLIOGRAFÍA

- Ojala T., Pietikäinen M. y Harwood D. *A comparative study of textura measures with classification based on feature distributions.* Pattern Recognition, 29, 51-59, 1996.
- Ojala T. y Pietikäinen M. *Unsupervised textura segmentation using feature distributions.* Proc. OFICIAP'97, 1, 311-318, Florence, Italy, 1997.
- Ojala T. y Pietikäinen M. *Unsupervised textura segmentation using feature distributions.* Pattern Recognition, 32, 477-486, 1999.
- Pinilla, C. *Elementos de teledetección.* Ed. Ra-Ma. Madrid. 1995
- Schroeter P. y Bigün J. *Hierarchical imagen segmentation by multidimensional clustering and orientation adaptative boundary refinement.* Pattern Recognition, 28(5), 695-709, 1995. ■

Fórmulas del Índice de Refracción de las Ondas de Radio

Jean M. Rüeger
UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES

Resumen

La fórmula del índice de refracción de las ondas de radio, adoptada en 1963 por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y la Asociación Geodésica Internacional (IAG) está siendo revisada. Hace 40 años esta fórmula era fundamental para la reducción de las distancias medidas con distanciómetros de microondas. Desde entonces, la medición electrónica de distancias de rango largo ha sido reemplazada por el GPS. Hoy día, las fórmulas son muy importantes para las mediciones de precisión que emplean ondas de radio, incluyendo al GPS y al VLBI (Very Long Baseline Interferometry). En este artículo se discuten las nuevas fórmulas del índice de refracción de las ondas de radio de las últimas décadas y se señalan los problemas inherentes a algunas de ellas. También se discuten las fórmulas más actuales para efectuar mediciones de rutina y de precisión, dentro del espectro de las ondas de radio, así como los programas de ordenador que modelan las influencias de las líneas de resonancia.

Se han diseñado dos fórmulas para los cálculos manuales del índice de refracción de las ondas de radio N_r *(en partes por millón para longitudes infinitas); una que se basa en los "mejores coeficientes disponibles" y otra basada en los coeficientes "mejor promediados". En el aire, con un contenido de dióxido de carbono de 0,0375% (375 ppm), este último vale:*

$$N_r = 77,6890\frac{p_d}{T} + 71,2952\frac{p_w}{T} + 375463\frac{p_w}{T^2}$$

Donde p_d *(=* $p_{tot} - p_w$*) es la presión parcial (en hPa) del aire seco (incluidas las 375 ppm de dióxido de carbono),* p_w *es la presión parcial del vapor de agua (en hPa) y* T *es la temperatura (en grados Kelvin). La precisión del componente* N_d *de la refractividad del aire seco (primer término a la derecha) es, bajo un punto de vista conservador, el 0,02% de* N_d*. Un valor conservador para la precisión de la componente* N_w *de vapor de agua (suma de los términos segundo y tercero de la derecha de la fórmula anterior) es de 0,2% de* N_w*.*

Abstract

The radio refractive index formula adopted in 1963 by the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) and the International Association of Geodesy (IAG) is being reviewed. Forty years ago, this formula was essential for the reduction of distances measured with microwave EDM instruments. Since then, long-range EDM has been replaced by the Global Positioning System (GPS). Today, the formulae are important for accurate measurements using radio waves, including GPS and VLBI (Very Long Baseline Interferometry). The new radio wave refractive index formulae of the last decades are discussed and the inherent problems of some of them are pointed out. State-of-the art formulae for routine and precise measurements in the radio wave spectrum are discussed as are computer programs that model the influences of resonance lines

Two formulae for hand calculations of the radio refractive index N_w *(in ppm, for infinite wavelengths) have been designed, one based on 'best available' coefficients and one based on 'best average' coefficients. For air with 0.0375% (375 ppm) content of CO2, the latter is:*

$$N_r = 77.6890\frac{p_d}{T} + 71.2952\frac{p_w}{T} + 375463\frac{p_w}{T^2}$$

where p_d *(=* $p_{tot} - p_w$*) is the partial dry air (including 375 ppm carbon dioxide) pressure (in hPa),* p_w *is the partial water vapour pressure (in hPa), and* T *is the temperature (in K). The accuracy of the dry air refractivity component* N_d *(first term on right hand side) is, conservatively, 0.02% of* N_d*. A conservative value for the accuracy of the water vapour component* N_w *(sum of second and third term on the right hand side) is 0.2% of* N_w*.*

1. INTRODUCCIÓN

Las últimas resoluciones de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) acerca de los índices de refracción datan de los años 1960 a 1963. Debido a las más recientes determinaciones de la refractividad de las ondas de radio en el aire, las resoluciones de 1960 a 1963 han dejado de satisfacer las necesidades de la Geodesia y de la Topografía. En consecuencia, la fórmula adoptada por IUGG en 1963 para las ondas de radio apenas es utilizada, si alguna vez lo es, en relación con el GPS y la VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Incluso en las mediciones electrónicas de distancias con microondas no se han seguido universalmente las resoluciones de la IUGG de 1963. Aunque la medición con microondas (λ = 8-30 mm, f = 10 a 35 GHz) ya no se emplea en la mayor parte del mundo de forma rutinaria, sí que se utiliza en la VLBI (λ = 13-210 mm, f = 1,4 a 23 GHz), y más aun en el GPS (λ = 190-250 mm, f = 1,2 a 1,6 GHz). Se precisa pues, una reevaluación del índice de refracción de las ondas de radio para las aplicaciones de Topografía y Geodesia.

En 1991, durante la XX Asamblea General de la Asociación Geodésica Internacional (IAG) de Viena, se sugirió que se preparasen unas nuevas resoluciones de la IUGG sobre los índices de refracción, para su adopción en una futura Asamblea General de la IUGG. Se formó, en su momento, un grupo de trabajo *ad hoc* (Rüeger, 1999). En 1999 se adoptaron por la IAG dos resoluciones sobre el índice de refracción de las ondas visibles y de las infrarrojas y se introdujo un valor, revisado por defecto, del contenido de dióxido de carbono de 375 ppm (0,0375%). Desde entonces ha progresado la revisión del índice de refracción de las ondas de radio y milimétricas, habiéndose publicado recientemente un informe interno (Rüeger, 2002). En este artículo se discuten también algunos, aunque no todos, de los aspectos clave de este informe interino (Rüeger 2002).

A menos que se mencione lo contrario, se emplea la siguiente fórmula para la conversión entre las unidades de presión en mm Hg (o Torr) y hPa (hectopascal): $p\ [\mathrm{hPa}] = (1013{,}25\ /\ 760)\ p\ [\mathrm{mm\ Hg}]$. La temperatura (en grados Kelvin) se calcula según $T = 273{,}15 + t$, donde t es la temperatura en grados Celsius.

2. HISTORIA DE LAS FÓRMULAS DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

La XII Asamblea General de la IUGG (Helsinki, 26 de julio a 6 de agosto de 1960) aprobó una resolución en la que se adoptaba la siguiente ecuación (según Essen y Froome, 1951) para la reducción de las mediciones electrónicas de distancias con microondas (IUGG 1960, Edge 1962):

$$N_r = (n_r - 1)10^6 = \frac{103{,}49}{T}(p_{tot} - p_w) + \frac{86{,}26}{T}(1 + \frac{5478}{T})p_w \quad (1)$$

en donde T es la temperatura en ºK, p_{tot} la presión atmosférica total en mm Hg, p_w la presión parcial del vapor de agua en mm Hg, n_r es el índice de refracción de las ondas de radio en el aire en las condiciones ambientes dadas, N_r es la refractividad en ppm de las ondas de radio en el aire en las condiciones ambiente dadas. La misma fórmula fue confirmada en otra resolución (IUGG 1963) en la XIII Asamblea General de la IUGG (Berkley, 19 a 31 de agosto de 1963). Después de convertir las unidades de presión a hPa (hectopascales), que son de uso más común, la anterior ecuación se convierte en:

$$N_r = (n_r - 1)10^6 = 77{,}624\frac{p_d}{T} + 64{,}700\frac{p_w}{T} + 371897\frac{p_w}{T^2} \quad (2)$$

en donde p_d (= $p_{tot} - p_w$) es la presión parcial del aire seco, la temperatura se toma en ºK, y las dos presiones parciales en hPa. Se estima que la precisión de las ecuaciones (1) y (2) es de ± 0,1 ppm bajo condiciones "normales" y superior a ± 1 ppm en condiciones extremas (Edge, 1962). De acuerdo con Deichl (1984), las simplificaciones realizadas en la ecuación de arriba (con respecto a las ecuaciones originales de Essen y Froome de 1951) origina errores sistemáticos de unas 0,35 ppm (índice de refracción demasiado pequeño).

Como la resolución de la IUGG de 1963 se basa en Essen y Froome (1951), se incluye un breve sumario de dicho trabajo. Los autores midieron el índice de refracción, a 24 GHz, del aire seco y libre de dióxido de carbono, de nitrógeno, oxigeno, argón y dióxido de carbono, a una temperatura media de 20 ºC, y a una presión media de 760 mm Hg, y las mediciones se redujeron a 0 ºC. También midieron el índice de refracción del vapor de agua dentro de un rango de temperaturas muy limitado (15º y 25º), y de presiones de vapor de agua (de 8 hPa a 18,7 hPa). Dan una precisión de ± 0,1 ppm (0,035% del valor de la refractividad) para el valor del aire seco y de ± 0,1 ppm (0,165% del valor de la refractividad) para el valor con vapor de agua (a 20ºC y 13,3 hPa). Mencionaron que la débil absorción del vapor de agua a 22,23 GHz (13 mm) *"debería tener un efecto totalmente despreciable"*, y señalaron que no se puede conceder *"la misma confianza que con el resto de los gases"* a la extrapolación de la fórmula del vapor de agua a otras condiciones.

Debido a lo limitado del rango de temperaturas, Essen y Froome (1951) tuvieron que predecir el término K_2 del índice de refracción del vapor de agua a partir de valores del espectro visible. Hill y alumnos (1982, página 1256) señalaron que el empleo que Essen y Froome hacían del coeficiente K_2 de la frecuencia óptica del vapor de agua era una *"hipótesis incorrecta"*. Essen y Froome (1951) citaron que su ecuación simplificada (ecuación (12) de la página 873 de su artículo, adoptado por la IUGG, en 1963) introduce unos errores en la refractividad de 0,5 ppm, en los extremos del rango especificado de temperaturas (–20 ºC a +60 ºC), con presiones de vapor de agua normales (la tabla 2 muestra que a alta temperatura y humedad, la fórmula simplificada de Essen y Froome difiere en mucho más de 0,5 ppm de las más recientes fórmulas). Su definición de $T = t + 273$ introduce aún más errores. Debido a estas

deficiencias, sobre todo las ocasionadas por los términos del vapor de agua, no se deben de seguir usando las fórmulas de la IUGG de 1960 y 1963.

Desde la adopción de la ecuación de Essen y Froome por la IUGG en 1960/1963, se han efectuado múltiples investigaciones acerca de la refractividad de las ondas de radio y milimétricas. Restringiremos aquí la discusión a unas pocas contribuciones que son particularmente relevantes en el contexto de la Topografía y de la Geodesia. Para una discusión más completa acerca de los desarrollos en el índice de refracción de ondas de radio consultar a Rüeger (2002).

En 1974 Thayer propuso para el índice de refracción de ondas de radio una ecuación "mejorada" de tres términos, que incluía factores de compresibilidad, para medidas de precisión en el laboratorio y en Geodesia. Aunque puede que Thayer sea el primer autor en incluir factores de compresividad como tales para la radio-refractividad, Essen y Froome (1951, ecuación 11 página 872) ya la habían corregido en su ecuación completa para el comportamiento de un gas no ideal. Thayer señaló que la omisión de los factores de compresividad lleva a errores de 0,04 ppm en la refractividad de ondas de radio en el término seco, y de 0,1 ppm en el término de grandes humedades. Thayer (1974) derivó su K_1 a partir del valor publicado por Smith y Weintraub (1953). Estos últimos obtuvieron su valor de la conversión de tres valores ya publicados de la constante dieléctrica del aire seco, de los cuales uno se midió con longitud de onda óptica y otro a 24 GHz. Al igual que Essen y Froome, y de hecho el propio Thayer (1974, antes de la ecuación 6), Hill (1996) señala que el índice de refracción de las ondas de radio medido es superior al extrapolado en el espectro visible. La precisión reclamada por Thayer (1974) y Smith y Weintraub (1953) es esencialmente la de las mediciones ópticas (la mejor de las dos mediciones de microondas es peor en un factor de dos).

Teniendo en cuenta los comentarios de arriba, la precisión proclamada por Thayer y la adopción de un K_1 parcialmente óptico fueron inadecuadas. Thayer (1974) también extrapoló la refractividad del vapor de agua visible a longitudes de ondas de radio y calculó, a partir de esto, el coeficiente K_2. A continuación empleó las mediciones de vapor de agua de Boudoris (1963) para derivar el valor de K_3. Hill (1996) mencionó que las aportaciones del vapor de agua a la refracción no pueden extrapolarse a las regiones de infrarrojo y de radio, debido a la fuerte contribución de las resonancias de infrarrojos del vapor de agua. En consecuencia, los coeficientes K_1, K_2 y K_3 propuestos por Thayer (1974) no deben de ser empleados. Desafortunadamente dichos coeficientes de Thayer fueron empleados por muchos autores, especialmente en el campo de la Geodesia (por ejemplo Herring 1992, Jarlemark 1994, Mendes 1999).

Hasegawa y Stokesberry (1975) hicieron un buen sumario de los valores K_1, K_2 y K_3. Calcularon las medias ponderadas de cada uno de los tres coeficientes, ponderándolos de acuerdo con las desviaciones típicas. Hill y alumnos (1982) han criticado a estos autores por haber incluido datos de Essen y Froome (1951) y de Essen (1953), ya que estos se habían determinado dentro de un rango de temperaturas muy limitado. Además, estos autores no citaron la frecuencia a la que se efectuaron los experimentos, ignorando de esta manera el aspecto de la refractividad anómala. Los autores también ignoraron la correlación entre los términos K_2 y K_3, que había degradado algunos datos, incluyendo a los de Boudoris.

Bevis y alumnos (1994) comprobaron los datos empleados por Hasegawa y Stokesberry (1975). Plasmaron gráficamente los datos, eliminaron los que quedaban muy separados y calcularon los valores medios de K_1, K_2 y K_3. Una vez más no se tuvo en cuenta la refractividad anómala, ni lo adecuado que sería el promediar los valores K_2 y K_3 por separado, teniendo en cuenta su alta correlación. Al igual que Hasegawa y Stokesberry (1975), los autores incluyeron datos de Essen y Froome (1951) y de Essen (1953), a pesar de las advertencias cautelares de Essen y Froome (1951). También incluyeron el valor de Barrell de 1951, que fue extrapolado a partir del espectro visible. En consecuencia, los errores estandarizados (de los valores medios no ponderados) de ± 0,05 k/hPa para K_1, de ± 2,2 k/hPa para K_2, y de ± 1200 k/hPa para K_3, deben ser tratados con cuidado.

Mendes (1999) revisó diversas fórmulas de refractividad de radio y las empleó para predecir el retardo total en las mediciones de distancias con los satélites GPS. Los retardos en aire seco, en dirección cenital, calculados con las fórmulas de Boudoris (1963, ecuación 3.10 página 660) y de Smith y Weintraub (1953) (para los coeficientes ver Mendes, 1999, tabla 3.1 página 660), difieren sólo en 0,6 mm (lo que supone el 0,026 por ciento del retardo cenital en aire seco de 2,3 m). Mendes, comparando las distintas fórmulas de refractividad del vapor de agua, encontró diferencias inferiores a 0,1 mm en el retardo cenital húmedo (Mendes 1999, comunicación personal). La omisión del factor de compresibilidad para el aire seco no alteraba el retardo cenital seco, y el factor de compresibilidad para el vapor de agua cambiaba el retardo cenital húmedo sólo en 0,1 a 0,2 mm. Por otro lado, la omisión del factor de realce (en el cálculo de la presión del vapor de agua en aire húmedo) alteraba el retardo cenital húmedo (de 0,258 m) en un máximo de 1,3 mm (a 30º de latitud y en verano). Mendes también notó que el retardo cenital húmedo puede cambiar en hasta 3 mm, dependiendo de la fórmula empleada para los cálculos de la presión de saturación del vapor de agua. Para relacionar esta información con las mediciones terrestres, señalemos que se experimentan retardos húmedos y secos semejantes en un trayecto horizontal en un solo sentido de 8,58 km de longitud, al nivel del mar, a 20ºC y con un 28% de humedad relativa. En satélites bajos. con un ángulo de elevación de 15º y ángulo cenital de 75º, los retardos son 3,86 veces mayores (8,9 m para el retardo seco y 1 m para el retardo húmedo a 30º de latitud y en verano) en la correspondiente longitud de 33,1 km horizontal y en un solo sentido a nivel del mar.

3. FÓRMULAS PARA CÁLCULOS A MANO (1 Hz A CERCA DE 1 GHz, ∞ m A 0,3 m)

Es valioso el disponer de una solución cerrada y relativamente sencilla para el índice de refracción de las ondas de radio, que pueda ser empleada en los cálculos hechos con calculadoras de bolsillo y ordenadores personales. Las ecuaciones que aquí se dan son empíricas, se basan en experimentos e ignoran el comportamiento de gas no ideal del aire (compresibilidad). Sin embargo, algunas de las constantes se han obtenido teniendo en cuenta el comportamiento real del gas (por ejemplo Birnbaum y Chatterjee 1952 y Boudoris 1963). Thayer (1974) mencionó que la omisión del factor de compresibilidad del aire seco conduce a errores de cerca de 0,04 ppm, a 500 hPa, y que la omisión del factor de compresibilidad del vapor de agua conduce a errores de hasta 0,1 ppm en humedad muy alta. Owens (1967, página 55) señaló que *"la densidad parcial del dióxido de carbono es siempre tan pequeña que, para el dióxido de carbono, se puede asumir un comportamiento de gas ideal"*. La refractividad Nr de las ondas de radio puede expresarse como:

$$N_r = K_1' \frac{p_{d\text{-}c}}{T} + K_2 \frac{p_w}{T} + K_3 \frac{p_w}{T^2} + K_4 \frac{p_c}{T} \qquad (3)$$

donde $p_{d\text{-}c}$ (= $p_d - p_c = p_{tot} - p_w - pc$) es la presión (parcial) del aire seco y libre de dióxido de carbono, p_d es la presión (parcial) del aire seco (= $p_{tot} - p_w$), p_w es la presión (parcial) del vapor de agua y p_c es la presión (parcial) del dióxido de carbono, y K_i son las constantes y T la temperatura. K_1' es la constante K_1 sin la componente de dióxido de carbono. Debido a su naturaleza polar, el vapor de agua tiene una densidad (K_2) y un término de densidad-temperatura (K_3).

3.1. Ecuación con los "mejores coeficientes disponibles"

Después de señalar algunos supuestos erróneos en las derivaciones de Thayer, Hill y alumnos (1982) apoyaron el uso de los coeficientes de Birnbaum y Chatterjee (1952) y Boudoris (1963). Siguiendo una posterior sugerencia de Hill (1995), los términos K_2 y K_3 han sido tomados de Boudoris (1963), y el término K_1' (aire seco, sin dióxido de carbono) así como el término del dióxido de carbono (K_4) de Newell y Baird (1965).

$$K_1' = 77{,}674 \pm 0{,}013 \ [\mathrm{K/hPa}] \qquad (4a)$$
$$K_2 = 71{,}97 \pm 10{,}5 \ [\mathrm{K/hPa}] \qquad (4b)$$
$$K_3 = 375406 \pm 3000 \ [\mathrm{K/hPa}] \qquad (4c)$$
$$K_4 = 133{,}484 \pm 0{,}022 \ [\mathrm{K/hPa}] \qquad (4d)$$

Las precisiones listadas para K_1' y K_4 son la mitad de los valores de 2σ citados por Newell y Baird (1965). Boudoris (1963) derivó los coeficientes K_2 y K_3 a partir de la resolución por regresión lineal de sus mediciones, a temperaturas que iban desde los 0 ºC a los 63 ºC, y a presiones de vapor de agua de 0 a 127 mm hPa. Los valores medidos de K_4 fueron dados también por Liebe y alumnos (1977) como 133,5 ± 0,15 K/hPa, y por Zhevakin y Naumov (1967) como 129,2 ± 0,02 K/hPa. Considerando que la omisión del término del dióxido de carbono nos lleva únicamente a un error de 0,02% (Hartmann 1993, Hartmann y Leitinger 1984) y que el contenido en dióxido de carbono del aire es raramente medido por topógrafos y geodestas, lo adecuado, a menudo, es adoptar un valor corriente para el contenido de dióxido de carbono y combinar los términos K_1' y K_4 en el término K_1 "de aire seco":

$$K_1 \frac{p_d}{T} = K_1' \frac{p_{d\text{-}c}}{T} + K_4 \frac{p_c}{T} = K_1' \frac{p_d - p_c}{T} + \\ + K_4 \frac{p_c}{T} = K_1' \frac{p_d}{T} + (K_4 - K_1') \frac{p_c}{T} \qquad (5a)$$

Asumiendo, inicialmente, el contenido tradicional de dióxido de carbono en 300 ppm (0,03%), p_c puede tomarse como 0,0003 p_d

$$K_1 \frac{p_d}{T} = \left\{K_1' + 0{,}0003\ (K_4 - K_1')\right\} \frac{p_d}{T} = \\ = \{77{,}674 + 0{,}017\} \frac{p_d}{T} = 77{,}691 \frac{p_d}{T} \qquad (5b)$$

Puede demostrarse que la precisión de K_1 es la misma que la de K_1'. La ecuación de tres términos final (según Newell, Baird y Boudoris) para el aire con un contenido de dióxido de carbono de 300 ppm (0,03%) es:

$$N_r = 77{,}691 \frac{p_d}{T} + 71{,}97 \frac{p_w}{T} + 375406 \frac{p_w}{T^2} \qquad (6)$$

donde la radio refractividad N_r se da en ppm, la presión del aire seco (incluido el dióxido de carbono) p_d (= $p_{tot} - p_w$) y la presión parcial del vapor de agua p_w se recogen en hPa y la temperatura en ºK.

En las tablas 1 y 2 podemos encontrar la comparación de esta fórmula con otras. Recalculando el término K_1 para un contenido de dióxido de carbono de 375 ppm (0,0375%), que se espera exista en el año 2004, se obtiene la forma final de la fórmula de la refractividad de ondas de radio no dispersivas (en ppm, temperaturas en ºK y presiones en hPa)

$$N_r = 77{,}695 \frac{p_d}{T} + 71{,}97 \frac{p_w}{T} + 375406 \frac{p_w}{T^2} \qquad (7)$$

3.2. Ecuación con los "coeficientes mejor promediados"

Algunos de los autores que compilaron valores experimentales de los coeficientes de la refractividad, calcularon los valores medios de los coeficientes para su uso general, como por ejemplo Bean (1962), Hasegawa y Stokesberry (1975) y Bevis y alumnos (1994). El uso de los "coeficientes mejor promediados" en lugar de los "mejores coeficientes disponibles" ofrece cierta fortaleza frente a los errores sistemáticos no modelados, e incrementa la fiabilidad de los errores, en particular si podemos promediar los datos de diferentes investigadores y laboratorios. Como alternativa a la fórmula basada en los "mejores coeficientes dis-

ponibles" (véase lo expuesto anteriormente), los datos disponibles han sido estudiados de nuevo y se han calculado nuevos coeficientes "mejor promediados" (Rüeger 2002). La siguiente fórmula de cuatro términos puede ser construida empleando la media ponderada de los coeficientes nuevamente derivados (Rüeger 2002, tablas 4 a 6):

$$N_r = 77,6681\frac{p_{d\text{-}c}}{T} + 71,2952\frac{p_w}{T} + 375463\frac{p_w}{T^2} + 133,4800\frac{p_c}{T} \quad (8)$$

Usando la ecuación (5b), el antiguo valor del contenido de dióxido de carbono de 300 ppm (0,03%) y p_c como 0,0003 p_d, la ecuación final de tres términos de la radio refractividad N_r (en ppm), con los coeficientes ponderados y promediados para el aire, con un contenido de dióxido de carbono de 300 ppm (0,03%), resulta ser:

$$N_r = 77,6848\frac{p_d}{T} + 71,2952\frac{p_w}{T} + 375463\frac{p_w}{T^2} \quad (9)$$

donde la presión del aire seco (incluido el dióxido de carbono) p_d (= $p_{tot} - p_w$) y el valor de la presión del vapor de agua p_w se recogen en hPa, y la temperatura T en ºK. La precisión de la componente de la refractividad en aire seco N_d es nominalmente el 0,012% de N_d o, más conservadoramente (ver Rüeger 2002, tabla 2), 0,02% de N_d. Un valor realista de la precisión de la componente del vapor de agua (N_w) es de cerca de un 0,15% de N_w (ver Rüeger 2002, parte inferior de la tabla 5) o, más conservadoramente (ver Rüeger 2002, tabla 3), 0,20% de N_w. Una comparación de esto con otras fórmulas puede encontrarse en las tablas 1 y 2. Recalculando el término K_1 para un contenido de dióxido de carbono de 375 ppm (0,0375%), que se espera exista en el año 2004, nos da la forma final de la fórmula "de media ponderada" de la refractividad N_r de las ondas de radio no dispersivas (en ppm, temperaturas en ºK y presiones en hPa):

$$N_r = 77,6890\frac{p_d}{T} + 71,2952\frac{p_w}{T} + 375463\frac{p_w}{T^2} \quad (10)$$

4. RUTINA DE ORDENADOR (1 Hz HASTA CERCA DE 1 THz, ∞ m HASTA 0,3 mm)

Un modelo práctico del índice de refracción complejo para el cálculo de la propagación de las ondas electromagnéticas a través de la atmósfera, ha sido desarrollado, a lo largo de muchos años, por Liebe y alumnos (Liebe 1996, 1989, 1985, Liebe y alumnos 1992, 1993). El Modelo de Propagación de Ondas Milimétricas (MPM) es un programa de ordenador para frecuencias inferiores a los 1000 GHz en la atmósfera. El MPM consta de 44 líneas de resonancia de oxigeno y 30 de agua local, así como del espectro de no resonancia para el aire seco y de un modelo continuo de vapor de agua, que reconcilia las discrepancias experimentales (Liebe y alumnos 1992). El modelo es aplicable para presiones barométricas entre los 0 y los 1200 hPa, y a temperaturas comprendidas entre los –100ºC y los 50ºC, para humedad relativa entre 0 y 100%, y para densidades de gotas de agua y partículas de hielo en suspensión de entre 0 y 5 gr/metro cúbico. El MPM hace uso de datos espectrales y está respaldado por múltiples mediciones de laboratorio, que validan y mejoran la prestación global del modelo. Los autores señalan que los valores de absorción del aire seco en el MPM están de acuerdo con los medidos dentro del nivel del 1%. *"Se estima que las predicciones del modelo que afectan a vapor de agua y a gotitas de agua se sitúan en el rango del 10%"* (Liebe y alumnos 1992).

Actualmente el MPM no contempla la introducción del contenido de dióxido de carbono. Presumiblemente, un contenido de un 0,03% de dióxido de carbono está incluido en el término no dispersivo del aire seco. Rüeger (2002, tabla1) ha investigado el desarrollo histórico de los coeficientes K_1, K_2 y K_3 usados por MPM y su probable origen.

El programa MPM93 es de libre disposición, está plenamente documentado e incluye un archivo ejecutable para PC, así como código fuente en Fortran. Puede bajarse de la página web del Institute of Telecommunication Sciences de Boulder, Colorado, USA (*http://www.its.bldrdoc.gov->Resources->Anonymous ftp->publ->mpm93/->refractividad* o directamente de *ftp://ftp.its.bldrdoc.gov/pub/mpm93/refractividad*).

El módulo "Refrac" del software es la variante más útil del MPM93 para ser empleado en Geodesia o en Topografía. Hill (2000) preparó las rutinas (IR_N) en Fortran77, para el cálculo de la fase y de los grupos de índice de refracción del aire y de sus componentes gaseosos, en conexión con un programa de investigación del JPL/NASA. Estas subrutinas son aplicables a longitudes de ondas que van desde lo visible al infinito (ondas de radio). Los efectos de las resonancias de absorción del H_2O, CO_2, O_2, O_2, CH_4, CO y N_2O se modelan empleando la base de datos "Hitran". El código fuente puede obtenerse (sobre CD) de J. M. Rüeger. Debe señalarse que, por ahora, no hay manual, ni descripción de las rutinas (IR_N) y que se necesita que el usuario haga algunas programaciones adicionales antes de que las rutinas (IR_N) puedan ser utilizadas.

5. COMPARACIÓN DE LAS FÓRMULAS

Las tablas 1 y 2 muestran una comparación del MPM93 (con refractividad no dispersiva N_o únicamente), con las fórmulas simples de Essen y Froome (1951, que fueron adoptadas por la IUGG en 1960 y 1963), con la de Boudoris (1963), que se basa en los coeficientes determinados por Liebe y alumnos (1977), con la fórmula recomendada por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones en 1986 (CCIR 1986, según Bean y Dutton 1968, y Smith y Weintraub 1952), con una nueva fórmula basada en los "mejores coeficientes disponibles" (ecuación 6) de acuerdo con Boudoris (1963) y Newell y Baird (1965) y con una nueva fórmula basada en los "coeficientes mejor promediados" (ecuación 9)

Para la comparación se empleó una presión total de 1.000 hPa. Para ser consistente con las ecuaciones históricas, se emplearon las ecuaciones (6) y (9) con un contenido del 0,03% (300 ppm) de dióxido de carbono (en lugar de las ecuaciones (7) y (10) con 375 ppm de dióxido de

Hemos revolucionado el mercado español gracias a la confianza de nuestos clientes que nos han dado la oportunidad de escucharles. De esta forma respondemos a sus necesidades, con los mejores productos y servicios en construcción, topografía, láser, control de maquinaria y agricultura.

GRUPO EMPRESARIAL .inland

INTRAC
LÁSER, AGRICULTURA Y CONTROL DE MAQUINARIA

ISSA
Isidoro Sánchez S.A.
SOLUCIONES TOPOGRÁFICAS

GETRACK
GESTIÓN DE FLOTAS - GIS

LASER RENT
CONSTRUCCIÓN, EXCAVACIONES E INTERIORISMO

www.inland.es

VISITE NUESTRA WEB

JOSÉ ECHEGARAY, 4. CASABLANCA I B5 • 28100 ALCOBENDAS. MADRID • TEL: 902 103 930

NO SE PIERDA LA SECCION "DE SU INTERES" DEL CLUB INLAND
Y LOS NUEVOS SERVICIOS DE SOPORTE Y TIENDA VIRTUAL

T p_w [°C]	PWVP N_r [hPa]	MPM93 N_r [ppm]	E&F51 IUGG'60 Eq. (2) N_r [ppm]	Liebe 1977 N_r [ppm]	Boud 1963 N_r [ppm]	Best Available (Eq. (6) N_r [ppm]	Best Average Eq. (9) N_r [ppm]	CCIR'86 N_r [ppm]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
60	199,26	902,2	892,8	902,2	903,5	903,7	903,4	903,0
45	95,85	597,1	592,2	597,1	597,7	598,0	597,8	597,4
30	42,43	428,3	426,0	428,4	428,5	428,8	428,7	428,3
15	17,04	346,0	345,0	346,1	346,3	346,3	346,3	345,9
0	6,10	314,8	314,3	314,9	315,0	315,0	315,0	314,6
–15	0,00	300,8	300,8	300,9	301,0	301,0	300,9	300,6
–30	0,00	319,3	319,3	319,5	319,1	319,5	319,5	319,1

Tabla 1. Refractividad de ondas de radio N_r (en partes por millón) calculada con el MPM (Modelo de Propagación de Ondas Milimétricas) y unas cuantas fórmulas sencillas, a una serie de temperaturas seleccionadas, a 1000 hPa de presión total y con un contenido de 300 ppm de dióxido de carbono y 100% de humedad relativa.

carbono). La humedad relativa se estableció al 100% y las temperaturas entre 0°C y 60°C. Las presiones de saturación del vapor de agua empleadas para los cálculos de las columnas 4 y 9 se muestran en la columna 2, y se tomaron de Rüeger (1996, app B). MPM usa la humedad relativa como entrada y la convierte en presión parcial de vapor de agua, empleando las ecuaciones de Goff y Gratch (1946).

La precisión de la nueva fórmula de los "mejores coeficientes disponibles" (ecuaciones 6 y 7) fue estimada usando la ley de propagación de las varianzas y las precisiones dadas de las constantes K_1, K_2 y K_3. La columna 10 de la tabla 2 da la precisión sin considerar la correlación entre las constantes K_2 y K_3 (coeficiente de correlación = cero). La columna 11 de la tabla 2 emplea un coeficiente de correlación de –0,995 entre las dos constantes, para poder calcular la covarianza entre ellas. Este coeficiente de correlación se obtuvo a partir de una repetición del ajuste de la curva de Boudoris.

La columna 12 de la tabla 2 muestra claramente que la ecuación de Essen y Froome (1951) difiere notablemente de los otros tres modelos a altas temperaturas y humedades. No sorprende que la fórmula ("Liebe 77") basada en los términos K_1, K_2 y K_3 de Liebe y alumnos (1977) coincida mucho con el MPM (ver columna 13 de la tabla 2). Las diferencias no exceden de las 0,15 ppm entre –30°C y 60°C. La fórmula de Boudoris concuerda algo mejor con el MPM93 que la ecuación (6) derivada arriba (a partir de los "mejores coeficientes disponibles"). Las diferencias son, sin embargo, menores que 1 ppm a temperaturas inferiores a los 50°C. La ecuación (6) da valores que son, en promedio, 0,3 ppm superiores a los de Boudoris. Esto era de esperar, ya que la constante K_1 de Newell y Baird es algo mayor que la de Boudoris, y dado que la ecuación (6) (ver la columna 7 de la tabla 1) usa las mismas constantes K_2 y K_3 que la ecuación de Boudoris (columna 6 de la tabla 1).

La nueva ecuación (9) de "los coeficientes mejor promediados" (ver la columna 16 de la tabla 2) muestra desviaciones con el MPM93 que son semejantes a las de la ecuación de Boudoris y la ecuación (6). A temperaturas negativas y humedad cero, la fórmula de Boudoris y las nuevas ecuaciones (6) y (9) presentan desviaciones respecto al MPM93, que son de la misma magnitud pero de distinto signo. Las diferencias en las columnas 14 a 17 de la tabla 2 se comparan mejor con los valores de precisión de la columna 11, que tiene en cuenta la correlación (matemática) entre K_2 y K_3, que con los de la columna 10, que no la tiene. Esto confirma que no debe de ignorarse la correlación entre K_2 y K_3 al predecir la precisión de la refractividad calculada. Las columnas 14 a 16 de la tabla 2 siguen mostrando que el MPM93 parece subestimar el índice de refracción de las ondas de radio en humedades altas y a altas temperaturas, cuando se le compara con las cuatro fórmulas alternativas tabuladas.

T [°C]	PWVP p_w [hPa]	Prec Eq. 6 ρ=0,0 [ppm]	Prec Eq. 6 ρ=-0,995 [ppm]	(4-3) E&F51 minus MPM93 [ppm]	(5-3) Lie77 minus MPM93 [ppm]	(6-3) Bou63 minus MPM93 [ppm]	(7-3) Eq. 6 minus MPM93 [ppm]	(8-3) Eq.9 minus MPM93 [ppm]	(9-3) CCIR'86 minus MPM93 [ppm]
(1)	(2)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
60	199,26	±8,3	±1,2	–9,4	0,0	1,4	1,6	1,3	0,9
45	95,85	±4,2	±0,5	–4,8	0,0	0,6	0,9	0,7	0,3
30	42,43	±2,0	±0,2	–2,3	0,1	0,2	0,5	0,4	0,0
15	17,04	±0,9	±0,1	–1,0	0,1	0,0	0,3	0,3	–0,1
0	6,10	±0,3	±0,0	0,0	0,1	–0,1	0,2	0,2	–0,2
–15	0,00	±0,0	±0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	–0,2
–30	0,00	±0,0	±0,0	0,0	0,1	–0,2	0,2	0,2	–0,2

Tabla 2. Comparación de la parte no dispersiva de la refractividad de las ondas de radio (en partes por millón) obtenida con el MPM (Modelo de Propagación de Ondas Milimétricas) y unas cuantas fórmulas sencillas, a una serie de temperaturas seleccionadas, a 1000 hPa de presión total y con un contenido de 300 ppm de dióxido de carbono y 100% de humedad relativa.

6. CONCLUSIONES

La fórmula del índice de refracción de las ondas de radio, recomendada en la Resolución 1 de la XIII Asamblea General de la IUGG (Berkley, 1963) está en

la actualidad anticuada. Con las nuevas mediciones absolutas y relativas del índice de refracción del aire para ondas que van del medio infrarrojo a las de radio, y con los considerables avances que se han hecho en el cálculo de la refractividad anómala, dentro del espectro que va del medio-infrarrojo a las ondas de radio, existe la clara necesidad de rescindir las resoluciones de la IUGG de 1963 y de proponer una alternativa más adecuada.

Dado que un cierto número de autores, sobre todo del campo de la Geodesia (por ejemplo Herring 1992, Jarlemark 1994 y Mendes 1999) han comenzado a utilizar las fórmulas del índice de refracción de ondas de radio y los coeficientes de Thayer (1974), se hace de nuevo hincapié en que los coeficientes $\mathbf{K}_1$, $\mathbf{K}_2$ y $\mathbf{K}_3$ propuestos por Thayer (1974) no deben de emplearse. Como ya se ha explicado, los coeficientes $\mathbf{K}_1$ y $\mathbf{K}_3$ de Thayer han sido obtenidos, al menos en parte, a partir de datos ópticos, lo que es inadecuado.

No se presenta una propuesta final para la mejor fórmula sencilla para los cálculos manuales. Si se toma como referencia el MPM, es una fórmula del tipo de la ecuación (10) la que produce los mejores resultados, con las constantes $\mathbf{K}_1$, $\mathbf{K}_2$ y $\mathbf{K}_3$ determinadas por Lieber y alumnos (1977). Por otro lado, si se toman como referencia las fórmulas recién obtenidas de "los coeficientes mejor promediados" y "los mejores coeficientes disponibles" (ver ecuaciones 7 y 10), resulta que el MPM necesita afinarse. Los méritos relativos de los valores $\mathbf{K}_2$ y $\mathbf{K}_3$ dados por Boudoris (1963) y Lieber y alumnos (1977) así como los de $\mathbf{K}_1$ dados por Newell y Baird (1965) y Lieber y alumnos (1977), necesitan ser establecidos antes de que se pueda tomar una decisión definitiva sobre la forma adecuada de actuar.

La refractividad anómala debe de modelarse para frecuencias superiores a los 1 GHz y, en particular, para frecuencias próximas a las líneas de resonancia relevantes (por ejemplo entre 53,59 y 66,30 GHz y a 118,75 GHz para el oxigeno y a 22,23 GHz, 68,71 GHz y 119,99 GHz para el vapor de agua). El MPM (Modelo de Propagación de Ondas Milimétricas) de Liebe es en la actualidad la rutina de ordenador más accesible para modelar la refractividad anómala del oxigeno y del vapor de agua para frecuencias inferiores a los 1000 GHz. Las rutinas de ordenador de Hill (IR_N) usan un conjunto de líneas de resonancia más completo (Hitran), pero precisan que el usuario haga alguna programación adicional en Fortran.

En Rüeger (2002) se muestra que la información de precisión más significativa se da como un porcentaje de la refractividad $\mathbf{N}_i$ o como un porcentaje del coeficiente de refractividad Ki. Rüeger (2002) usó una precisión relativa de ± 0,02% para la refractividad del aire seco ($\mathbf{N}_d$) y de ± 0,2% para la refractividad del vapor de agua ($\mathbf{N}_w$), y considera que estos valores son realistas y posiblemente algo conservadores. Los lectores que precisen una visión más profunda del índice de refracción de las ondas de radio deben consultar a Rüeger (2002), donde se da mucha más información que en este artículo. Rüeger (2002) viene incluido en anteriores informes sobre el índice de refracción del aire.

REFERENCIAS

- Barrell, H. 1951. *The Dispersion of Air Between 250 nm and 650 nm.* Journal of the Optical Society of America, 41(5): 295-299.
- Bean, B. R. 1962. *The Radio Refractive Index of Air.* Proceedings of the IRE, 50(3): 260-273, 50(4): 1520.
- Bean, B. R., Dutton, E.J. 1968. *Radio Meteorology*. Dover Publications Inc., New York, 423 pages.
- Bevis, M., Businger, S., Chiswell, S., Herring, T. A., Anthes, R. A., Rocken, C., Ware, R. H. 1994. *GPS Meteorology: Mapping Zenith Wet Delays onto Precipitable Water.* Journal of Applied Meteorology, 33(3): 379-386.
- Birnbaum, G., Chatterjee, S. K. 1952. *The Dielectric Constant of Water Vapour in the Microwave Region.* J. App. Phys., 23: 220-223.
- Boudouris, G. 1963. *On the Index of Refraction of Air, the Absorption and Dispersion of Centimetre Waves by Gases.* J. of Res. of the Nat. Bureau of Standards – D. Radio Propagation, 67D(6): 631–684.
- CCIR. 1986. *Recommendations and Reports of the CCIR 1986.* Vol. 5: Propagation in Non-Ionised Media. XVIth Plenary Assembly Dubrovnik 1986, International Radio Consultative Committee, International Telecommunication Union (ITU), Geneva.
- Deichl, K. 1984. *Der Brechungsindex für Licht- und Mikrowellen.* Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN), 91:85-100.
- Edge, R. C. A. 1962. Report of IAG Special Study Group No. 19 on Electronic Distance Measurement using Ground Instruments. En: Levallois, J. J. (ed.) *Travaux de L'Association Internationale de Géodésie*, Vol. 21, Rapport Généraux et Rapport Techniques établis á l'Occasion de la douzième Assemblée Générale, Helsinki, July 1960, 59-99.
- Essen, L., Froome, K. D. 1951. *The Refractive Indices and Dielectric Constants of Air and its Principal Constituents at 24 GHz.* Proc. of the Physical Society (London), Section B, 64:862-875.
- Goff, J. A., Gratch, S. 1946. *Low Pressure Properties of Water from -160 to 212°F.* Transactions, American Society of Heating and Ventilating Engineers, 52:95-122.
- Hartmann, G. K. 1993. *The Determination of Tropospheric Conditions (especially H_2O) Affecting the Accuracy of Position Measurements.* En: Geophysical Monograph 73, IUGG Volume 13, Environmental Effects on Spacecraft Trajectories and Positioning, Am. Geophys. Union, 73-82.
- Hartmann, G. K., Leitinger, R. 1984. *Range Errors due to Ionospheric and Tropospheric Effects for Signal Frequencies above 100 MHz.* Bulletin Géodésique, 58: 109-136.
- Hasegawa, S., Stokesberry, D. P. 1975. *Automatic Digital Microwave Hygrometer.* Review of Scientific Instruments, 46(7): 867-873.
- Herring, T. A. 1992. *Modelling Atmospheric Delays in the Analysis of Space Geodetic Data.* En: DeMunck, J. C., Spoelstra, T. A. Th. (Eds.),

Proceedings of the Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, 19-22 May 1992, The Hague, Publications in Geodesy, Netherlands Geodetic Commission, New Series, No. 36, 157-164.

- Hill, R. J. 2000. Personal communication on the release of FORTRAN77 subroutines and supporting data (IR_N) for the calculation of the phase and group refractive indices of air and its gaseous constituents. 10 October 2000.
- Hill, R. J. 1996. Refractive Index of Atmospheric Gases. Chapter II.3.1.1 in: Dieminger-Hartmann-Leitinger (eds), *The Upper Atmosphere*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 261-270.
- Hill, R. J. 1995. Personal communication.
- Hill, R. J., Lawrence, R. S., Priestley, J. T. 1982. *Theoretical and Calculational Aspects of the Radio Refractive Index of Water Vapour.* Radio Science, 17(5): 1251-1257.
- IAG (International Association of Geodesy). 1999. Resolutions, 22nd General Assembly (see http://www.gfu.ku.dk/~iag/resolutions), 19 - 30 July 1999, Birmingham, U.K.
- IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). 1960. Resolutions, 12th General Assembly, 26 July - 6 August 1960, Helsinki, Finland. *Bulletin Géodésique*, 58: 413.
- IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). 1963. Resolutions, 13th General Assembly, 19-31 August 1963, Berkeley, California, USA. *Bulletin Géodésique*, 70:390.
- Jarlemark, O. J. 1994. *Studies of Wet Delay Algorithms for Three European Sites Utilising New Attenuation Models.* Research Report No. 171, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sweden.
- Liebe, H. J. 1996. Models for the Refractive Index of the Neutral Atmosphere at Frequencies Below 1000 GHz. Chapter II.3.1.2 in: Dieminger-Hartmann-Leitinger (eds.), *The Upper Atmosphere – Data Analysis and Interpretation.* Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1996, 270-287.
- Liebe, H. J. 1989. *MPM – An Atmospheric Millimetre Wave Propagation Model.* Int. Journ. Infrared and Millimetre Waves, 10(6): 631-650.
- Liebe, H. J. 1985. *An Updated Model for Millimetre-Wave Propagation in Moist Air.* Radio Science, 20(5): 1069-1089.
- Liebe, H. J., Hufford, G. A., Cotton, M. G. 1993. *Propagation Modelling of Moist Air and Suspended Water/Ice Particles at Frequencies below 1000 GHz.* AGARD, 52nd Specialists' Meeting of the Electromag. Wave Propag. Panel, Palma da Mallorca, Spain, 17-21 May 1993, 3-1 to 3-10.
- Liebe, H. J., Hufford, G. A., Cotton, M. G. 1992. *Progress in Atmospheric Propagation Modelling at Frequencies below 1000 GHz.* Proc., 1992 Battlefield Atmospherics Conference, 1-3 December 1992, Fort Bliss, El Paso, Texas, 247-256.
- Liebe, H. J., Gimmestad, G. G., Hopponen, J. D. 1977. *Atmospheric Oxygen Microwave Spectrum – Experiment versus Theory.* IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-26(3): 327-335.
- Mendes, V. B. 1999. *Modelling the Neutral-Atmosphere Propagation Delay in Radiometric Space Techniques.* PhD dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 199, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 353 pages.
- Newell, A. C., Baird, R. C. 1965. *Absolute Determination of Refractive Indices of Gases at 47.7 GHz.* Journal of Applied Physics, 36(12): 3751-3759.
- Owens, J. C. 1967. *Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition.* Applied Optics, 6(1): 51-59.
- Rüeger, J. M. 2002. *Refractive Index Formulae for Electronic Distance Measurement with Radio and Millimetre Waves,* Unisurv Report S-68, School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales, UNSW SYDNEY NSW 2052, Australia, 1-52.
- Rüeger, J. M. 1999. *Report of the Ad-Hoc Working Party on Refractive Indices of Light, Infrared and Radio Waves in the Atmosphere of the IAG Special Commission SC3 –Fundamental Constants (SCFC) for the period 1993 - 1999.* Presented at the 22nd General Assembly of IUGG, 18-30 July 1999, Birmingham, UK, 25 pages.
- Rüeger, J. M. 1996. *Electronic Distance Measurement – An Introduction.* 4th ed. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 276 + xix pages.
- Smith, E. K., Weintraub, S. 1953. *The Constants in the Equation for Atmospheric Refractive Index at Radio Frequencies.* Proceedings of the Institute of Radio Engineers (I.R.E.), 41: 1035-1037.
- Thayer, G. D. 1974. *An Improved Equation for the Radio Refractive Index of Air.* Radio Science, 9(10): 803-807.
- Zhevakin, S. A., Naumov, A. P. 1967. *Refraction of Millimetre and Submillimetre Radio Waves in the lower Atmosphere.* Radio Engineering and Electronic Physics (translated and published by IEEE), 12(1): 885-894.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Jean M Rüeger se graduó en el Instituto Federal de Tecnología de Suiza (Zurich) trabajando a continuación algunos años en la práctica privada y en el Instituto Federal de Tecnología de Suiza. En 1975 fue nombrado profesor de la Universidad de Nueva Gales del Sur, Sydney, Australia, en donde es profesor asociado en la Escuela de Topografía y Sistemas de Información Espacial. Ha escrito profusamente sobre el tema de la Medición Electrónica de Distancias, la calibración y seguimiento legal de equipos de Medición Electrónica de Distancias, obtención de alturas mediante Medición Electrónica de Distancias, uso y calibración de niveles digitales y también un libro sobre la Medición Electrónica de Distancias. Es presidente del grupo de trabajo *ad hoc* sobre "Índice de Refracción de las Ondas Luminosas, Infrarrojas y de Radio en la Atmósfera" de la Comisión Especial SC3 sobre "Constantes Fundamentales" (SCFC) de la IAG. Es miembro de los grupos de trabajo de la FIG WG-5.12 (Niveles Digitales), WG-5.15 (Procedimientos de Calibración en Laboratorios) y al WG-5-22 (Determinación de Altitudes empleando Métodos Terrestres). ■

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

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

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

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

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

ERDAS geographic imaging made simple™

LH Systems

Leica Geosystems

La influencia española en la Cartografía y la Topografía de América

Roy Minnick

Resumen

Las actividades topográficas y cartográficas españolas en América parecen ser un secreto bien guardado. La mayor parte de las que se han estudiado en detalle comienzan a partir de los esfuerzos británicos y americanos en estos campos, junto con una referencia de pasada a las de los franceses. Se pasan por alto los mapas y cartas costeras hechas por España, que comenzaron con Colón, a finales del siglo XV, y concluyeron en Nootka, a finales del siglo XVIII. También han sido olvidados los levantamientos topográficos hechos sobre el terreno, primero en los puertos y posteriormente en las ciudades, caminos y en los terrenos cedidos a los que allí se establecían. Son muy poco conocidos los mapas de Kino de la zona noroeste de Nueva España, de finales de los siglos XVII y XVIII, y los trabajos realizados por los Reales Ingenieros de España, tales como Miguel Constanzo, después de 1711 en la parte occidental de América y en las Filipinas. Este artículo presenta una visión de las actividades topográficas y cartográficas españolas en América y las coloca en su lugar adecuado dentro de la historia de la topografía de América.

Abstract

Spanish surveying and mapping activities in the Americas seems to be a well-kept secret. Most of the well-studied surveying and mapping activities begin with British and American efforts, with a quick passing reference to those of the French. Overlooked are the Spanish coastal charting and mapping, beginning with Columbus in the latter part of the 16 th century and ending in the latter part of the 18 th century in Nootka. Forgotten also are the surveys on land, first on the seaports and later surveys of town sites, roads, and lands granted to settlers. Kino's maps of northwestern New Spain, in the late 17 th and early 18 th centuries, and after 1711, the efforts of the Spanish Royal Engineers such as Miguel Constanso in the western part of the Americas and the Philippines are little known. This paper presents an overview of Spanish surveying and mapping activities in the Americas, and places them in the proper niche in the history of surveying in the Americas.

LA INFLUENCIA ESPAÑOLA EN LA CARTOGRAFÍA Y LA TOPOGRAFÍA DE AMÉRICA

La cartografía española constituyó una parte integral de la eficiente administración de un imperio que se extendía sobre gran parte del mundo conocido por Europa. La cartografía española atendía a una serie de necesidades imperiales:

1. Navegar del punto A al punto B de la manera más segura y rápida, aprovechando al máximo la tecnología existente.
2. Motivos políticos: En la Era de la Exploración, el primer representante de un rey europeo que llegaba a tierra plantaba una bandera y reclamaba el territorio para su soberano.
3. Las necesidades militares de fortificar las tierras descubiertas, mostrar la situación relativa de las ciudades y las rutas que las unían.

Por razones de espacio, este artículo se refiere a los territorios correspondientes al Méjico actual y a la parte suroeste de los Estados Unidos, conocidos como la zona fronteriza de los territorios españoles. El conjunto de ambos se conoció como Nueva España. Desde luego se podría contar mucho más, pero razones de espacio recomiendan dejarlo para otra ocasión.

Las clases de Historia de los Estados Unidos ignoran en gran parte la influencia española a lo largo de la costa del Pacífico. Se pone un abrumador y pesado énfasis en el origen inglés de las raíces americanas y sólo se cuenta que los Estados Unidos se desplazaron hacia el Oeste en busca de lo que se llamó el "Destino Manifiesto". La historia del estado de California, donde vivo, es enseñada sobre la base de la "Fiebre del Oro" de 1849 y al ferrocarril que unía California con el Este. A pesar de los nombres españoles, que se aplican a numerosas calles y ciudades, el mayor reconocimiento que se hace de la influencia española en California es el romántico camino de las misiones, que no es sino un programa de reclamo turístico que data de mediados del siglo veinte.

Muy pocos mapas españoles del Nuevo Mundo encuentran su camino en el mercado de la decoración, ni en California ni en ningún otro lugar.

Figura 1. Meztitlan por Gabriel de Chávez, 1579. Mapa corográfico de las *Relaciones Geográficas*, en el que combinaba sus observaciones con las de los indígenas (Colección Latinoamericana Benson, Bibliotecas Generales, Universidad de Tejas, Austin).

Creo que esto se debe a una serie de razones, siendo dos de las que de pronto se me ocurren la dificultad en encontrarlos y la falta de costumbre. Los precios más altos se pagan por los mapas decorativos y no por los serios y austeros mapas administrativos.

En fecha tan temprana como 1493, dos meses después de que Colón volviese de su primer viaje, el Papa Alejandro VI estableció una línea de longitud, a 100 leguas al oeste de la Azores, como limite entre los descubrimientos hechos por España y Portugal. Nadie sabía realmente cómo encontrar esta línea, pero ciertamente pareció una solución política, tal vez al menos de tanto valor como las que se adoptan en la actualidad. La línea tuvo su impacto y consecuencias, y es la causa de que en la actualidad Brasil este enraizado en el portugués, en lugar de en el español.

Por lo que se refiere a España, ya a mediados del siglo XVI se había desarrollado el comercio con las Filipinas y Nueva España. Convoyes armados surcaban los mares en la ignorancia más total en lo que se refería a la longitud. Imagínese por un momento que se saliera de Manila y se encaminara la nave hacia Acapulco o La Paz, no sabiendo exactamente cuándo y dónde se toparía uno con América Central o con la del Norte. Se hizo imperativo el disponer de buenas cartas de navegación, de modo que los convoyes, al alcanzar la costa del Pacifico, pudiesen arribar a puertos seguros y a estaciones de aprovisionamiento. La necesidad se hizo tan crítica que Felipe III de España ofreció una sustanciosa fortuna a quien pudiese determinar la longitud geográfica. Se podía determinar la latitud, pero se precisaba la otra componente de las coordenadas geográficas para hacer un buen mapa y poder así navegar con cierta precisión a través del mar abierto. El comercio y las actividades militares requerían de la habilidad de poder ir y volver siguiendo la misma ruta.

El principal puerto de acogida del lado Atlántico de Nueva España era Veracruz. Los marinos tenían pocos problemas para llegar allí. Seguían los pasos de Colón. Parece ser que Colón no era una persona muy interesada en los mapas y en las cartas náuticas, pero era, sin embargo, un experto navegante que empleaba las técnicas de estimación de rumbo comunes en aquel tiempo; es decir, una combinación de direcciones de brújula y de sondeos. Encontramos un ejemplo de esto en la siguiente instrucción, tomada de un libro de navegación portugués del siglo XV:

> *"Al salir de España se establece el curso con rumbo nor-noreste. Cuando se suponga que se está a dos tercios del trayecto hasta Inglaterra, y si te diriges al Severn, ve hacia el norte por el este, hasta que llegues a los lugares de sondeos. Si encuentras 100 brazas de profundidad, sigue hacia el norte hasta que, en un nuevo sondeo, encuentres arena fina grisácea a 72 brazas".*

Aunque la cartografía a lo largo de las zonas costeras era el primer paso para la preparación de un mapa más completo, este proceso no necesi-

Figura 2. Fragmento del mapa de Coatzocoalo de las *Relaciones Geográficas*, 1580. El alcalde, en respuesta al cuestionario, pidió a un marino que le hiciera el mapa. El río era un paso de importancia (Colección Latinoamericana Benson, Bibliotecas Generales, Universidad de Tejas, Austin).

... le mostramos el camino, sist

Trimble 5600
DR300+
con el controlador ACU

Trimble 3600:
Elija el controlador que mejor se adapta a su forma de trabajar

Trimble 3600
Opciones de alta precisión:
± (1 mm + 1 ppm)
con un sólo prisma

Láser e
El sistema Callidu
una nueva
a la fam

Capaz de medir hasta 300 metros sin prismas!

MED -DR estándar, con láser tipo 2

Para más información acerca de nuestros productos o nuestros distribuidores:

Trimble Ibérica
Tel.: 91 3510100
Fax: 91 3513443
www.trimble.com

emas avanzados de topografía...

escáner 3D:
us® Láser escáner 3D, incorporación ilia Trimble!

Verdaderos sistema de topografía integrada mediante el controlador ACU

Trimble 5800, sistema GPS móvil, sin cables, ligero y extremadamente compacto

Estándares de fabricación IP54 para la Estación Total 3300DR

- **Windows CE**
- **Pantalla en color**
- **Pantalla táctil**
- **Interface para GPS y estaciones totales ópticas**

Trimble ACU, un único controlador para su GPS y estaciones totales ópticas!

Trimble®

El nombre Bluetooth y la marca registrada Bluetooth son propiedad de Bluetooth SIG, Inc. y son utilizados por Trimble Navigation Limited bajo licencia.

taba mucho más, al menos en lo que a Nueva España se refería, que navegar a lo largo de dicha costa, haciendo observaciones y sondeos. Ya a finales del siglo XVIII se recogía una información detallada de las costas empleando la brújula y la sonda, a lo que se añadían observaciones e impresiones personales. El resultado no era muy preciso en lo que se refiere a la orientación ni a las proporciones.

Uno de los elementos más intrigantes y que hacen única a la cartografía española, es su ideología imperial. Se sitúa a la edad de oro de la cartografía española durante el reinado de Felipe II (1556-1598). Felipe II estaba interesado en hacer visibles sus territorios a través de los mapas y disponía del dinero y el poder para llevarlo a cabo. Sus esfuerzos dieron lugar a la cartografía local de Nueva España, así como a sus mapas costeros y de navegación. Su programa de cartografía local, que se conocía como *Relaciones Geográficas*, dio una visión valiosa de la forma en la que Felipe II, un príncipe renacentista, empleaba sus mapas para moldear su estado nación. Uno de los múltiples proyectos cartográficos de Felipe II consistió en un cuestionario de 50 puntos, que circuló por Nueva España. Las respuestas a dicho cuestionario formaron la base de las "Relaciones Geográficas".

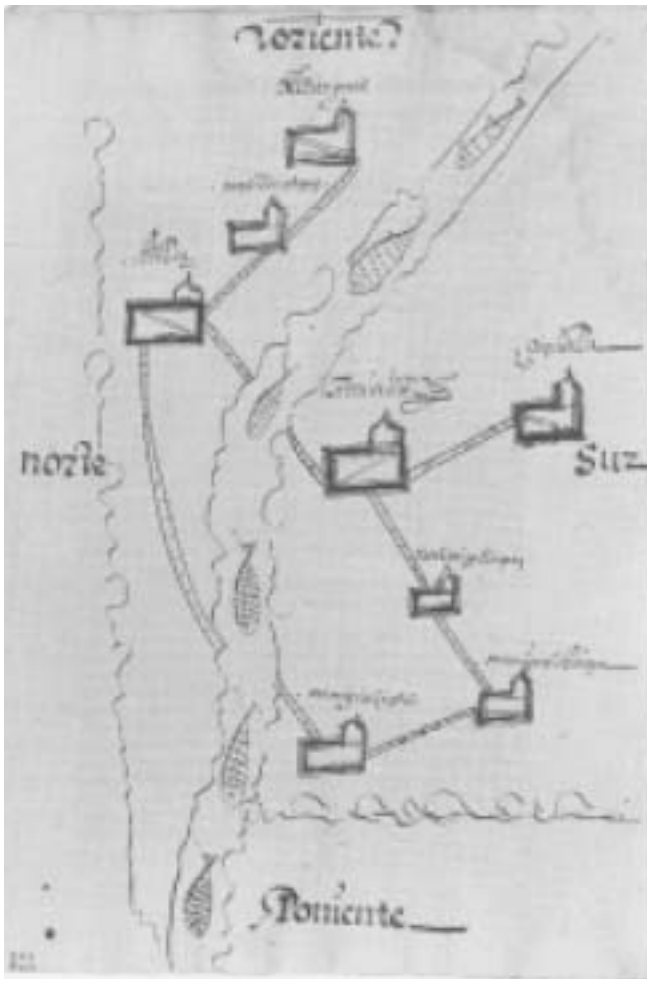


Figura 3. Mapa itinerario de Tecuicuilco preparado en respuesta a las *Relaciones Geográficas*. Los mapas itinerarios eran de uso muy común en Europa y no es por tanto sorprendente que se usara como contestación. Los mapas itinerarios carecen de escala y de proporción, pero dan una imagen de la impresión visual. Se trata en este caso del Río Grande en el actual estado de Oaxaca. Nótese que los peces sugieren la dirección del fluir del río (Colección Latinoamericana Benson, Bibliotecas Generales, Universidad de Tejas, Austin).

El primer intento de Felipe II de cartografiar Nueva España fue enviar, en 1571, a su cosmógrafo jefe, Francisco Domínguez, a medir latitudes y distancias sobre el terreno. Nadie está seguro de lo que hizo, ni de cómo intentaba hacerlo, ya que nunca produjo nada. El siguiente intento de Felipe II recayó sobre Juan López de Velasco, quien iba a intentar cartografiar sin ver ni observar. He aquí la razón del cuestionario. Velasco esperaba obtener de las respuestas la información necesaria para compilar un mapa. Las respuestas le permitirían compilar el atlas definitivo que Felipe II precisaba. La morfología del terreno era el enfoque directo de 14 preguntas y de tres de los mapas pedidos. Los resultados fueron bastante tristes, en términos de Cartografía de Nueva España, pero se obtuvieron algunos trabajos sorprendentes. En los grabados que acompañan a este artículo se muestran algunos ejemplos.

Tal vez sólo uno de los que respondieron a la encuesta compartió la visión de Velasco de la relación entre texto e imagen y de cómo se complementaban entre sí. En este periodo los mapas y las descripciones iban conjuntamente del brazo, se trataba del último nivel de la tecnología, que duró hasta la mitad del siglo XIX.

El ímpetu dado por Felipe II duró hasta la última parte del siglo XVIII, cuando el imperio de España en el Nueva Mundo entró en decadencia.

España continuó financiando expediciones cartográficas a lo largo de la costa Pacifica de América, incluso tan al norte como en Alaska, donde se estableció un puesto avanzado, junto con otras varias naciones europeas. De hecho, fue la presión de los equipos de exploración franceses, ingleses y rusos en los territorios de la frontera (la actual California, Arizona y Nuevo Méjico), lo que incitó a España a enviar la mayoría de sus expediciones de finales del siglo XVIII. Había desaparecido la necesidad de explorar y cartografiar, pero persistía la necesidad política de proteger al imperio.

Aunque gran parte de este artículo trata de la primera etapa de la cartografía (exploración, descripción y trazado de imágenes), parece también adecuado hacer algunos comentarios acerca del lado práctico de la cartografía.

Los métodos empleados en los levantamientos de fincas y propiedades deben haber sido semejantes a los empleados en Europa. Se debieron medir ángulos y direcciones, combinando ambos en un mapa manuscrito. Se hicieron mapas de ciudades, fuertes y de las concesiones de terrenos. Los mapas y los levantamientos topográficos se hacían menos precisos según aumentaba la distancia a la ciudad de Méjico. Por ejem-

plo, en las zonas fronterizas las distancias eran medidas por dos jinetes que a galope mantenían una cuerda entre ellos y se iban sobrepasando sucesivamente.

Pero incluso en las zonas fronterizas existía un cierto procedimiento en los trabajos para las mediciones y para la cartografía. Cada alcalde enviaba la vara de su alcaldía a Méjico, para que se calibrara con una barra que se había colocado en el muro de la catedral. Algunos dicen que dicha barra era de oro, pero no he podido verificar este detalle. Allí se hacían sobre cada vara las marcas de la vara normalizada, y de esta forma se devolvía su vara a cada alcalde. Algunas de estas varas de alcalde se muestran en el museo estatal de California en Monterrey.

CONCLUSIÓN

Los mapas históricos no son documentos aislados realizados para el entretenimiento de los bibliófilos o de los coleccionistas. Cuando caen en nuestras manos hoy en día es después de que vivieran mejores tiempos. Cada mapa serio es el producto de una serie de circunstancias y ejerció una cierta fuerza que moldeó los hechos dentro de su ámbito. Al reconocer la utilidad de aquellos mapas demostramos su importancia como evidencia histórica. Verdaderamente, el Nuevo Mundo de España reflejó la importancia de la descripción y de las imágenes y los mapas reflejaban aspectos que iban desde simples trasferencias de terrenos a mapas de islas y costas, en definitiva la gestión integral de un imperio.

REFERENCIAS

- Aczel, A. D. 2001. *Riddle of the Compass — The invention that changed the world*, pgs 134-135, Harcourt, New York.
- Brown, L. A. 1977. *Story of Maps*, pgs 180-185, Dover, New York.
- Burrus, E. J. 1965. *Kino and the Cartography of Northwestern New Spain*, plate 13, pgs. 1-50, Arizona Pioneer Historical Society, Tucson, Arizona.
- Fireman, J. R. 1977. *Spanish Royal Corps of Engineers in the Western Borderlands—Instrument of Bourbon Reform, 1764 to 1815*, pgs 74-130, Arthur Clark Company, Spokane, WA.
- Mundy, B. E. 1996. *Mapping of New Spain — Indigenous Cartography and the Maps of the Relaciones Geograficas*, pgs 1-60, University of Chicago Press, Chicago.
- Reinhartz, D. Editor. 1998. *Mapping of the Entradas into the Greater Southwest*, capítulos 1 al 4, Oklahoma University Press, Norman.
- Wheat, C.L. 1957. *Mapping the Transmissippi West —1540-1861, Volume 1, Spanish Entrada to the Louisiana Purchase, 1540-1804*, capítulos 2, 5 y 6, Institute of Historical Cartography, San Francisco.

Figura 4. Mapa hecho por Eusebio Francisco Kino, S.J. (1645-1711). Kino fue un ardiente cartógrafo y geógrafo. Éste es el ultimo mapa que de su carrera, que se inicio en 1683 y a lo largo de la cual viajó a través de Nueva España y las tierras fronterizas. Sus viajes y trabajos son únicos, teniendo en cuenta la época en que se hicieron, reduciendo en gran medida los espacios blancos en los mapas. Se ha escogido este mapa en particular porque deshizo el mito de que California era una isla, como figuraba en muchos mapas de las décadas precedentes. Éste es un fragmento de la Plancha XIII y se ha sacado del libro de Kino que se menciona en las referencias.

NOTA BIOGRÁFICA

Roy Minnick es vicepresidente de vías fluviales y líneas límite de la First American Title Insurance Company. Entre sus atribuciones figuran preparar y revisar los mapas y descripciones de terrenos y analizar los problemas de los títulos de propiedad, de las líneas límite y de los levantamientos topográficos relacionados con las primeras actividades de colonización en los Estados Unidos de América, Méjico y otros países. Es muy conocido como profesor universitario y en seminarios, y por su frecuente presencia en reuniones y convenciones. Tiene la titulación de topógrafo en varios estados y es miembro activo de diversas organizaciones profesionales. Es coeditor del *The Surveying Handbook*, y coautor de *Advanced Land Descriptions*, así como autor de *Water Boundaries for Surveyors in California* y de numerosos artículos en revistas profesionales. ■

Estudio de las tuneladoras y de los sistemas de guiado, con aplicación en diversos túneles, y control dimensional de una tuneladora.
(y III) Control Dimensional del Escudo de una Tuneladora

Marc Martí Cardona
INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es un requisito indispensable realizar controles de calidad en cualquier actividad industrial. En la construcción de una tuneladora hay que realizar diferentes controles para certificar el pliego de condiciones del contrato de su construcción.

Desde el punto de vista topográfico, el control de calidad más interesante es el control dimensional del escudo de la tuneladora para la certificación de las magnitudes requeridas. Hay que realizar un riguroso control dimensional para certificar que no hay diferencias dimensionales que pudieran ocasionar, en el futuro, fuerzas de rozamiento, tendencias horizontales o verticales de la tuneladora durante el avance, pérdidas de estanqueidad en la parte posterior del escudo que crearían problemas en el trabajo en niveles freáticos, etc.

Durante mi estancia en la empresa alemana VMT GmbH tuve el placer de intervenir en la medición y el cálculo para el control dimensional del escudo de la tuneladora para el *Sofiatunnel*.

DIMENSIONES A CONTROLAR Y TOLERANCIAS

El escudo de una tuneladora tiene forma cilíndrica. Según el pliego de condiciones, las dimensiones del diámetro de este cilindro deberían ser controladas en 9 planos del mismo y en cada plano hay que medir 24 posiciones, para el control de cada uno de los círculos resultantes del corte entre el plano y el escudo.

Las dimensiones del diámetro del escudo del *Sofiatunnel* deberían ser de 9,775 metros en su parte superior y de 9,785 metros en su parte inferior. El pliego de condiciones permitía un error constructivo de no más de 10 mm en el radio hacia el interior y no más de 5 mm hacia el exterior. En la figura 1 se pueden observar las dimensiones a controlar.

PROCESO DE OBSERVACIÓN

Durante la construcción del escudo éste estaba situado como un vaso en posición vertical, siendo posible de esta manera la colocación de plataformas de centrado forzoso en su circunferencia superior. Para el proceso de observación se utilizaron 24 plataformas. En primer lugar se estacionó una estación total, de un segundo de precisión, en tres de las plataformas, desde las que se observó a todas las demás. A continuación, mediante una plomada nadiral, se midieron las desviaciones en las 9 alturas de los cortes que había que certificar.

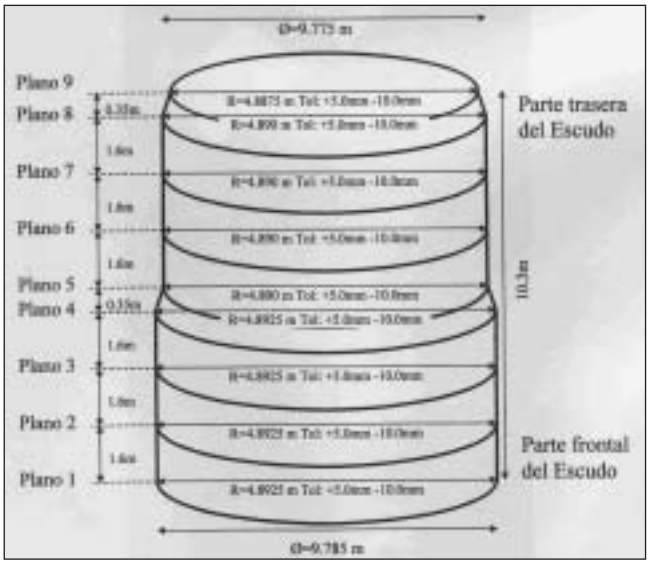


Figura 1. Dimensiones a controlar en el escudo del *Sofiatunnel*

PROCESO DE CÁLCULO

El proceso de cálculo se dividió en tres partes.

En primer lugar se calcularon las coordenadas de las 24 plataformas. Para ello se realizó un ajuste por mínimos cuadrados, utilizando todas las observaciones que se habían obtenido desde las 3 posiciones en las que se estacionó.

Una vez obtenidas las coordenadas de las 24 plataformas se prosiguió con el cálculo del centro que definía esta circunferencia, que a su vez definía un punto del eje de la tuneladora. A continuación se explica el proceso matemático:

La ecuación que define una circunferencia es la siguiente:

$$(X - X_C)^2 + (Y - Y_C)^2 = R^2$$

Desarrollando:

$$X^2 + X_C^2 - 2XX_C + Y^2 + Y_C^2 - 2YY_C - R^2 = 0$$

Al ser una ecuación cuadrática hay que linealizarla. El proceso matemático para poder realizar el ajuste por mínimos cuadráticos es el siguiente:

$$F(X_C, Y_C, R) = F(X_{C0}, Y_{C0}, R_0) + \left[\frac{\partial F}{\partial X_C}\right]_0 dX_C + \left[\frac{\partial F}{\partial Y_C}\right]_0 dY_C + \left[\frac{\partial F}{\partial R}\right]_0 dR$$

Donde:

$$\left[\frac{\partial F}{\partial X_C}\right] = 2X_C - 2X \quad \left[\frac{\partial F}{\partial Y_C}\right] = 2Y_C - 2Y \quad \left[\frac{\partial F}{\partial R}\right] = -2R$$

Sustituyendo:

$$KL_P - V_{LP} = 2\left[(X_C - X)dX_C + (Y_C - Y)dY_C - RdR\right]$$

$$KL_P = L_P - L_0 = 0 - L_0$$

$$AX - L = 0$$

$$A^T AX - A^T L = 0$$

$$X = N^{-1} A^T L$$

Según los cálculos realizados por mínimos cuadrados, se obtuvieron, con unas precisiones excelentes, las siguientes coordenadas del centro:

	Coordenadas	Precisiones
X centro	**–0,0289**	**0,00047**
Y centro	**4,9534**	**0,00047**
Radio	**4,9526**	**0,00033**

Con las coordenadas del centro, las coordenadas de cada una de las plataformas, así como con las lecturas de la plomada nadiral, se calcularon las desviaciones del escudo en cada plano (9) y en cada una de los puntos (24).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos certificaron que el escudo estaba dentro de las tolerancias de construcción permitidas. Se presentaron los 24 cortes longitudinales (en la figura 3 los cortes nº 24 y nº 12) y los 9 cortes transversales resultantes.

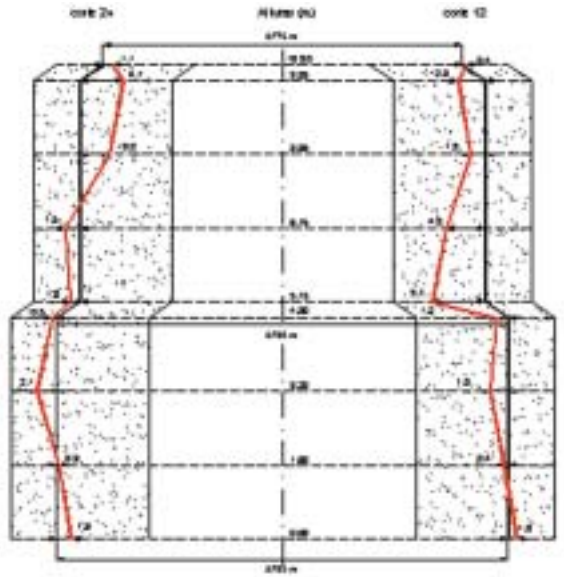


Figura 3. Vista de un corte longitudinal. En negro el escudo teórico y en rojo el escudo real, en sombreado las tolerancias del pliego de condiciones.

En resumen, para la mejora y aumento de la consideración de la Topografía en el ámbito profesional, los Ingenieros Técnicos en Topografía deben estudiar y conocer con profundidad los distintos sistemas de construcción de obra civil y procesos industriales. De este modo pueden ofrecer, junto con sus conocimientos teóricos y las innovaciones tecnológicas en aparatos de medición, la mejor solución técnica y económica tanto en los procesos de replanteo de las obras civiles como en los procesos industriales de controles dimensionales. ■

Novedades Técnicas

ÚLTIMA VERSIÓN DEL SOFTWARE TRIMBLE Survey Controller DISEÑADO PARA EL NUEVO CONTROLADOR ACU

Trimble ha presentado una nueva versión de su software Trimble Survey Controller, diseñado específicamente para su uso con la nueva Atacable Control Unit (ACU).

El software Survey Controller, que funciona con el controlador ACU, combina unas potentes capacidades de recopilación de datos con una interfaz intuitiva en color, gráfica y fácil de usar.

El controlador ACU está diseñado para trabajar con los sistemas de medición Trimble, incluyendo la Estación Total 5600, ofreciendo una interfaz de usuario gráfica e interactiva capaz de funcionar como parte de la estación total o como herramienta autónoma.

Jürgen Kliem, vicepresidente de topografía de la División de Ingeniería y Construcción de Trimble, dijo: *"Con una interfaz en color Windows CE, el controlador ACU ofrece una gran cantidad de emocionantes posibilidades para que podamos desarrollar una versión aun más potente del software Trimble Survey Controller... Esta última versión ofrece a los profesionales de la medición de todo el mundo un paquete completo de computación y recopilación de datos fácil de aprender y manejar. El software incluye una amplia variedad de rutinas, incluyendo imagen lateral, trazado avanzado de carreteras, marcado con estacas, recopilación de atributos, Modelo digital del Terreno y COGO".*

Las principales características y beneficios de la combinación del Trimble Survey Controller con la ACU incluyen:

- Interfaz gráfica. Los gráficos en color mejoran la navegación y aceleran el control y la selección de datos.
- Pantalla táctil. Bastas con presionar la tecla con el incono gráfico correspondiente para conmutar de modo rápidamente.
- Tecnología Bluetooth. El Trimble Survey Controller soporta Bluetooth para una comunicación sin cables entre los dispositivos.
- Control total. Se ocupa del control total de los instrumentos, la calibración y las técnicas de medición para las estaciones totales servo, autolock y robóticas de Trimble. También soporta instrumentos telemétricos de láser.
- Modos flexibles. Permite elegir el modo de interfaz: gráfica o basada en texto. La conmutación entre ambos modos se puede realizar en cualquier momento.
- Idioma. Se encuentra disponible en diez idiomas con sugerencias de ayuda al software.

Para obtener más información, visitar la web de Trimble, **www.trimble.com**, o dirigirse a Trimble Navigation Ibérica S.L., Vía de las Dos Castillas, 33, ATICA Edif.. 6 Despacho B-2, 28224 Pozuelo de Alarcón, Madrid, teléfono 91 351 01 00, fax 91 351 34 43

ESTACIONES METEOROLÓGICAS ULTIMETER

Acaba de ser lanzado al mercado un nuevo producto: la Estación Meteorológica Ultimeter.

Los sistemas meteorológicos Ultimeter incluyen sensores de alta calidad, fabricados con materiales inertes, autolubricantes y con un excelente criterio de durabilidad, precisión y compatibilidad. La calidad en el diseño se percibe desde el primer instante.

El procesador interno y la memoria de que están dotados permiten recoger y conservar todas las características de las variables meteorológicas deseadas.

El sistema Ultimeter está diseñado de tal modo que todos los instrumentos y componentes auxiliares son fácilmente interconectables. Los datos se conservan en la memoria interna de la estación, mostrando los valores deseados en la pantalla retroiluminada o en el cuadro IMAGEN DEL TIEMPO, según la elección del usuario. Dichos datos se pueden examinar en tiempo real o ser tratados posteriormente en un ordenador, disponiendo el sistema de cables, interfaces y programas adecuados, sobre sistema operativo Windows, que permiten obtener pantallas llenas de significado con toda la información meteorológica que se pueda necesitar.

La línea de productos Ultimeter reúne las siguientes características:

- Estaciones completas, diversos modelos con posible seguimiento de hasta 30 funciones meteorológicas

- Fabricación en lexan, material inerte de alta calidad y totalmente resistente a los agentes atmosféricos
- Fácil instalación y adquisición de datos
- Capacidad de crecimiento de la instalación, incorporando nuevos sensores o complementos, todos ellos compatibles
- Calibración en fábrica o por el propio usuario
- Medidas métricas o inglesas, según deseo del usuario
- Posibilidad de tratamiento de los datos con recursos informáticos
- Transmisión de los datos vía radio, teléfono o Internet
- Variedad en la presentación de los datos en tiempo real, mediante cuadros que se pueden conformar según el gusto del usuario
- Conexión universal entre los componentes: estaciones, sensores, etc.
- Costo moderado.

Para obtener más información, dirigirse a GRAFINTA S.A., Avda. Filipinas, 46, 28003 Madrid, teléfono 91 553 72 07, fax 91 533 6282, o visitar la web www.grafinta.com.

TRIMBLE PRESENTA EL SISTEMA DE TOPOGRAFÍA GPS BLUETOOTH

Trimble ha lanzado al mercado su nuevo sistema 5800 GPS RTK Rover con controlador TSCe y módulo BlueCap, el primer receptor GPS con tecnología Bluetooth. Sin cables y con capacidad gráfica, está diseñado para poder trabajar de forma rápida e inteligente, ya que permite incrementar la productividad, optimizar el flujo de trabajo y asumir proyectos.

El nuevo 5800 RTK Rover es un sistema de tamaño reducido, sin cables, que integra un receptor GPS, una antena GPS, una radio UHF, tecnología Bluetooth y batería con el controlador TSCe y el módulo BlueCap, que aporta capacidad GPS sin cables y control remoto del receptor para topografía RTK.

El receptor 5800 ha sido probado en campo en las condiciones más duras, demostrando su resistencia, siendo además muy ligero, con un peso de poco más de 1,2 kg, pudiéndose montar en una varilla. Este receptor ofrece la máxima flexibilidad y es compatible con diversas soluciones de infraestructura, como pueden ser redes de estaciones base en campo, de estaciones de referencia CORS y de estaciones de referencia virtual (VRS).

Jürgen Kliem, vicepresidente de topografía de la División de Ingeniería y Construcción de Trimble, ha dicho que *"nuestro nuevo 5800 RTK Rover con controlador TSCe y BlueCap representa la nueva generación de sistemas de topografía... Se basa en años de experiencia industrial en el desarrollo de soluciones avanzadas que han conllevado incrementos importantes de productividad mediante el uso de nuevas tecnologías. Este nuevo y avanzado sistema de topografía es ligero, incorpora tecnología Bluetooth y una interfaz gráfica Windows CE que facilita su uso, permite el funcionamiento sin cables y permite obtener una productividad óptima".*

El controlador TSCe y el módulo BlueCap permite realizar los trabajos de forma más fácil y rápida. Con el lápiz táctil el usuario puede simplemente tocar el gráfico de la opción que desee seleccionar, de la forma más rápida y sencilla. El controlador TSCe resulta ideal para la visualización, navegación, selección de datos, posicionamiento, replanteos y trabajos de control.

La interactividad dinámica del controlador TSCe permite al usuario recibir más orientación sobre el terreno y obtiene un mayor control sobre los datos con los que está trabajando, ya que puede visualizar todos los datos recopilados o replanteados. Gracias a ello se eliminan las omisiones y otros errores y los levantamientos topográficos resultan más completos y precisos, eliminando la necesidad de llevar un ordenador al campo.

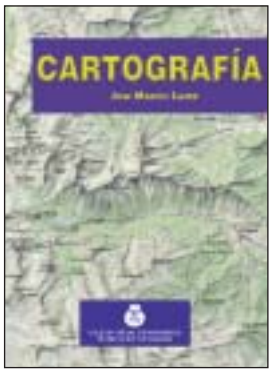
Para obtener más información, visitar la web de Trimble, www.trimble.com, o dirigirse a Trimble Navigation Ibérica S.L., Vía de las Dos Castillas, 33, ATICA Edif. 6 Despacho B-2, 28224 Pozuelo de Alarcón, Madrid, teléfono 91 351 01 00, fax 91 351 34 43

Anuncio

Vendo caja-estuche con 60 planillas para curvas de Clotoide desde radio 30 a 5.000 (son de madera finísima).

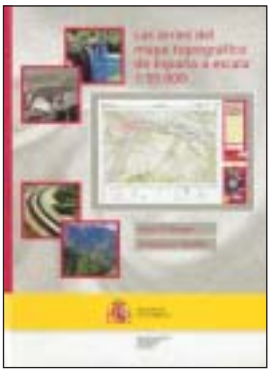
Información: 979 73 09 60 Sr. Fernández

Libros Técnicos



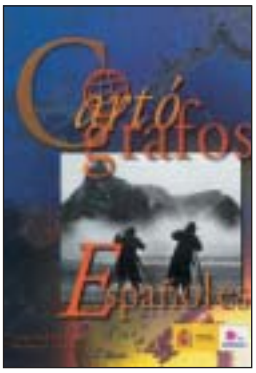
Título: **Cartografía**
Autor: **José Martín López**

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



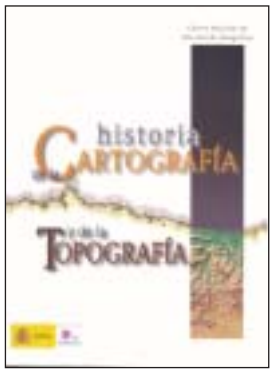
Título: **Las series del mapa topográfico de España a Escala 1:50.000**
Autores: **Luis Urteaga y Francesc Nadal**

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**

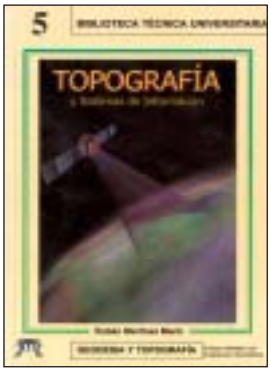
41,60 € Ref. 039

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

43,34 € Ref. 5006

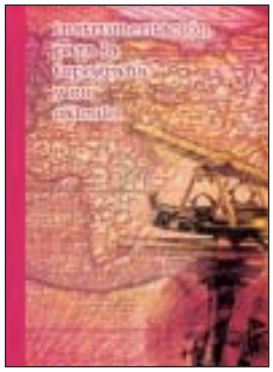
Título: **Redes Topométricas**
Autor: **Juan Pedro Carpio Hernández**

22,83 € Ref. 6008



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

18,10 € Ref.: 6006



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

26,75 € (+CD por 33,70 €)
Ref. 7001

Título: **Problemas de Fotogrametría I**
Autor: **José Lerma García**

10,20 € Ref.: 5001

Título: **Problemas de Fotogrametría II**
Autor: **José Lerma García**

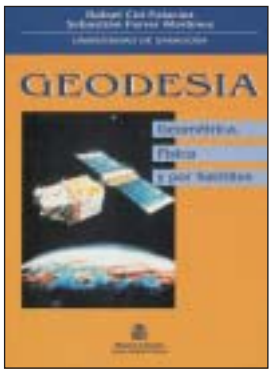
11,72 € Ref.: 5003

Título: **Problemas de Fotogrametría III**
Autor: **José Lerma García**

8,60 € Ref.: 5002

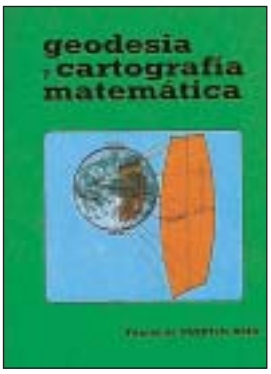
Título: **Aerotriangulación: Cálculo y Compensación de un bloque fotogramétrico**
Autor: **José Lerma García**

18,54 € Ref.: 5004



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

24,10 € Ref.: 030

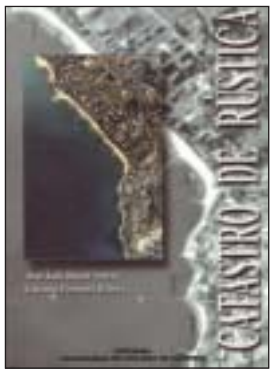


Título: **Geodesia y Cartografía Matemática**
Autor: **Fernando Martín Asín**

32 € Ref. 205

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

18 € Ref.: 6007



Título: **Catastro de Rústica**
Autores: **José Luis Berné Valero y Carmen Femenia Ribera**

25,25 € Ref. 5005

Título: **Topografía subterránea**
Autor: **Ana Tapia Gómez**

12,50 € Ref. 801

Título: **Topografía de obras**
Autor: **Ignacio de Corral Manuel de Villena**

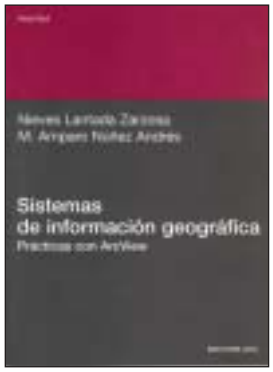
25,00 € Ref. 802

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: **Sistemas de Información Geográfica Prácticas con ArcView**
Autores: **N. Lantada Zarzosa y M. A. Núñez Andrés**

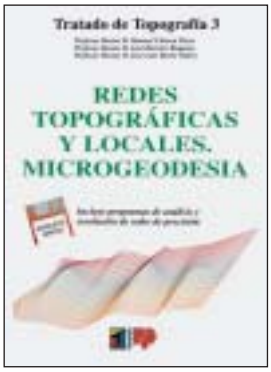
19,00 € Ref. 803

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: **Topografía y Replanteo de Obras de Ingeniería**
Autor: **Antonio Santos Mora**

33,10 € Ref. 301

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

Título: **Aplicaciones Industriales de la Topografía**
Autor: **Antonio Santos Mora**

19,25 € Ref. 305

Boletín de Pedido a la Revista Topografía y Cartografía

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

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total
		Gastos de envío (3 € Europa, para otros países consultar)		

Nombre .....

Dirección ..... Tel. .....

Ciudad ..... Provincia ..... C.P. .....

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

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

Vida Profesional

FESTIVIDAD DE SAN ISIDORO DE SEVILLA

El pasado 26 de abril tuvieron lugar en Madrid los tradicionales actos de celebración 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 del COITT en Madrid.

Los actos comenzaron a las 10:30 horas con la celebración de una Santa 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 a los salones del Hotel Madroño, donde el Decano del COITT, D. Miguel Ángel Muñoz Gracia, dirigió unas palabras a los presentes e hizo entrega de una placa, como homenaje y reconocimiento a sus muchos años de dedicación profesional, a los siguientes Ingenieros Técnicos en Topografía colegiados que se han jubilado en este último año o han alcanzado la edad de 65 años:

D. Andrés Flórez Martínez
D. Julián González de la Puerta
D. Emilio Colombo Sánchez

D. Miguel Ángel Muñoz Gracia, decano del COITT, entregando la placa al colegiado jubilado D. Alfonso C. Sanz Núñez

Entrega del II Premio San Isidoro a uno de sus ganadores, D. David Jiménez Espartero, quien lo recibió acompañado por uno de sus tutores, D. Miguel Ángel Bernabé

D. Francisco Contreras Salido
D. Andrés García Martín
D. Joaquín Doblas Romero
D. esteban Viciana Araez
D. Juan M. Caballero Villar
D. Antonio Ruiz de Quero Ruiz Quero
D. Eduardo Gómez Vidal
D. Leocadio Chornet Salvador
D. Salvador Máñez Modesto
D. Juan Tomás Sánchez
D. Antonio Hernández Martínez
D. Clemente Castet Gómez
D. José Fernández Pérez
D. Juan García Benítez
D. Manuel Conde Ocampo
D. Rafael Álvarez Torres
D. Rafael Ruiz Gijón
D. Francisco Ayora Baena
D. Carlos Venero Sánchez
D. Jorge C. Garrido Úbeda
D. Alfonso C. Sanz Núñez
D. Segundo Álvarez Lamigueiro
D. Rafael Rico Cervilla
D. Antonio Latre Ruiz
D. Jaime G. Gómez Muñoz
D. Javier Lorente Tarda
D. Alfredo Medina Larrea.

Prosiguió el acto con la entrega del II Premio San Isidoro para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica, que organiza la Junta de Gobierno del COITT. Recogieron los premios D. David Jiménez Espartero y D. Javier Moya Honduvilla, ganadores del primer premio, D. Carlos Matamalo Polo y D. Rafael Fibla Guitart, ganadores del segundo, y D. Antonio Javier Raimundo Valdecantos, ganador del tercer premio. También se entregaron placas conmemorativas a los tutores de los Proyectos premiados.

Como conclusión, se sirvió un cóctel a los asistentes, que fue amenizado por nuestro compañero Julio Diéguez García que, con su voz de tenor, interpretó varias piezas del repertorio lírico español, y por la tuna de la EUIT Topográfica de Madrid.

CASA DEL MAPA EN ALICANTE

El pasado 7 de febrero, y continuando con la línea de colaboración existente entre el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y el Instituto Nacional de Estadística (INE), reabrió sus puertas la librería Índice-Casa del Mapa de Alicante, tras una profunda remodelación de sus instalaciones.

Como consecuencia de dicha remodelación y ampliación, la librería, situada en el número 15 de la Avenida Óscar Esplá, además de las instalaciones propias para la venta de las publicaciones y mapas realizados por la Administración Pública, cuenta con una biblioteca y dos puestos informáticos para consulta, los cuales disponen de acceso a las páginas web del CNIG, INE e IGN, así como a las publicaciones electrónicas geográficas y estadísticas de dichos organismos.

Esta actuación se enmarca dentro de la labor de difusión y mejora de los productos geográficos y cartográficos oficiales que viene llevando a cabo el CNIG, y que está acercando a todos los ciudadanos españoles dichos productos.

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

Los ganadores del 2º premio del II Premio San Isidoro, recibiéndolo de manos del Decano del COITT

El pasado 15 de abril, el jurado nombrado por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, organizador del II Premio San Isidoro para Proyectos Fin de Carrera de I. T. Topográfica presentados durante el año 2002, y constituido por D. Miguel Ángel Muñoz Gracia (Decano del COITT), D. Fernando Cruz Argibay (Secretario General del COITT), D. Mario Ruiz Morales (Profesor de la Universidad de Granada), D. Antonio M. Luján Díaz (IGN), D. José Antonio Sánchez Sobrino (IGN), D. Javier González Matesanz (IGN) y D. Carlos Barrueso Gómez (Director de Topografía y Cartografía), decidió por unanimidad conceder los siguientes premios:

Primer Premio, dotado con 1.500 €, para el trabajo titulado *"Atlas de Historia Antigua: Desarrollo de una herramienta docente multimedia, adaptable tanto a soportes de ámbito local (CD/Intranet) como general (Internet)"*, de D. David Jiménez Espartero y D. Javier Moya Honduvilla, siendo los tutores del mismo D. José Juan Arranz Justel, D. Miguel Ángel Bernabé Poveda, Dña. Teresa Iturrioz Aguirre y Dña. Pilar Rivero García, y que fue presentado en la E. U. de I.T. Topográfica de Madrid.

Segundo Premio, dotado con 900 €, para el trabajo titulado *"SIG de las Cuevas y Simas del Parque Natural del Garraf"*, de D. Carlos Matamalo Polo y D. Rafael Fibla Guitart, siendo tutor del mismo Dña. Amparo Núñez Andrés, y que fue presentado en la E.U. Politécnica de Barcelona.

Tercer Premio, dotado con 450 €, para el trabajo titulado *"Estimación del contenido total de electrones ionosféricos (TEC), mediante observaciones GPS bifrecuencia, en el suroeste de Europa"*, de D. Antonio Javier Raimundo Valdecantos, siendo tutor del mismo D. Juan Francisco Prieto Morín, y que fue presentado en la E. U. de I.T. Topográfica de Madrid.

El acto de entrega de los premios a los autores de los proyectos declarados ganadores, 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 26 de abril.

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

El Decano del COITT haciendo entrega del 3º premio del II Premio San Isidoro a su ganador

Hemos visto el futuro ¡y es en color!

ESTACIÓN TOTAL 5600 CON ACU

AL-TOP
TOPOGRAFIA, S.A.
TOPO CENTER

INFÓRMESE

- Esté en contacto
- Altavoz y micrófono
- Pantalla táctil en color
- Alta visivilidad
- Gráficos de fondo
- Soporte para el marcador
- Tecnología Bluetooth integrada
- Teclas específicas para el control del instrumento
- Topografía integrada
- Increíblemente compacto y ligero

Trimble
Distribuidor autorizado

VISITENOS

www.al-top.com

La nueva estación total 5600 de Trimble, con su tecnología única de láser de pulsos DR totalmente seguro a la vista, puede efectuar mediciones sin necesidad de prismas o reflectores con una precisión de 3 mm + 3 ppm, incluso a distancias de hasta 800 metros. Asimismo, puede hacer medidas precisas sobre objetos orientados oblicuamente. Ello hace que en la actualidad el usuario pueda alcanzar objetos inaccesibles tales como las fachadas de edificios o cables en suspensión, sin moverse prácticamente y sin necesidad que otro miembro de su equipo sujete el prisma.

VENTAS - ALQUILERES - SERVICIO TÉCNICO- INSTRUMENTOS DE OCASIÓN - PROGRAMAS TOPOGRÁFICOS - G.P.S. - TOPOGRAFÍA - BATIMETRÍAS.

AL-TOP TOPOGRAFÍA, S.A. 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

Bibliografía

Fotogrametría Analítica
Felipe Buill, M. Amparo Núñez, Juan José Rodríguez
Edicions UPC
Barcelona, 2003
158 págs. 11,54 € (IVA incluido)

Este libró surgió como herramienta para introducir en el proceso de producción cartográfica mediante métodos fotogramétricos a los alumnos de Ingeniería Técnica Topográfica, razón por la que en él se presentan conjuntamente la teoría y práctica del desarrollo fotogramétrico analítico y la obtención de cartografía básica a partir de los resultados.

Dado que, en esencia, se entiende por Fotogrametría el conjunto de técnicas, instrumentales y matemáticas, que permiten obtener coordenadas tridimensionales de un objeto a partir de la información bidimensional extraída de una o varias fotografías, es evidente que en este proceso deben intervenir, de forma fundamental, varios tipos de transformaciones de semejanza; afines, proyectivas, etc., tanto en el plano como en el espacio y entre el plano y el espacio. En la mayoría de los textos de Fotogrametría estas transformaciones se consideran conocidas por el lector, pero sin embargo, al ser consideradas transformaciones pertenecientes a ramas diferentes de la Geometría, para estudiarlas es necesario recurrir a varios textos y, en la mayoría de los casos, con un tratamiento poco adecuado para las aplicaciones.

Por otra parte, todas estas transformaciones dependen de un cierto número de parámetros (ángulos de giro, factores de escala, vectores de traslación, etc.) cuyos valores deberán estimarse, mediante el método de los mínimos cuadrados, a partir de un cierto número de puntos de control de los que conocemos sus coordenadas en ambos sistemas. En general, también ocurre que en los tratados de Fotogrametría este método matemático se supone conocido, no siendo, tampoco en este caso, fácil encontrar un texto que explique el método desde un punto de vista práctico y con un mínimo de detalle matemático.

Con estas tres premisas, surgió la idea de que un estudiante de cualquier ingeniería o licenciatura que incluya la Fotogrametría en su plan de estudios, pueda disponer de un texto en el que se encuentre toda la información, tanto técnica como referente a los métodos matemáticos implicados, necesaria para comprender, estudiar y aplicar los procesos fotogramétricos necesarios para la obtención de cartografía básica.

Para ello, y a fin de que el desarrollo de los diferentes métodos matemáticos implicados no interfiera en el discurso propiamente fotogramétrico, éstos se han incluido en dos apéndices. Uno dedicado a transformaciones geométricas y otro al método de los mínimos cuadrados. La ventaja de que ambos temas estén incluidos en el mismo texto es la unidad de notación y que, por ejemplo, las transformaciones ya se dejan formalmente preparadas para la correspondiente estimación paramétrica, mediante los diferentes métodos de mínimos cuadrados.

La estructuración del texto se desarrolla en torno a un ejemplo práctico, que sirve como hilo conductor para el tratamiento teórico de los conocimientos necesarios. Cada una de las etapas del proceso se resuelven numéricamente. Siempre que es interesante se utilizan diferentes métodos y se comparan las soluciones alcanzadas. El ejemplo desarrollado tiene como objeto conseguir una cartografía a escala 1/1.000 de una zona residencial a partir de fotogramas a escala 1/5.000, mediante el proceso fotogramétrico de restitución numérica digital, con los condicionantes habituales en este tipo de trabajo.

Además de los dos apéndices matemáticos ya comentados, se incluye un glosario de palabras técnicas relacionadas con la Fotogrametría.

Los autores de este libro ejercen la docencia en la Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona, en la titulación de Ingeniería Técnica Topográfica. D. Felipe Buill es Licenciado en Geografía e I.T. en Topografía y Dña. M. Amparo Núñez es I. en Geodesia y Cartografía, siendo ambos profesores del Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). D. Juan José Rodríguez es Doctor en Física y profesor del Departamento de Matemática Aplicada I de la UPC.

Indice Comercial de Firmas

AL-TOP
TOPOGRAFIA, S.A.
TOPO CENTER®
ALQUILER Y VENTA DE INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS
SERVICIO TÉCNICO OFICIAL DE:
Trimble
www.al-top e-mail: al-top@al-top.com
C/ Bofarull, 14, Bajos 08027 BARCELONA
Tel. 93 340 05 73 Fax 93 351 95 18

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.: 93 418 66 02 Fax : 93 487 10 87
Móviles: 629 34 16 26 / 630 02 47 01
E-mail: rodolfo.berge@upcnet.es

BERDALA
INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS Y GEODÉSICOS SERVICIO TÉCNICO
ZEISS
Balmes, 6 08007 BARCELONA
Tel. 93 301 80 49 Fax 93 302 57 89

Trimble
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 Oasis
C/. Gustavo Fernández Balbuena, 11
28002 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

Geo center
CENTRAL 902 19 01 22
ANDALUCÍA 958 45 14 03
LEVANTE 963 58 14 94
GUIPÚZCOA 943 37 61 16
http://www.geocenter.es
ZEISS DISTRIBUIDOR OFICIAL VENTA Y ALQUILER Trimble

Alvaro Molina Topografía-G.P.S.
Alquiler y Servicios Topográficos
Sistemas G.P.S. Trimble
Centimétrico, Decimétrico, Submétrico, Métrico
Tel. 670 248 852 • 670 243 059
e-mail: almolina@infonegocio.com

TOPCON ESPAÑA, S.A.
Instrumentos Topográficos
Frederic Mompou, 5 - Ed. EURO-3
08860 S. JUST DESVERN (Barcelona)
Tel. 93 473 40 57 - Fax 93 473 39 32
Avenida de Burgos, 16 E, 1.°
28036 MADRID
Tel. 91 302 41 29 - Fax 91 383 38 90

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

SANTIAGO & CINTRA
Distribuidor GPS Trimble
Calle José Echegaray, 4 - P.A.E. Casablanca B5
28100 Alcobendas (Madrid)
Tel. 902 12 08 70 - Fax 902 12 08 71
e-mail: info@santiagoecintra.es

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.acresl.com
Leica Geosystems

DATUM
TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA, S.L.
ALQUILER Y VENTA DE GPS
ESTACIONES TOTALES Y ACCESORIOS
Trimble
Cristóbal Bordiú, 35
Tel. 91 535 33 72
Fax 91 535 33 84
28003 Madrid
datum@arrakis.es

LASER RENT
ALQUILER DE APARATOS DE TOPOGRAFÍA Y LÁSER
José Echegaray, 4. P.A.E. Casablanca I B5
28100 Alcobendas (Madrid)
Tel. 902 103 930 • Fax 902 152 569
e-mail: centro@laserrent.es • www.laserrent.es

Y además...

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

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