



Nuestra portada:
*Mapamundi de Psalter (c. 1260),
 con Jerusalén en el centro.*

Vol. XVIII - N.º 106
Septiembre-October
2001

DIRECTOR
Carlos Barrueso Gómez

*

CONSEJO DE REDACCION:

Junta de Gobierno del Colegio
 Oficial de Ingenieros Técnicos
 en Topografía

*

DIRECCION, REDACCION,
 ADMINISTRACION Y
 PUBLICIDAD

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

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

Estudio de la Seguridad y Salud en la Topografía	2
Juan Jiménez García, José Vega Pérez, Antonio Godoy Guerrero, Marcos A. Pérez Delgado y Fernando Toscano Benítez	
El Proyecto RECORD (Radiodifusión Española de Correcciones Diferenciales) del Instituto Geográfico Nacional	9
Javier González Matesanz y Adolfo Dalda Mourón	
Consideraciones Generales sobre el Ajuste de Observaciones Topográficas mediante Mínimos Cuadrados	24
Silverio García Cortés, Benjamín Sánchez Fernández y Eugenio Sáez García	
Nuevas técnicas para la determinación de altitudes	37
Michel Kasser	
El papel de la Topografía en el Nuevo Milenio	42
Robert W. Foster	
El deslinde de términos municipales, pervivencia de un rito de mensuración: Una aproximación al caso de Asturias	46
José Antonio Suárez García y Pelayo González-Pumariiega Solís	
I Premio "San Isidoro" para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica	62
Novedades Técnicas	64
Bibliografía	68
Vida Profesional	72
Índice Comercial	79

Estudio de la Seguridad y Salud en la Topografía

Juan Jiménez García, José Vega Pérez, Antonio Godoy Guerrero, Marcos A. Pérez Delgado y Fernando Toscano Benítez

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Resumen

Los Ingenieros Técnicos Topógrafos desarrollan su profesión en multitud de lugares ocasionalmente peligrosos, lo que implica un riesgo para su salud. Tratamos de relacionar los riesgos para evitarlos o corregirlos.

El estudio inicial de nuestro trabajo indicó que la profesión de Ingeniero Técnico en Topografía carecía de un catálogo de riesgos, aún cuando se desarrollan tareas que ocasionalmente son peligrosas, en lugares como zonas urbanas, rurales, costas, industrias y obras de construcción. Nuestra labor ha sido el estudio de los riesgos habituales, mediante análisis y valoración previos de las condiciones de trabajo. Posteriormente, encuestamos a los topógrafos del ámbito nacional para cuantificar el número de incidentes/accidentes acontecidos. Con ello hemos pretendido elaborar un catálogo aproximativo de sus riesgos laborales, así como poder aplicar el método de investigación a otras profesiones.

Abstract

An Analysis of the Safety and Health Risk in Surveying.

The initial motivation for this research was the fact that no catalogue of risks had ever been drawn up for Surveyors, even although this profession is exposed to potential dangers in rural and coastal areas, as well as in industries and works. Via analysis and evaluation of the working conditions, we have studied the risk normally faced by this profession. We went on to interview topographers in Spain to quantify the number of accidents. On the basis of the results, we have drawn up an approximate catalogue of risks whilst facilitating a methodology which can be applied to other professions.

I. ANTECEDENTES

Por la cercanía de los integrantes del grupo de investigación a los riesgos profesionales y en particular a la profesión de I. T. en Topografía de uno de ellos, se conocía que esta faceta de la Ingeniería ha dado numerosos casos de siniestralidad laboral englobados en sectores específicos, como el de la construcción, o incluso en el primer estadio de su actividad, el docente, donde se contabilizan accidentes con resultado de muerte, alguna muy cercana a nosotros.

Con esta primera premisa, empezó a preocuparnos que determinadas profesiones no contaran con un catálogo de riesgos laborales, aunque sí encontraríamos descritos esos riesgos específicos de la profesión dentro de la clasificación del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Se realizó un sondeo en la revista "Erga Noticias", del mencionado Instituto, de los últimos siete años, para encontrar algún artículo publicado sobre esta profesión, sin resultados positivos.

Se consultó, vía Internet, la página www.insht.es para encontrar algún tema al respecto, no encontrando nada en la fase previa de estudio, aunque posteriormente, ya iniciado el trabajo, encontramos un artículo en la revista "Topografía y Cartografía", que en su número 91, de marzo-abril de 1999, recogía un artículo titulado "Los proyectos de Ingeniería y la Prevención de Riesgos Laborales: los estudios de seguridad y salud", donde el autor recoge aspectos generales de la prevención, aunque en este caso sea insuficiente para catalogar los riesgos de los topógrafos.

Se consultó igualmente la base de datos de la Biblioteca Universitaria y no se encontró ningún volumen ni publicación con el título referente a la seguridad y salud de la Ingeniería Técnica Topográfica, con lo que nos reafirmamos en la necesidad de poder ofrecer a la comunidad científica y a los profesionales de la Topografía un trabajo que recogiera sus riesgos profesionales y la posibilidad de establecer un método de investigación susceptible de poder ser aprovechado para otras profesiones.

A partir de ahí comenzamos a diseñar el proyecto de investigación que aquí presentamos y que, aprovechando la convocatoria de la Fundación

Universitaria de Las Palmas para la tan necesaria financiación de un trabajo tan costoso económicamente por sus gastos, fue presentado y aprobado con el mecenazgo de la Unión Eléctrica de Canarias, a la que desde aquí agradecemos nuevamente su esfuerzo.

2. OBJETIVOS

Tras la valoración y planteamiento inicial de la hipótesis de trabajo, cual era la catalogación de los riesgos inherentes a la profesión de Ingeniero Técnico en Topografía, y examinadas las fuentes legislativas a nuestro alcance, así como los trabajos que se habían realizado anteriormente en relación con el tema, nos propusimos encauzar nuestro proyecto según los siguientes objetivos:

- Elaboración de un catálogo general de riesgos derivados de la actividad laboral de los Ingenieros Técnicos en Topografía, teniendo en cuenta los casos que puedan darse en el universo del territorio nacional, contando con que existen actualmente unos 3.000 profesionales en dicho ámbito geográfico.
- Edición y publicación de un catálogo de medidas preventivas para evitar los riesgos de la profesión.
- Edición de series estadísticas sobre las condiciones de trabajo, factores personales de los profesionales y riesgos a los que están expuestos.

Dichos objetivos se han logrado sólo parcialmente, como se expondrá posteriormente en la fase de conclusiones, a causa, entre otros factores, de la falta de respuesta de los profesionales encuestados, habiendo esperado inicialmente una mayor participación.

3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El método utilizado ha empleado en su elaboración las técnicas más comunes en la investigación sociológica para la recogida de información y datos, como son dos elementos básicos: la entrevista y la encuesta masiva a la población de un universo, que en este caso son los Ingenieros Técnicos en Topografía de todo el territorio nacional.

En cuanto a la identificación de los riesgos, se ha tratado, a partir de los elementos citados, de relacionar los riesgos clasificados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y adaptarlos a los datos recogidos, tratando que los encuestados cuantificaran en sus respuestas el número de incidentes/accidentes que habían acontecido en su vida laboral, dependiendo del lugar donde lo habían sufrido.

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

1. Elaboración de entrevistas individuales en profundidad a Ingenieros Técnicos en Topografía con experiencia demostrada en distintas áreas, con el fin de determinar los riesgos de cada una de las áreas

de ejercicio profesional, lesiones más frecuentes, etc. Las entrevistas se realizaron con el fin de obtener una visión lo más real posible del sector a estudiar. Tuvieron una duración cercana a 1 hora y 30 minutos, realizándose con un guión preestablecido, que permitiera contrastar la información obtenida para cada uno de los entrevistados. Las áreas estudiadas fueron las siguientes:

- Obras Públicas, Obras en Carreteras
- Batimetrías
- Estudio de Proyectos en gabinete
- Obras de Construcción

2. Una vez transcritas las entrevistas e identificados los factores de riesgo, áreas de trabajo, procedimientos de actuación, etc., se decidió por parte del equipo de investigación la elaboración de una nueva entrevista al Sr. D. Gustavo Báez, debido a su gran experiencia en todas las áreas de desarrollo del ejercicio profesional de los Ingenieros Técnicos en Topografía, entrevista de una duración aproximada de 1 hora y 15 minutos y en la que se profundizó en la identificación por parte del entrevistado de los factores de riesgos existentes en cada una de las diferentes zonas de trabajo.
3. Cuestionario previo. Con los datos obtenidos en las entrevistas abiertas se procedió a la elaboración de un cuestionario previo de respuestas abierto, con el objetivo de obtener una mayor información antes de la redacción del cuestionario definitivo. Siguiendo los criterios establecidos a la hora de realizar una evaluación inicial de riesgos, se trató de obtener información sobre tipo de accidentes, gravedad y probabilidad. También qué tipo de EPIS (Equipos de Protección Individual) son los más frecuentemente utilizados por estos profesionales.
4. Una vez elaborado, se procedió a la distribución de este cuestionario a los colegiados adscritos a la Delegación Territorial de Madrid-Castilla-La Mancha del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Se recibieron debidamente cumplimentados 148 cuestionarios (de 200 remitidos; es de destacar la gran participación y grado de aceptación) que fueron tabulados, codificados y de los cuales se extrajeron las variables definitivas a estudiar e incluir en el cuestionario final.
5. Elaboración de cuestionario definitivo. Una vez recopilada, tabulada y codificada toda la información obtenida, se procedió a la realización del cuestionario definitivo, que se distribuyó en todo el territorio español, entre un número de 2.000 I.T. en Topografía colegiados (78,36% del total de colegiados). El cuestionario trataba de obtener:
 - Datos estadísticos sobre riesgos profesionales en las distintas áreas de actividad de los Ingenieros Técnicos en Topografía (Espacios Rurales, Obras de Carretera, Zonas Urbanizadas, Estudios de Proyectos, Obras de Construcción, Edificios, Batimetrías y Topografía Industrial).

- Formación específica en prevención de riesgos laborales. Nivel de formación en relación con la seguridad y salud en su profesión.
 - Organización del trabajo, medios de protección colectiva y medios de protección individual. Cómo repercuten estos factores en el grado de accidentabilidad y la utilización preventiva de medios de protección.
- Tras la recogida de 108 envíos remitidos, hubo que anular uno de ellos, alcanzándose un total de 107 encuestas. Los formularios obtenidos se procesaron mediante lector óptico, para mecanizar los datos informáticamente y así posibilitar el estudio de las variables obtenidas.
 - Los datos obtenidos han permitido cuantificar el número de incidentes/accidentes que, de media, más se producen en los lugares de trabajo que se han tomado como referencia, de tal manera que de este estudio aproximativo se puede deducir cuáles son los lugares de trabajo con mayor riesgo para los topógrafos.

4. RESULTADOS

Las 107 encuestas procesadas han posibilitado valorar de forma aproximada la realidad de la siniestralidad en la profesión de Ingeniero Técnico en Topografía, teniendo en cuenta los lugares de trabajo donde ocurren, los riesgos que se dan en cada uno de ellos y los factores que influyen en sus resultados.

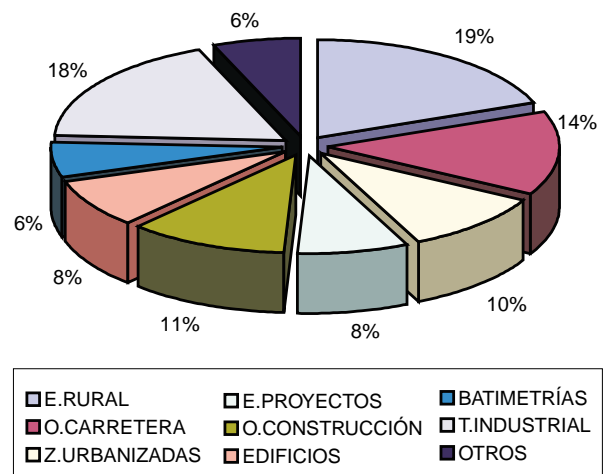
Teniendo en cuenta la ponderación de resultados, pues cada lugar de trabajo podía dar un número distinto de riesgos por los que se contabilizaban los accidentes ocurridos, nos dan los siguientes datos según su significación:

El mayor número de accidentes se dan en los espacios rurales, ya que en este lugar se alcanza el 19% del total de accidentes ocurridos, y la menor se da en las batimetrías (levantamientos topográficos marítimos) con un 6%; la segunda en importancia se sustancia en la Topografía Industrial (topografía en espacios industriales, fábricas, etc.) con el 18% de los casos, quedando un porcentaje residual para otros lugares de trabajo, siguiendo el resto de los datos según el gráfico 1.

El lugar de trabajo donde se producen mayor número de accidentes es el de los espacios rurales, contabilizando un total de 1.482 casos, seguido de la Topografía Industrial con 1.414 y, a continuación, las obras de carretera con 1.372. El menor número de casos se produce en los estudios de proyecto con 140 casos, aunque no se debe perder de vista que este trabajo suele generar mayores problemas de enfermedades a largo plazo, como pérdida de vista, desgaste cervical, etc. El resto de datos sobre el número de accidentes/incidentes podemos observarlo en el gráfico 2.

El grado de siniestralidad de los lugares de trabajo, con respecto a la media, alcanza la mayor cota en zonas rurales, con 0,82, y, en segundo lu-

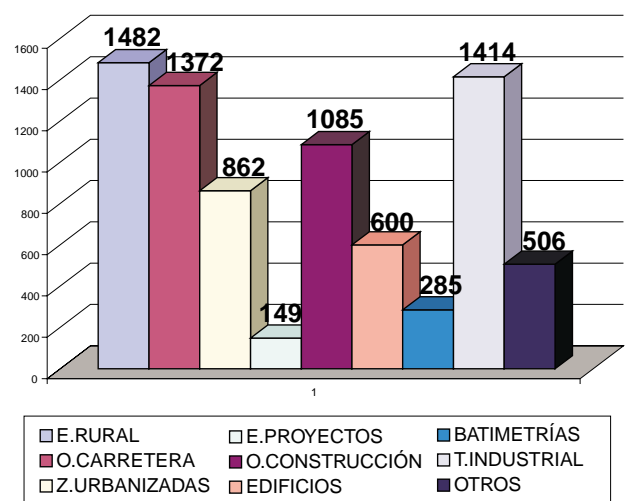
GRÁFICO 1
PORCENTAJE DE ACCIDENTABILIDAD
(POR ÁREAS DE TRABAJO)



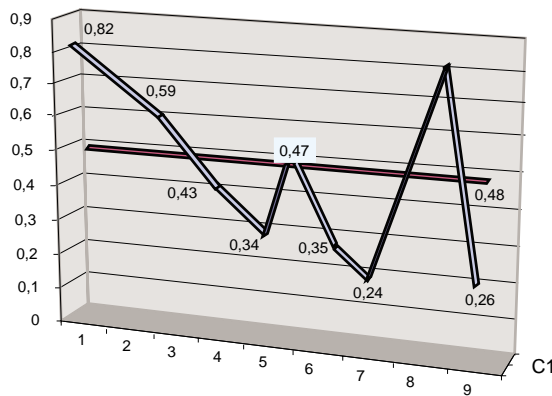
gar, en la Topografía Industrial, llegando hasta 0,78 accidentes por persona que trabaja en esta área, frente a la media para todos los lugares, que es de 0,48. Bajo este indicador, nos podemos encontrar con que el grado menor se da en las batimetrías, con un grado de 0,24 frente a la media. El tercer grado en importancia se sitúa en las obras de carretera, con el 0,59 de valor promedio. Como en el resto de los casos, se detalla más información en el gráfico 3.

Entrando en el tipo de riesgos con que nos podemos encontrar en espacios rurales, que recordemos es la zona de trabajo con mayor accidentabilidad, el mayor número de accidentes/incidentes dados son los debidos a la exposición a temperatura ambiental, con un grado de 2,64 de media ponderada. En segundo lugar, los casos de mayor índice son los debidos a caída a distinto nivel, con un valor de 1,61, y el riesgo con

GRÁFICO 2
NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES (POR ÁREAS DE TRABAJO)



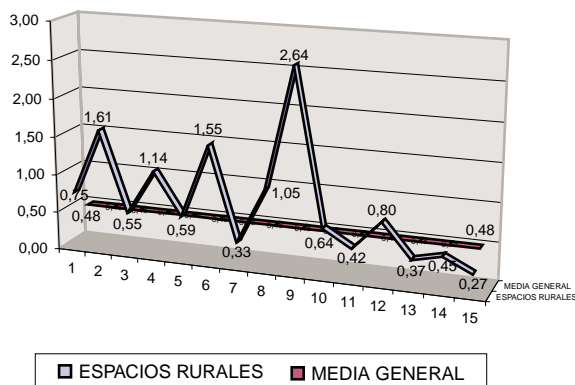
GRÁFICA 3
GRADO DE ACCIDENTABILIDAD POR ÁREAS DE TRABAJO CON RESPECTO A LA MEDIA



1	Espacios Rurales	9	Exposición Temp. Ambiental
2	O. Carreteras	10	Exposición a contactos eléctricos
3	Z. Urbanizadas	11	Exposición a sustancias nocivas
4	E. Proyectos	12	Accidentes por seres vivos
5	O Construcción		

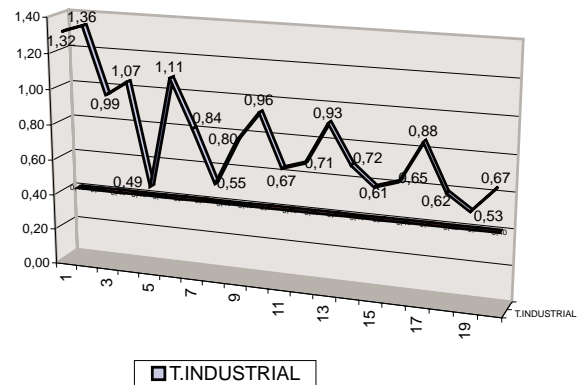
menor grado es el de enfermedades sistémicas, con un 0,27 de los casos detectados. La ilustración del resto de riesgos con que nos podemos encontrar en espacios rurales se encuentra en el gráfico 4.

GRÁFICA 4
MEDIA DE ACCIDENTES DEL ÁREA DE ESPACIOS RURALES CON RESPECTO A LA MEDIA GENERAL



1	Caídas distinto nivel	9	Exposición Temp. Ambiental
2	Caídas la mismo nivel	12	Contactos térmicos
3	Caída de objeto por manipulación	13	Exposición a contactos eléctricos
4	Pisadas sobre objetos	14	Exposición a sustancias nocivas
5	Choque contra obj. Inmóviles	15	Exposición a radiaciones
6	Choque contra obj. Móviles	16	Explosiones e incendios
7	Golpes por objetos o herramientas	17	Atropello por vehículo
8	Proyección de fragmentos	18	Enf. Por agentes físicos y químicos
9	Atrapamiento por objetos	19	Enf. Infecciosa o parasitaria
10	Sobreesfuerzos	20	Enf. Sistematicas

GRÁFICA 5
MEDIA DE ACCIDENTES DEL ÁREA DE TOPOGRAFÍA INDUSTRIAL CON RESPECTO A LA MEDIA GENERAL

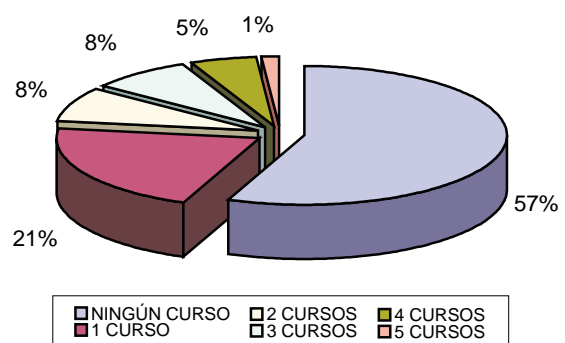


1	Caídas distinto nivel	9	Exposición Temp. Ambiental
2	Caídas la mismo nivel	10	Exposición a contactos eléctricos
3	Caída de objeto por desplome	11	Exposición a sustancias nocivas
4	Choque contra obj. Inmóviles	12	Accidentes por seres vivos
5	Choque contra obj. Móviles	13	Atropellos por vehículos
6	Golpes por objetos o herramientas	14	Enf. Infecciosa o parasitaria
7	Atrapamiento por vuelco vehículos	15	Enf. sistémicas
8	Sobreesfuerzos		

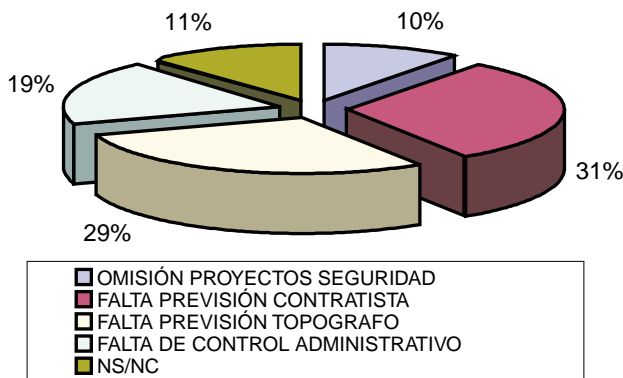
Si siguiendo la misma línea comparativa entre lugares de trabajo y, en concreto, la Topografía Industrial y el tipo de riesgo más repetido, podemos encontrar que el riesgo mayor es el de caídas al mismo nivel, con el 1,36 de los casos, frente al menor riesgo que supone el de choque con objetos inmóviles. En el gráfico 5 se muestra el resto de valores para los diferentes riesgos detectados.

Tratando de encontrar factores que ayuden a entender el número de accidentes que se dan en la profesión, apuntamos al nivel de formación específica en materia de prevención de riesgos laborales como uno de ellos, de tal manera que se dan los siguientes valores: porcentaje de personas que no han recibido ninguna formación, 57%; como menor valor,

GRÁFICA 6
NIVEL DE FORMACIÓN EN MATERIA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



GRÁFICA 7
CAUSA DE LA NO UTILIZACIÓN DE EPI'S Y EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA



el de las que han recibido 5 cursos de formación, que asciende al 1 %; los profesionales que han recibido 2 ó 3 cursos de formación ascienden al 16 % del total encuestado, representándose estas cifras en el gráfico 6.

Otro de los determinantes con que nos encontramos es el nivel de organización preventiva, de forma propia (por el topógrafo) o de forma ajena (por la empresa para la que trabaja, organismo público competente, etc.). En este sentido, hay que indicar que, según las respuestas obtenidas, la falta de empleo de medidas de protección colectiva o individual por la ausencia de previsión del contratista, provoca en un 31 % los accidentes, a los que le sigue la falta de previsión del propio topógrafo en un 29 %, siendo el factor menos destacado la falta de medidas preventivas en los proyectos de seguridad de las obras, lo que se puede apreciar en el gráfico 7.

5. CONCLUSIONES Y SU APROVECHAMIENTO

De los datos que hemos ofrecido hasta el momento, se constata que la mitad de los Ingenieros Técnicos en Topografía han sufrido en algún momento de su carrera profesional algún accidente de trabajo, lo que justifica la realización del estudio.

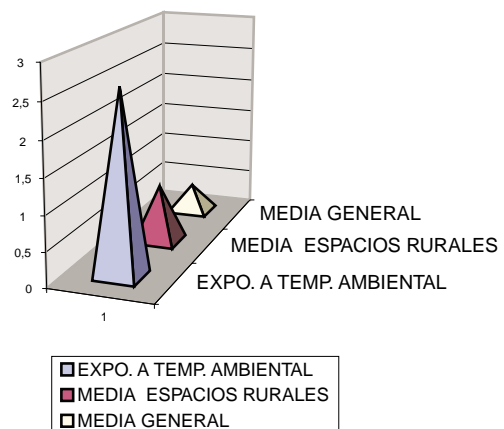
Los datos demográficos de la encuesta muestran que, para un universo de 3.034 colegiados aproximadamente, se han emitido 2.000 encuestas, de las que 107 se han procesado de forma válida, y que para este número han acontecido 7.755 accidentes/incidentes en términos absolutos, lo que revela la siniestralidad que existe. Si valoramos estos datos de forma relativa, obtenemos que el número de accidentes es de 0,48 por persona, aproximándose a los 0,68 accidentes que medíamos en las encuestas cualitativas realizadas en Madrid-Castilla-La Mancha.

En cuanto a los lugares de trabajo con mayor riesgo, se da en las zonas rurales, las obras de carreteras y la Topografía Industrial, por este orden, lo que debe servir a los profesionales de la topografía para prevenir el riesgo en estos lugares.

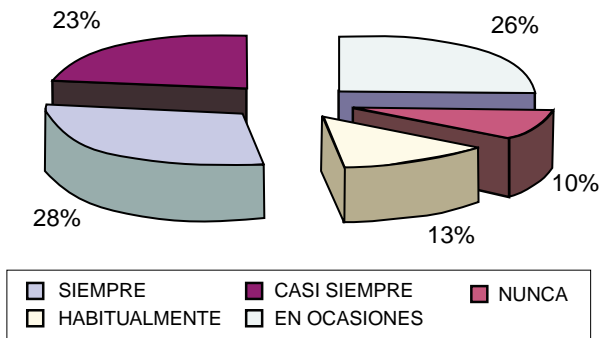
Por otra parte, los riesgos más comunes son los debidos a exposición extrema a agentes ambientales, como el sol, la lluvia, las heladas, la nieve, etc., que pueden afectar a la salud del topógrafo, produciendo un desgaste físico e incluso lesiones en la vista, la piel y otros órganos, que merman sus capacidades sensoriales, tan necesarias para evitar otros riesgos. También se requiere la prevención basada en la previa información meteorológica y es importante el uso de prendas de protección. Otro riesgo es la caída a distinto nivel (caída desde una altura), que puede producir lesiones graves. En este caso, se deben extremar las medidas en cuanto a la organización del trabajo, al elegir los sitios menos peligrosos, evitarlos o reducirlos, ya que en los espacios rurales es más difícil asegurar con medidas de protección colectiva e individual, aunque no se debe renunciar; si fuera necesario, ante la imposibilidad del uso de medidas colectivas. Otro dato revelador es la ausencia de formación básica necesaria para prevenir los riesgos propios y, mucho menos, especializada, según se desprende de los datos. Por otra parte, se resalta la falta de medidas de prevención por los contratistas, tanto organizativas como de medios y de planificación. En este caso se precisa que los técnicos emprendan una vía formativa específica para su profesión en general y, en particular, para los riesgos del lugar de trabajo donde desarrollen la actividad. Se requiere que las asociaciones profesionales (el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía) y las entidades formativas organicen las actividades que se requieran y que se eleve la exigencia de estándares de calidad en el desarrollo de las tareas.

Por último, en cuanto al método de recogida de datos de la encuesta definitiva, precisar que para cada caso de la profesión en concreto y para el ámbito en el que se desarrolla la misma, deben ajustarse cómo recoger las encuestas, ya que en este caso, a pesar de que se llevó a cabo un envío masivo por correo de ellas, éstas no han tenido el resultado esperado, al recibirse un número reducido, conforme a las previsiones iniciales, lo que no le da sino un valor aproximativo al proyecto.

GRÁFICA 8 (I)
EXPOSICIÓN A TEMPERATURA AMBIENTAL (CON RELACIÓN A MEDIA GENERAL Y MEDIA DEL ÁREA DE ESPACIOS RURALES)



GRÁFICA 8 (II)
CONSULTA PARTES METEOROLÓGICOS CUANDO VAN A REALIZAR TRABAJOS EXPUESTOS A CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES



En todo caso, ofrecemos como aportación a todos los profesionales los datos del estudio, con el ánimo de que contribuya a reducir la siniestralidad laboral en esta profesión y que se abran nuevos campos de estudio en la materia, para poder concretar y poner en marcha las acciones oportunas para contribuir a ello.

6. BIBLIOGRAFÍA

- PADUA: *Técnicas de Investigación Social aplicada a las Ciencias Sociales*. México F.C.E. 1979
- RUIZ RODRÍGUEZ, IGNACIO (coord.): *Curso de Prevención de Riesgos Laborales: España en el Marco de la Unión Europea*. Ed. Dykinson. Madrid 1999.
- VVAA.: *El análisis de la realidad Social*. Alianza Editorial. Madrid 1986
- BUGEDA: *Manual de Técnicas de Investigación Social*. Instituto de Estudios Políticos. Madrid 1974
- ORTI, ALFONSO: *La apertura y el enfoque cualitativo o estructural: La entrevista abierta*. Alianza Editorial. Madrid 1987.
- VVAA.: *La encuesta y otros métodos de investigación social*.
- ASEPEYO: *Prontuario sobre la ley de prevención de riesgos laborales*. Ed. Dirección Seguridad e Higiene.. Barcelona. 1996.
- IBERMUTUAMUR: *Guía para la implantación de un sistema de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales*. Madrid 1998.
- INSH: *Evaluación de riesgos laborales. Documentos divulgativos* Ed. Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo
- DIEZ FERNÁNDEZ, Francisco J. *Evaluación de riesgos laborales organización y recursos de las actividades preventivas*. Información Laboral, número 13. Madrid, 1997
- Volumen XVII, número 90 de la Revista TOPCART, número de Enero - Febrero de 1999, Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Topógrafos) Artículo "prevención de riesgos en la Topografía".

Normativa, general y específica, en materia de prevención de riesgos laborales:

- Recomendaciones Organización Internacional del Trabajo, sobre seguridad y salud
- Ley 31/1995, de 8 Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales
- Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención
- Extracto sistematizado del Reglamento de los servicios de prevención.
- Reglamentos de desarrollo de la L.P.R.L.
- Señalización (R.D. 485/97)
- Lugares de Trabajo (R.D. 486/97)
- Manipulación manual de cargas (R.D. 487/97)
- Pantallas de visualización de datos (RD488/97)
- Agentes biológicos (RD 664/97)
- Agentes cancerígenos (RD 665/97)
- Equipos de protección individual (RD 773/97)
- Equipos de Trabajo (RD 1215/97)
- Buques de pesca (RD 1216/97)
- Actividades mineras (RD 1389/97)
- Obras de construcción (RD 1627/97)
- Radiaciones ionizantes (413/97)
- Ley Ordenación de la inspección de trabajo (Ley 42/97 de 14 de noviembre)
- Desarrollo normativo actualizado de las directivas comunitarias de salud laboral en España. ■

El proyecto RECORD (Radiodifusión Española de Correcciones Diferenciales) del Instituto Geográfico Nacional

Javier González Matesanz y Adolfo Dalda Mourón
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Resumen

El sistema de navegación GPS ha tenido una rápida implantación y desarrollo en los últimos años y es, por tanto, bien conocido. Así mismo lo es la técnica diferencial DGPS, que ha tenido una gran incidencia en su difusión. Se trata en este artículo de profundizar en esta técnica y, de manera muy especial, en el modo de difundir las correcciones diferenciales. Se presenta el proyecto RECORD, su presente y futuro como servicio público de libre acceso que permite al usuario utilizarlo de forma sencilla y barata, proporcionándole una libertad de acción importante en cuanto le libera de organizar sus estaciones de referencia y montar un sistema de transmisión de correcciones propio. Se detalla el modo de acometer la seguridad de funcionamiento, continuidad del servicio, fiabilidad, integridad, control de la bondad de los datos y su monitorización, así como su conexión con el proyecto REFINE para el establecimiento de una red de estaciones permanentes GPS por parte igualmente del IGN. Se trata también la conveniencia y justificación de utilizar el DGPS en muchas aplicaciones que necesitan mejorar su precisión de navegación, aún en la situación actual, después del anuncio de quitar la disponibilidad selectiva (SA), realizado de hecho en la madrugada del día 2 de mayo de 2000, cuando entre el gran público surge la idea de que esta técnica ha perdido su razón de ser. Finalmente, se presentan las mejoras en el futuro inmediato, incluso la posibilidad de llegar a metas más ambiciosas en cuanto a precisión, de la mano de la radio digital (DAB), cuya implantación en España es inmediata.

I. NECESIDAD DE CORRECCIÓN DIFERENCIAL

Las posiciones obtenidas con un equipo GPS en modo autónomo están sometidas a diversas causas de error: troposfera ionosfera, efemérides radiodifundidas, multitraectoria, ruido del receptor y, antes del 1 de mayo del 2000, la disponibilidad selectiva. Además, desde la declaración del sistema como operativo hasta el 1 de mayo de 2000 estaba activada la disponibilidad selectiva, por la que se introducían perturbaciones de forma intencionada para degradar la precisión del sistema; en el futuro parece previsible que sólo circunstancialmente se active para alguna región y por un período determinados. Algunos de estos factores son responsabilidad del lugar donde esté situada la antena móvil. Existen muchas estimaciones sobre cómo afecta cada uno de los factores anteriores en el posicionamiento; una estimación de causas de error para los observables C/A y P [10] puede verse en el ejemplo presentado en las tres tablas adjuntas.

De estas tablas conviene destacar dos cosas: en primer lugar, los valores se refieren a 1-sigma de probabilidad¹ y, en segundo lugar, son estimativos, dependiendo de muchos factores particulares. Sirven para ver que, aun con la disponibilidad selectiva eliminada, un sistema diferencial tiene

¹ Un GPS corregido diferencialmente con RASANT, con SA desactivada al que temporalmente se le desconecta de la radio que le proporciona las correcciones.

Modelo de error estándar L1 código C/A con SA 1-sigma y unidades metros				
FUENTE DE ERROR	Sesgo	Aleatorio	Total	con DGPS
Ephemeris data	2,1	0,0	2,1	0,0
Satellite clock (dither)	20,0	0,7	20,0	0,0
Ionosphere	4,0	0,5	4,0	0,4
Troposphere	0,5	0,5	0,7	0,2
Multipath	1,0	1,0	1,4	1,4
Receiver measurement	0,5	0,2	0,5	0,5
UERE	20,5	1,4	20,6	1,6
Error vertical (1 sigma) VDOP=2.5			51,4	3,9
Error horizontal (1 sigma) HDOP=2.0			41,1	3,1

Modelo de error estándar L1 código C/A sin SA 1-sigma y unidades metros				
FUENTE DE ERROR	Sesgo	Aleatorio	Total	con DGPS
Ephemeris data	2,1	0,0	2,1	0,0
Satellite clock (dither)	2,0	0,7	2,1	0,0
Ionosphere	4,0	0,5	4,0	0,4
Troposphere	0,5	0,5	0,7	0,2
Multipath	1,0	1,0	1,4	1,4
Receiver measurement	0,5	0,2	0,5	0,5
UERE	5,1	1,4	5,3	1,6
Error vertical (1 sigma) VDOP=2.5			12,8	3,9
Error horizontal (1 sigma) HDOP=2.0			3,1	3,1

Modelo de error estándar L1/L2 código P 1-sigma y unidades metros				
FUENTE DE ERROR	Sesgo	Aleatorio	Total	con DGPS
Ephemeris data	2,1	0,0	2,1	0,0
Satellite clock (dither)	2,0	0,7	2,1	0,0
Ionosphere	4,0	0,5	1,2	0,1
Troposphere	0,5	0,5	0,7	0,1
Multipath	1,0	1,0	1,4	1,4
Receiver measurement	0,5	0,2	0,5	0,5
UERE	5,1	1,4	5,3	1,6
Error vertical (1 sigma) VDOP=2.5			8,3	3,7
Error horizontal (1 sigma) HDOP=2.0			6,6	3,0

aún tanto más sentido cuanto más bajo sea el coste de establecer el servicio y mejor sea la calidad de las correcciones.

La transmisión de correcciones diferenciales GPS en formato RTCM es algo común desde hace tiempo y son muchas las formas de hacerlo: emisor local particular en UHF, radiofaro, emisión en FM, etc. Son también bastantes las empresas privadas que ofrecen servicios DGPS de calidad, empleando o no técnicas diferenciales de área amplia (WADGPS): Acqpoint, DCI, Racal, Omnistar, etc. La idea de servicio público implica que la mayoría de los elementos que constituyen el sistema estén soportados por entidades no privadas; en nuestro caso Radio Nacional de España y la propia Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Este tipo de simbiosis permite el acceso a la comunidad de usuarios GPS de correcciones diferenciales con un coste mínimo.

2. HISTORIA DEL SISTEMA RASANT

La idea de transmitir correcciones diferenciales vía emisoras de FM(RDS) comerciales surge de una conferencia entre el Landesvermessungsamt NRW (Nordrhein Westfalen) y la WDR (West Deutsche Rundfunk) en 1989 [11]. Dicha conferencia estaba destinada a georreferenciar las

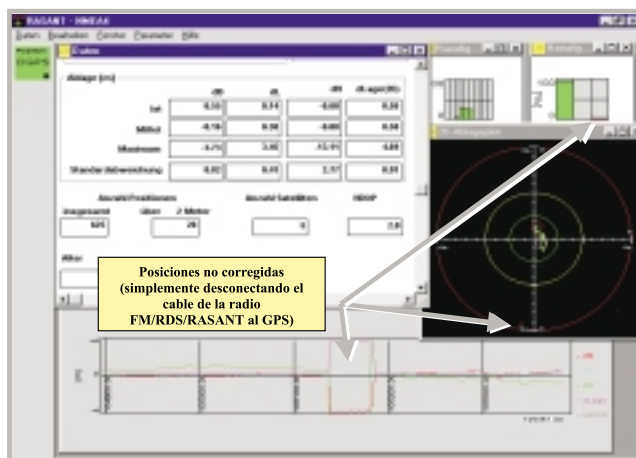


Figura 1. Un GPS corregido diferencialmente con RASANT, con SA desactivada, al que temporalmente se le desconecta de la radio que le proporciona las correcciones.

medidas de intensidad de campo, la fuerza de la señal de radio, en las áreas de transmisión de esta emisora. En las primeras pruebas el LvermA proporcionaría la estación de referencia y la WDR el transporte de datos. En agosto de 1990 se llevó a cabo el primer test de campo, mediante una estación GPS situada en la emisora de Bonn-Venusberg. En octubre de 1992 se situó la estación de referencia en Nordhelle para finalmente en mayo de 1993 en Langenberg. En abril de 1995 el 100% del NRW estaba cubierto con RASANT. En la actualidad más de 11 cadenas proporcionan RASANT en Alemania.

En 1995 el ICC comenzó a transmitir correcciones diferenciales a través de Cataluña Música, iniciándose su operatividad a mediados de 1996. El IGN comenzó a transmitir en pruebas, a través de Radio Nacional de España, en junio de 1997, estando operativo el sistema para pruebas a finales de dicho año. Actualmente, el sistema está cubriendo la totalidad del territorio español, siendo progresivamente monitorizado en los puntos de generación y remotos.

3. RTCM

El estándar en transmisión de correcciones diferenciales de código y fase de más extenso uso es el RTCM SC104 (Radio Technical Comision for Maritime Services Special Commitee 104) y proporciona recomendaciones, en las áreas del mensaje, de la corrección diferencial y su formato.

NÚMERO DE MENSAJE	ESTADO ACTUAL	TÍTULO
1	Fixed	Differential GPS Corrections
2	Fixed	Delta Differential GPS Corrections
3	Fixed	Reference Station Parameters
4	Retired	Surveying
5	Fixed	Constellation Health
6	Fixed	Null Frame
7	Fixed	Beacon Almanacs
8	Tentative	Pseudolite Almanacs
9	Fixed	Partial Satellite Set Differential Corrections
10	Reserved	P-Code Differential Corrections (all)
11	Reserved	C/A-Code L1, L2 Delta Corrections
12	Reserved	Pseudolite Station Parameters
13	Tentative	Ground Transmitter Parameters
14	Reserved	Surveying Auxiliary Message
15	Reserved	Ionosphere (Troposphere) Message
16	Fixed	Special Message
17	Tentative	Ephemeris Almanac
18	Tentative	Uncorrected Carrier Phase Measurements
19	Tentative	Uncorrected Pseudorange Measurements
20	Tentative	RTK Carrier Phase Corrections
21	Tentative	RTK Pseudorange Corrections
22-58	Undefined	
59	Tentative	Proprietary Message
60-63	Reserved	Multipurpose Usage

De todos los mensajes de las recomendaciones RTCM algunos han sido ya fijados, es decir, que no cambiarán, y otros no. Aun así, es posible definir nuevos mensajes si fuera necesario. Actualmente se emiten mensajes tipo 1, 2, 3 y 16. El software encargado de transformar la RTCM en RASANT se denomina RASREF y más adelante explicaremos su funcionamiento.

El mensaje tipo 1 contiene la propia corrección diferencial para cada una de las pseudodistancias, PRC (Pseudo Range Correction) y la variación de ésta, es decir, su velocidad o RRC (Rate of Range Correction). Para un determinado instante t la corrección a las pseudodistancias observadas en el equipo GPS móvil serán $PRC(t)=PRC(t_0)+RRC*[t-t_0]$, la variable tiempo viene dado en forma de cuenta Z. Una pseudodistancia corregida será entonces $PR(t)=PRM(t)+PRC(t)$. En el mensaje tipo 1 se envían las correcciones de los satélites a la vista de que cumplan las condiciones impuestas en la estación de referencia: Señal/Ruido, máscara de elevación, salud, umbral de PRC, etc.

La velocidad de la corrección se diseñó para compensar posibles pérdidas de señal en la transmisión de las correcciones, de tal forma que permitan ser utilizadas de forma extrapolada. Actualmente, sin la SA el valor de RRC es casi cero.

El IOD (Issue of Data) es incluido en el mensaje tipo 1, de tal manera que "marque" las correcciones con las efemérides con que han sido calculadas. De esta forma, el equipo móvil puede asegurar que calcula posiciones con el mismo conjunto de efemérides. Si no coinciden los IOD el equipo móvil debe adquirir otro mensaje de navegación o bien utili-

zar un mensaje tipo 2. Este mensaje tipo 2 ha sido diseñado para el caso en que los equipos móviles no decodifican inmediatamente las efemérides y hay un lapso de tiempo en el que los dos equipos podrían estar utilizando efemérides distintas en su cálculo de posición. Tras producirse un cambio de efemérides, se emite un mensaje tipo 2 junto con un tipo 1 y se continúa emitiendo el tipo 2 durante unos minutos. El mensaje tipo 2 es denominado Delta PRC y Delta RRC siendo: $\Delta PRC = PRC(\text{antigua IOD}) - PRC(\text{nueva IOD})$ y $\Delta RRC = RRC(\text{antigua IOD}) - RRC(\text{nueva IOD})$.

El mensaje tipo 3 contiene simplemente las coordenadas de la estación de referencia en el sistema cartesiano geocéntrico mundial, datum WGS84. El posible uso de este mensaje es dar a conocer al equipo la posición la referencia, por ejemplo para calcular la distancia. Otro mensaje de información es el tipo 16, que contiene un campo ASCII de 90 caracteres y generalmente es usado para advertir a los equipos móviles de anomalías en el funcionamiento de la estación.

4. TRANSMISIÓN DE CORRECCIONES DIFERENCIALES

La transmisión de correcciones diferenciales de código se puede realizar a través de distintos medios, como GSM, UHF, FM, etc., siempre que el tiempo de latencia entre la generación en el receptor base y la aplicación en el móvil sea pequeña, menor de 10 segundos (SA activada), pues la calidad de la corrección depende de la edad de ésta. Un proyecto que aborde la cobertura total de un territorio se puede iniciar bien instalando emisores y repetidores de correcciones, o bien aprovechándose de una red con infraestructura ya montada. Una red de cobertura nacional con excelente calidad de señal es, sin duda, Radio Nacional de España. Nuevamente se abren dos posibilidades para iniciar la transmisión; desplazar la portadora de la emisión de audio o integrar una subportadora dentro de la portadora principal.

El RDS (Radio Data System [2]) consiste en una subportadora no audible (tercer armónico del tono de 19kHz para programas estereofónicos o 57kHz en programas monoaurales) modulada sobre la portadora de audio convencional en FM (87,5-108 Mhz). En la especificación actual se contemplan los siguientes servicios:

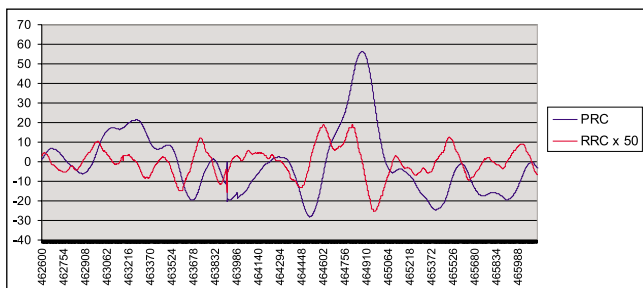


Figura 2. PRC y RRC (multiplicado por 50) de un satélite con SA activada.

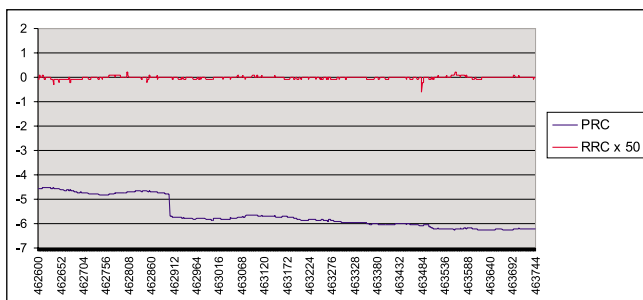


Figura 3. PRC y RRC (multiplicado por 50) ahora con SA eliminada.

AF	Alternative frequencies list	PIN	Program Item Number
CT	Clock time and date	PS	Program Service name
DI	Decoder identification and dynamic PTY indicator (PTYI)	PTY	Program Type
ECC	Extended Country Code	PTYN	Programme Type Name
EON	Enhanced Other Networks	RP	Radio Paging
EWS	Emergency Warning System	RT	Radio Text
IH	In House applications	TA	Traffic Announcement
MS	Music Speech switch	TDC	Transparent Data Channel
ODA	Open Data Applications	TMC	Traffic Message Channel
PI	Program Identification	TP	Traffic Programme identification

La información de los servicios anteriores se divide en grupos, del 0 al 15, desdoblándose algunos en A y B. De esta forma, el TMC se transmite por los grupos tipo 8, la fecha y hora por el 4A, el radio-texto por el 2, etc. En nuestro caso, son útiles los grupos que permitan transportar datos de forma transparente [TDC u ODA (Open Data Application)]; los grupos utilizados por RASANT son el 5A y el 11A.

A cada grupo se le dota de una velocidad, por ejemplo 1,5 grupos RDS por segundo, equivalentes a 55 bps (contando con 37 bits por grupo). Si la carga total que puede transportar esta portadora es de unos 420 bps y requerimos, según la norma RTCM, unos 530 bits para enviar la información de 7 satélites, con la velocidad de grupo anterior nos implicaría utilizar 10 segundos (530 bits /55 bps) en mandar esta información. 10 segundos es un tiempo excesivo y, por si fuera poco, vulnerable, dado que si perdemos o se degrada la información en este tiempo, perderíamos todo el paquete de los 10 satélites.

Es posible, utilizando el método de compresión RASANT [11], obtener edades de corrección de unos 3,5 segundos y precisiones entre 1 y 5 metros, siempre dependiendo de la calidad del receptor GPS.

Concentrémonos un poco más en la técnica de compresión. Un mensaje RTCM tipo 1 de 9 satélites ocupa unos 680 bits y un grupo RDS ocupa 37 bits. Necesitamos 19 grupos para transmitir todo este mensaje; podemos decir entonces que los requerimientos de transmisión de un tipo 1 pueden considerarse entre 13 y 19 grupos RDS. El programa de compresión a formato RASANT, denominado RASREF [11], divide la RTCM por satélites, de forma que cada grupo RDS de 37 bits contenga el PRC de un satélite. Así, en caso de pérdida de recepción en la señal FM sólo se pierde un satélite y no todo el tipo 1. Los distintos PRC tampoco son transmitidos usando el valor del campo del tipo 1, si no que son tratados y referidos al último minuto entero UTC, utilizando el valor RRC, de esta forma la estación móvil debe reconstruir el PRC utilizando su propio reloj. También se evita la continua transmisión de la cuenta Z, para así obtener un PRC casi independiente de la cabecera del tipo 1. 9 satélites ahora ocupan 333 bits, un 49% menos. Además, el programa RASREF tiene control sobre la prioridad de la repetición de los PRC, favoreciendo que aquellos satélites que permitan los mejores resultados en el posicionamiento tengan una cadencia más alta.

El IGN emite correcciones diferenciales desde junio de 1997 a través del grupo RDS 5A de Radio Nacional de España. Los equipos FM/RDS/RASANT están preparados, generalmente, para decodificar el grupo 5 y 11.

5. CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE CORRECCIONES DIFERENCIALES

En el IGN los equipos generadores de correcciones diferenciales con control de integridad están basados en los sistemas marinos instalados generalmente en radiofaros. Estos sistemas generalmente están com-

puestos por: Estación de Referencia (RS), Monitor de Integridad (IM), transmisor; registro de observables, comunicaciones, sistemas redundantes y, en nuestro caso particular, elemento conversor al formato RASANT, en vez de modulador MSK. Para cada estación generadora de correcciones el esquema es el mismo, salvando las peculiaridades de cada una, y todas ellas están unidas, vía red de datos (RTC, RDSI, TCP/IP, etc.), a una estación de control (CS) que las supervisa.

La comunicación entre las estaciones de referencia, los monitores de integridad y el centro de control, se efectúa mediante los mensajes RSIM (Reference Station/Integrity Monitor). RSIM es un protocolo ASCII de comunicación independiente del fabricante; por ejemplo, el monitor de integridad daría la alarma a la estación de control comunicándole que tiene pocos satélites a la vista con el siguiente RSIM:

`$PRCM,17,200032.00,101,A,A,A,A,L,A,A.....`

La estación de referencia (RS) se encarga de generar los mensajes RTCM para su radiodifusión. La radiodifusión clásica en los sistemas marinos se realiza mediante la modulación MSK (Minimum Shift Key); de-



Figura 4. Estación generadora de correcciones diferenciales: 2RS+IM, con UPS, radio FM/RDS/RASANT, ordenador con control y UPS

pendiendo del proveedor de correcciones diferenciales, es posible una gran variedad de formas en la modulación y el canal: GSM, FM, UHF, FM+RDS, etc. Lo único verdaderamente importante es no aumentar excesivamente la latencia de los datos, el tiempo que recorren las correcciones hasta llegar al GPS del usuario y la fiabilidad de la transmisión. La estación de referencia es también la encargada de proporcionar el registro bruto de los observables, a través de un programa de descarga, por ejemplo en formato RINEX.

El Monitor de Integridad (IM) recibe, aplica las correcciones diferenciales radiodifundidas por la RS y verifica que determinados parámetros estén dentro de una tolerancia. Los más habituales son PRC (Pseudo Range Correction), error en posición, residuo PRR, etc. Además, el IM continuamente genera un "feedback" hacia la estación de referencia y ésta, al saberse monitorizada, lo refleja en el campo de la "salud" de las correcciones, formando todo ello un único equipo integrado.

El transmisor pone en el aire las correcciones diferenciales para que los usuarios hagan uso de ellas. En nuestro caso ésta es la parte más compleja del sistema, ya que hay que integrar la corrección diferencial en la subportadora RDS de emisoras FM comerciales. Los sistemas marinos utilizan un modulador MSK situado a la salida de las estaciones de referencia y, por supuesto, un demodulador situado a la entrada del monitor de integridad.

La estación de control (CS) es simplemente un ordenador al que están unidos telemáticamente las distintas estaciones generadoras de correcciones diferenciales. Por ejemplo, las estaciones generadoras de Santa Cruz de Tenerife y Madrid están unidas vía TCP/IP a una estación de control situada en el edificio principal del IGN. El CS recibe, con periodicidad seleccionable, informes sobre el funcionamiento de las estaciones de referencia, pudiendo tomar acciones correctivas. En nuestro esquema de funcionamiento hemos delegado las acciones correctivas en otro ordenador, el denominado monitor de control (CM). Este ordenador está físicamente en los distintos centros emisores de correcciones y a él están conectados los distintos GPS componentes del sistema. De esta forma cada estación de referencia tiene un comportamiento autónomo y, por otra parte, supeditado a una estación de control junto con el resto.

Desde el CS o el CM es posible configurar a voluntad todos y cada uno de los parámetros de los GPS de las estaciones: desde el CM los que estén unidos a él y desde el CS todas las estaciones de la red. Así mismo, es posible jerarquizar los CS en categorías, por ejemplo en CS regionales y CS nacionales, característica importante en el futuro.

Digamos que hasta aquí tendríamos configurada una estación generadora de correcciones diferenciales, formada por un GPS como estación generadora (RS) y un GPS que lo monitorice (IM). Si surgiera cualquier anomalía grave, detectada por el IM, que inutilizara la estación RS, el sistema quedaría inoperante. Para ello se añaden elementos redundantes que aseguren la robustez, al menos un segundo GPS generador de co-

rrecciones diferenciales RS2 y, opcionalmente, un segundo monitor de integridad IM2, un segundo ordenador de monitorización CM2, segundo transmisor, segunda unidad de alimentación ininterrumpida, etc. En el caso que nos ocupa, únicamente tenemos duplicada la estación generadora de correcciones diferenciales.

Una determinada anomalía detectada en un equipo genera una alarma en el CM que toma en su caso acciones correctivas y, si procede, informa a la estación de control de tal problema. Por ejemplo, si se detecta un alto valor en el residuo de la corrección (PRR) para el satélite 8, el monitor de integridad comunica a la RS que no radiodifunda ese satélite.

6. LA ESTACIÓN DE REFERENCIA

Las estaciones de referencia (RS) se encargan de registrar los observables brutos para un posible tratamiento en postproceso y generar correcciones diferenciales. Las RS tienen dos formas de conexión directa: una hacia el CM y otra con el monitor de integridad mediante un cable serie. Esta última es únicamente de entrada, el IM a través de este puerto envía periódicamente un RSIM20 (*feedback*) para que la RS perciba que está monitorizada. El IM, a través este RSIM20, puede marcar un determinado satélite como malo o indicar a la RS que la posición que el IM está calculando con las correcciones radiodifundidas se sale de un límite.

La comunicación con el CM es bidireccional y, generalmente, se realiza a través de dos puertos; uno que descarga los datos brutos, y es generalmente el 4, y otro que permite conversar mediante RSIM con el CM.

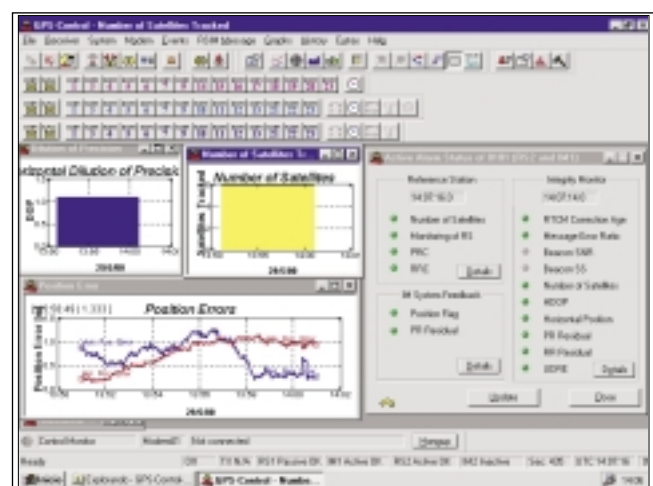


Figura 5. Programa de control. Controla las dos RS y el IM (el transmisor del radiofaro también para las estaciones marítimas). En la pantalla se observa el error posicional que está obteniendo el IM, el PDOP y los satélites empleados en la corrección. En la parte derecha se observa gráficamente el RSIM 12 de la RS y los RSIM 17 y 20 del IM.

La estación de referencia puede generar correcciones diferenciales de 3 formas distintas: tipo 1, tipo 9 de tres satélites y tipo 9 individual para cada satélite. Actualmente se radiodifunde, por un lado, el tipo 1 cada segundo y, por otro, mensajes tipo 2 y tipo 3 cuyo contenido ya se explicó anteriormente.

7. MONITOR DE INTEGRIDAD

El objetivo del monitor de integridad es asegurar la integridad de las correcciones transmitidas en dos sentidos: la propia señal y el propio contenido. En nuestro caso no verificamos la calidad de la señal, ya que eso implicaría controlar todas y cada una de las 80 emisoras que emiten corrección diferencial, lo que es responsabilidad de Radio Nacional de España. Nuestra responsabilidad es verificar el contenido, ya que, de acuerdo con la configuración actual, si en una emisora el contenido es correcto, lo será en el resto.

A diferencia de las estaciones de referencia, el monitor de integridad no registra observables brutos, pero la estación de referencia tiene una conexión directa con el CM, que proporciona una conversación RSIM con dicho software, y otra conexión punto a punto con la estación de referencia, que proporciona a ésta información sobre su monitorización a través del RSIM20.

Es posible situar el IM en el sitio donde se genera, que es nuestro caso, o remotamente. Las especificaciones marinas indican que sea colocado a 30 metros de la antena que radiodifunda (MSK), la cual radia a una potencia efectiva de 230 W. Nuestro caso es bien distinto, dado que no monitorizamos una antena en concreto, sino que podemos suponer que si una emisora funciona mal todas lo harán. Esto no es totalmente cierto, desde luego, pero no podemos monitorizar todas las emisoras. Actualmente están instalados pequeños monitores de integridad en dependencias periféricas del IGN, para proporcionar una estimación discreta de la red, aunque no generan RSIM ni están unidos *on-line* con la

CM, siendo únicamente el monitor de integridad, ubicado en el lugar desde donde se generan y radiodifunden las correcciones, el que forma parte del conjunto de la estación de referencia.

8. MENSAJES RSIM

El protocolo RSIM (Reference Station / Integrity Monitor) es el utilizado para conversar entre los distintos elementos que configuran una red DGPS, ya sean estaciones de referencia, monitores de integridad, emisores MSK, software del CS o del CM.

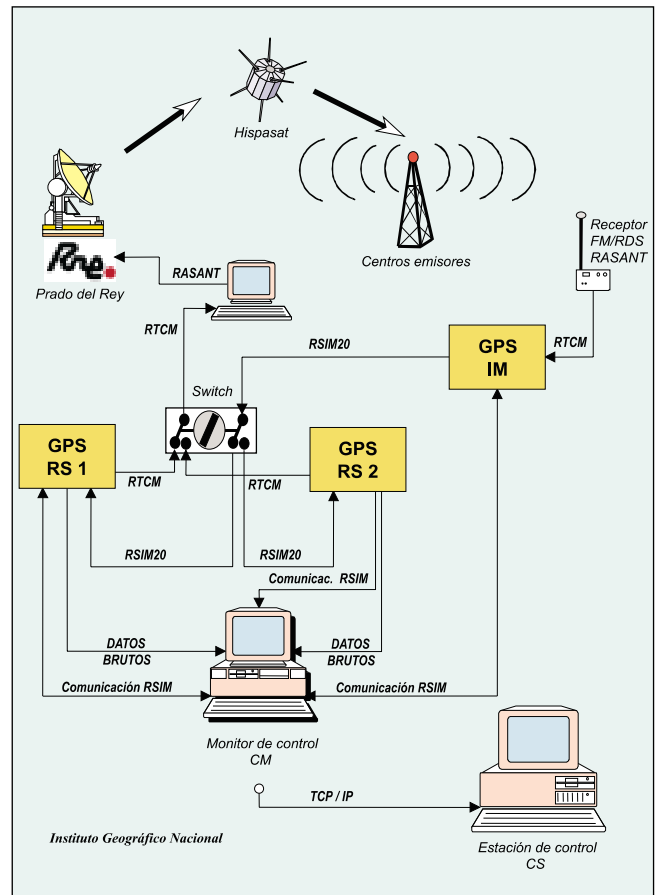


Figura 7. Diagrama de funcionamiento del sistema generador, con monitorización de integridad.

El flujo es el siguiente: los equipos GPS pueden ser programados para informar, mediante los mensajes RSIM deseados y con la periodicidad requerida, al CM para que éste los muestre instantáneamente en pantalla y registre en una base de datos. Esta base de datos es transmitida íntegramente al CS bajo petición o de forma regular. A través de un cable serie el monitor de integridad transmite el mensaje RSIM20 a la estación de referencia activa, de tal forma que ésta tenga conocimiento de que está siendo monitorizada. Este mensaje puede "marcar" un satélite para que sus datos no se radiodifunda o advertir a la RS que la posición que está generando el IM, aplicando sus correcciones, está fuera de tolerancia.

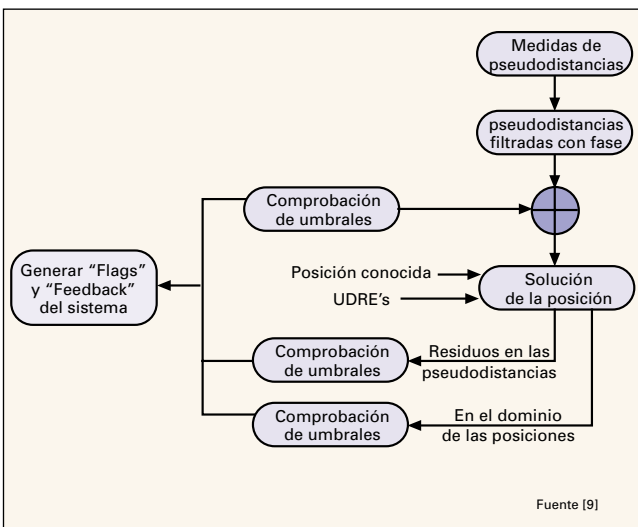


Figura 6. Funcionamiento del monitor de integridad (IM).

Los RSIM utilizados por los estándares RCTM [9] son:

RSIM	DESCRIPCIÓN
1	RSIM MESSAGE # QUERY / REPORTING INTERVAL
2	RSIM UNREVOGNIZED MESSAGE ALARM
3	RSIM CONTROL COMMANDS
4	RSIM DATA ARCHIVE CONTROL
5	RSIM DIAGNOSTIC REPORT / ALARM
6	GPS RECEIVER PARAMETERS
7	GPS RECEIVER SATELLITE STATUS
8	SATELLITE HEALTH CONTROL
9	SATELLITE HEALTH STATUS
10	REFERENCE STATION DATA LINK PARAMETERS
11	REFERENCE STATION ALARM THRESHOLDS
12	REFERENCE STATION ALARMS
13	REFERENCE STATION CORRECTION DATA
14	INTEGRITY MONITOR DATA LINK PARAMETERS
15	INTEGRITY MONITOR DATA LINK STATUS
16	INTEGRITY MONITOR ALARMS
17	INTEGRITY MONITOR ALARMS THRESHOLDS
18	INTEGRITY MONITOR DGPS STATUS
19	INTEGRITY MONITOR CORRECTION DATA
20	INTEGRITY MONITOR SYSTEM FEEDBACK
21	RTCM BROADCAST ALMANAC PARAMETERS
22	RTCM BROADCAST SCHEDULING
23	RTCM UNIVERSAL MESSAGE
24	TRANSMITER STATUS AND CONTROL
25	BROADCAST SITE STATUS AND CONTROL

Ejemplos supuestos de cómo podría actuar el sistema bajo un fallo:

- *El monitor de integridad no funciona.* El programa CM detectaría que existe una anomalía en la comunicación con el IM y remitiría el problema al CS. La estación de referencia no recibiría el RSIM20 y cambiaría el campo de salud en las correcciones a "no monitorizadas". Periódicamente el CM interrogaría al IM y en caso de no obtener respuesta de forma repetida informaría al CS que el IM está fuera de servicio.
- *Un determinado satélite proporciona una posición relativamente buena, pero no es correcta la medida sobre su pseudodistancia.* El residuo de la pseudodistancia en el monitor de integridad sobrepasará el límite y, a través del RSIM20, se comunicará a la referencia que no lo considere en la radiodifusión. Al mismo tiempo, informará al CM del problema, el cual si tiene configurada alguna acción a este respecto la tomará.
- *La antena GPS de la estación de referencia se ha averiado.* El CM detectaría que se están generando pocas correcciones y que el número de satélites en seguimiento es bajo el monitor de integridad, a su vez, si el número de satélites es bajo, informaría de un error de falta de monitorización sobre la RS. El programa CM conmutaría una estación de referencia por otra inmediatamente y transmitiría una señal de error al CS para que mande un mensaje corto (SMS) al móvil del servicio técnico, advirtiéndole del problema.

- *Un usuario ha advertido que la posición que generaba su equipo a las 16 horas estaba desplazada 100 metros.* El administrador del sistema generador de correcciones podría revisar la base de datos para comprobar: si la RS activa estaba mandando correcciones coherentes (RSIM 13), si estaba siendo monitorizada (RSIM12), si el monitor de integridad estaba obteniendo una calidad aceptable (RSIM18 del IM) en posición, si la edad de la corrección era la adecuada (RSIM 19) y si las correcciones que se obtuvieron de la radio fueron buenas (RSIM23). Con todos estos datos se podría concluir si el error es aplicable al usuario, tal vez debido a una mala utilización del datum o porque no se ha percatado de estar trabajando "en autónomo" (sin correcciones) por falta de recepción FM (caso de SA activada).

9. CONFIGURACIÓN ACTUAL

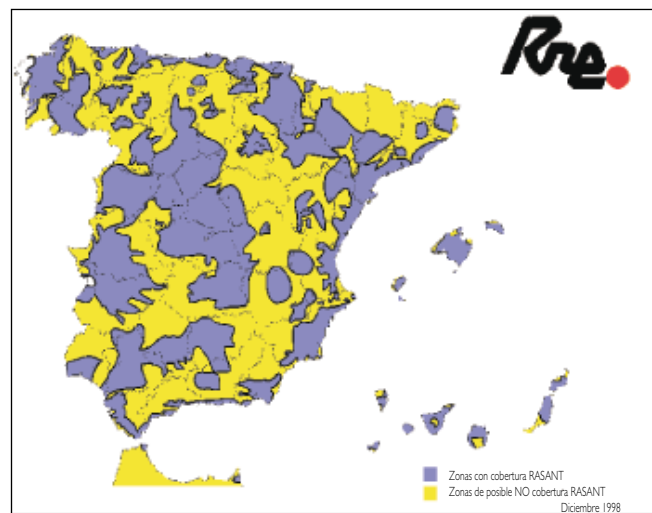


Figura 8. Mapa de cobertura garantizada.

Actualmente se están generando correcciones diferenciales en tres puntos: Madrid para la Península, Santa Cruz de Tenerife para las Islas Canarias y Palma de Mallorca para las Islas Baleares.

La cobertura garantizada, según RNE, es la mostrada en la figura 8. Hay que precisar dos cosas: la cobertura es garantizada, por lo tanto es muy posible que en zonas sin cobertura teórica realmente la haya; en segundo lugar, la política de cobertura de las emisoras de FM comerciales es poblacional, no territorial.

Un ejemplo de calidad de posicionamiento puede ser observado en la figura 9, correspondiente a un posicionamiento en el vértice CABO de la red IBERIA95, a 230 km del punto generador de correcciones diferenciales. En esta figura tenemos, en la parte derecha las diferencias con la posición real y en la izquierda los valores estadísticos de los distintos grupos de observaciones de 10 minutos.

IBERIA 95	272769,118	4635232,49	828,185			
MEDIA	272768,772	4635232,898	828,552	-0,35	0,41	0,37
STDV	0,08	0,28	0,53			
99%	0,19	0,69	1,34			
				GENERAL		
MEDIA	272768,964	4635233,087	829,260	-0,15	0,60	1,08
STDV	0,05	0,20	0,44			
99%	0,13	0,49	1,10			
				GRUPO 1		
MEDIA	272768,774	4635232,948	829,001	-0,34	0,46	0,82
STDV	0,12	0,05	0,41			
99%	0,29	0,11	1,02			
				GRUPO 2		
MEDIA	272768,533	4635233,137	827,728	-0,58	0,65	-0,48
STDV	0,03	0,02	0,11			
99%	0,08	0,06	0,27			
				GRUPO 3		
MEDIA	272768,869	4635232,521	828,451	-0,25	0,03	0,27
STDV	0,05	-0,02	0,09			
99%	0,11	-0,05	0,24			
				GRUPO 4		
MEDIA	272768,716	4635232,800	828,308	-0,40	0,31	0,12
STDV	0,02	-0,01	0,17			
99%	0,06	-0,03	0,43			
				GRUPO 5		

Figura 9. Vértice: CABO (IE09) Observación: DJ 322 año 1997
Distancia a referencia: 230 km 3000 posiciones en 5 grupos de 600 posiciones.

10. RED DE AREA Y DAB (Digital Audio Broadcasting)

El panorama futuro del proyecto apunta en dos direcciones: la homogeneización de correcciones diferenciales y la emisión de correcciones de fase y código a través de radio digital (DAB).

Tal y como está diseñado, la precisión decrece a medida que nos separamos del centro emisor de correcciones diferenciales (Madrid para la Península) aproximadamente en 10 ppm, no recomendándose sobrepasar los 500km (300 millas [14]). La solución más inmediata sería reforzar el sistema con estaciones generadoras en la periferia de la Península. La estructura del sistema RDS de RNE, direccionado jerárquicamente, no permite acceder a ningún grupo de emisoras si no es a través del centro RDS de Prado del Rey. La excepción es las Islas Canarias, que tienen acceso directo al satélite Hispasat.

Es por ello que habría que recibir las correcciones diferenciales generadas en la periferia y transmitir las a RNE en Madrid, formar las tramas con las direcciones de las emisoras que interese y radiodifundirlas. De esta forma el GPS de Galicia podría generar correcciones para la Comunidad Gallega, Asturias y León. El equipo de Valencia podría dar servicio a Murcia, Comunidad Valenciana y Cuenca y así sucesivamente.

El sistema tendría una precisión más homogénea, pero no del todo. De nuevo la calidad posicional dependerá de la distancia a los centros generadores. La solución es generar una corrección de área, esto es, calcular a través de los datos brutos que lleguen de todas las estaciones a Madrid un modelo ionosférico, troposférico, etc. De esta forma podríamos particularizar un conjunto de correcciones diferenciales para cada comunidad autónoma, provincia o incluso emisora, conservando un alto grado de homogeneidad. Este método es similar al utilizado por Racal u Omnistar y permitiría obtener precisiones submétricas en toda la zona de cobertura.

Una vez más nos tropezamos con el problema de las comunicaciones y los retardos que producen éstas. Existen varias soluciones al respecto:

Medios de transmisión:

- Estaciones VSAT (Very Small Satellite Aperture Terminal) de la red sísmica del IGN e incluso propias no pertenecientes a la red.
- Enlaces telefónicos punto a punto o RDSI

Elementos a transmitir:

- RTCM de código
- Datos Brutos en L1/L2
- RTCM de código y fase.

Con a), b) y c) se puede entamar cada corrección diferencial procedente de distintos GPS localizados en la periferia, permitiendo direccionar las correcciones diferenciales particularizadas para grupos de emisoras de RNE. No sería posible un modelado de la corrección, a no ser ponderando las correcciones espacialmente.

Con a), b) y d) se puede generar un modelo de corrección y particularizarlo al nivel que interese, incluso sería posible generar correcciones para una emisora de FM como si tuviera un GPS virtual en ella. Sería posible también recomponer un futuro RINEX de observables brutos e integrarlo dentro de las estaciones, en la red de estaciones permanentes del IGN, proyecto REFINE (Red Fiduciaria Nacional Española). Al recibir dichos datos podemos generar correcciones de fase y transmitir las utilizando radio digital (DAB).

Con a), b) y e) se tiene la posibilidad de reconstruir el RINEX a través de mensajes RTCM y conseguir una situación similar a la anterior; con la excepción de tener que trabajar con mensajes RTCM en vez de con los datos brutos originales. Actualmente se están evaluando todas las soluciones, en cuanto a ancho de banda necesario y costes en tiempo de transmisión y proceso.

La inminencia de la implantación de la radio digital (DAB, Digital Audio Broadcasting) puede considerarse el siguiente paso en la transmisión de audio y datos como alternativa a la frecuencia modulada. El concepto DAB es sustancialmente diferente a la emisión convencional de FM.

La transmisión en FM con portadora totalmente digital permitirá aumentar la relación señal ruido en la emisión con más baja potencia, compartir en una misma frecuencia diferentes programas e incluso datos, por ejemplo enviarlas como páginas html. Este tipo de transmisión permite reducir las interferencias y, debido a la multiplexación de programas, ensanchar el espectro en FM, actualmente saturado; también es posible compartir una sola frecuencia a escala nacional con este procedimiento. El rango de frecuencias es de 30 MHz. a 3.000 MHz, abarcando incluso la banda de FM actual.

La programación de audio se multiplexa (COFDM Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y se comprime la porción del espectro

emitida, de forma que sea justamente la que presenta mayor sensibilidad al oído humano (psico-acústica). Esto es lo que se denomina MUSICAM (Masking pattern adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing) y permite dividir por 7 la información a transmitir:

Radio Nacional de España, institución pionera en la emisión digital en España, está actualmente transmitiendo en DAB sus programas de audio junto con su página web en formato HTML

El documento Eureka 147 define el MOT (Multimedia Object Transfer Protocol) para la transmisión de datos en DAB y son:

- Datos generales: MIME/HTTP
- Imágenes: JPG, GIF, JFIF y BMP
- Texto (ASCII, ISO 646, ISO 8859-1)
- HTML (ISO 8859-1)
- Multimedia: MPEG (ISO/IEC 13522), Java
- Archivos genéricos (TDC Transparent Data Channel).

Ventajas de la transmisión DAB:

- Desde el punto de vista del usuario
 - Calidad de audio comparable a la de un CD
 - La señal no sufre atenuación
 - No sufre interferencias debido al *multipath*
 - Equipos de radio más amigables
 - Los programas tienen mucha más información integrada, no sólo audio
 - Es posible añadir información de terceros
 - No es compatible con las radios actuales de FM.
- Desde el punto de vista del radiodifusor
 - Se requiere una red de una sola frecuencia para cubrir un territorio
 - Por cada frecuencia es posible emitir distintos programas y servicios.

Las aplicaciones dentro de nuestro campo son enormes:

- Transmisión de cartografía en tiempo real
- Transmisión de correcciones diferenciales en fase, permitiendo el posicionamiento centimétrico
- Levantamientos y replanteos en tiempo real apoyados en cartografía o en SIG interactivamente
- Datos de alerta, como información sísmica incluyendo cartografía, información de prensa, parámetros del sismo, etc.

La Dirección General del Instituto Geográfico Nacional se encuentra dentro de esta tecnología de dos formas: a través del Foro DAB y con el convenio de colaboración entre el Ministerio de Fomento y Radio Nacional de España, denominado "Proyecto de Especificación y Pruebas de un Sistema Experimental para el Desarrollo de la Radiodifusión Sonora Digital Terrenal en España" y firmado el 1 de marzo de 2000.

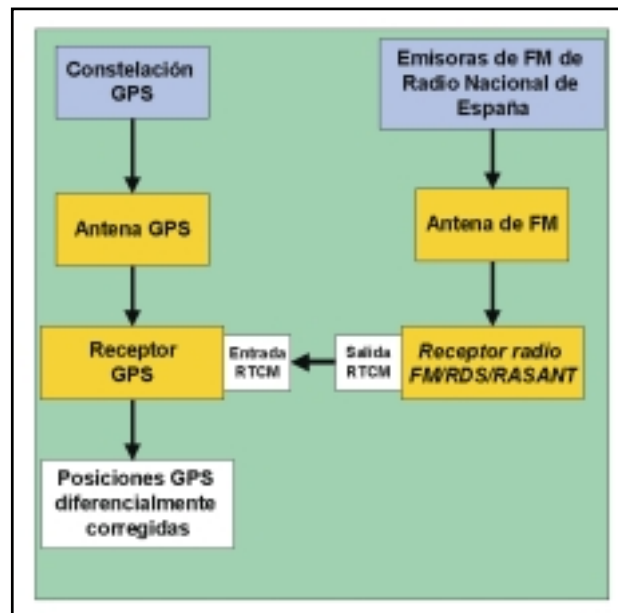


Figura 10: Esquema de funcionamiento de una radio FM/RDS/RASANT con un receptor GPS.

En breve el IGN se unirá al programa de pruebas de RNE para la transmisión, en un primer momento, de correcciones de código RTCM sin ningún tipo de compresión y se comenzarán las pruebas de transmisión de fase para el posicionamiento centimétrico a través de los mensajes tipo 18, 19, 20 y 21 de la RTCM.

II. RECEPTORES

Existe una decena de fabricantes de equipos FM/RDS/RASANT. Su funcionamiento es sencillo; el equipo sintoniza una emisora de FM con información RASANT en el grupo 5A u 11A, una vez elegida la emisora, empieza la decodificación de RASANT a RTCM. Estos equipos tienen una salida serie RS232 que se conecta al receptor GPS. Existen distintas configuraciones:

- a) Un sintonizador y una antena
- b) Doble sintonizador y doble antena
- c) Doble sintonizador y una sola antena
- d) Con GPS incorporado y cualquiera de las opciones anteriores

El tener dos sintonizadores tiene un propósito doble; por supuesto, la técnica de seguimiento de y "scan" del dial depende del fabricante. En primer lugar, la búsqueda por parte del segundo sintonizador de las frecuencias disponibles en el dial o en una tabla de frecuencias mientras el primero decodifica una de ellas. En segundo lugar, que los dos decodifiquen la misma o distintas emisoras para que, en el caso de pérdida de recepción en uno, se pueda pasar al otro sintonizador para seguir proporcionando correcciones en formato RTCM.



Figura 11. Receptor FM/RDS/RASANT.

Los sintonizadores pueden funcionar en modo rastreo, para todo el dial, o con un conjunto de frecuencias seleccionables. La configuración depende de las necesidades del usuario pero, como norma general, la configuración más sencilla es siempre la más rápida.

Los receptores DAB disponibles actualmente son de tres tipos: Radiocasete de coche, tarjetas de ordenador y equipos diseñados específicamente para la transmisión de datos.

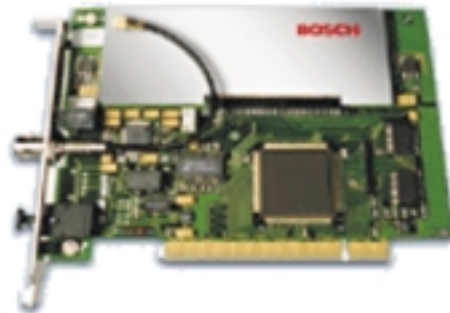


Figura 13. Receptor DAB tipo tarjeta PC y receptor específico para navegación terrestre.

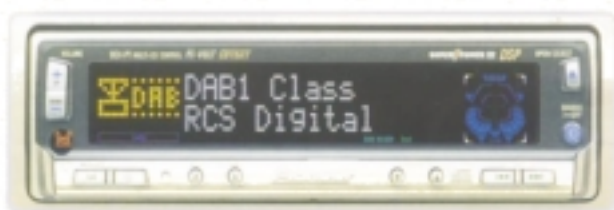


Figura 12. Receptor DAB tipo radiocasete de coche con pantalla.

mente para la transmisión de datos. El concepto de receptor de radio es algo distinto al que estamos acostumbrados, pareciéndose más a una navegación Web a través de la frecuencia y programa elegido. Un usuario en un coche podría, a través de un menú, recibir la información de tráfico a través de la Web asociada al programa, recibiendo incluso vídeo de baja velocidad, consultar la cartografía de la zona donde se encuentre o posicionar un GPS diferencialmente, todo ello sin cambiar de frecuencia.

12. USUARIOS

Debido, sin duda, a lo económico que resulta adquirir un equipo FM/RDS/RASANT, este tipo de difusión de correcciones ha tenido bastante éxito, cifrándose en unos 2.500 a 3.000 los usuarios del año 2000. Algunos ejemplos de usuarios se pueden ver en la siguiente tabla.

- A.T. TECHNOLOGIES
- Autobuses urbanos de Badajoz
- Autobuses urbanos de Cáceres
- Autobuses urbanos de Ceuta
- Autobuses urbanos de Las Palmas
- Autobuses urbanos de Madrid
- Autobuses urbanos de Puerto de Sta. Maria

- Autobuses urbanos de Salamanca
- Autobuses urbanos de Santiago de Compostela
- Autobuses urbanos de Valladolid
- Autoridad Portuaria de Huelva
- Autoridad Portuaria de Tarragona
- AVIALSA T-35 S.L.
- Ayuntamiento de Zaragoza. Area de Urbanismo, Montes y Areas Naturales
- Cabildo Insular de Gran Canaria. Serv. de Medio Ambiente
- Cabildo Insular de Gran Canaria. Serv. de Patrimonio
- Consejería de Medio Ambiente de Palma de Mallorca
- CSIC Inst. de Ciencias de La Tierra
- CSIC Inst. de Recursos Naturales
- E.T.S.I. Telecomunicaciones (Madrid)
- Equipamientos Urbanos S.A.
- EURO DIGITAL PHONE
- Generalidad de Cataluña Dpto. de Agricultura
- Generalitat de Cataluña - Dpto. de Medio Ambiente
- Geograma S.L.
- Grúas Municipales de Barcelona
- Grúas Municipales de Madrid
- INSPIRA S.L.
- Inst. Geografico Nacional
- Inst. Cartográfico de Cataluña
- Inst. Nacional de Técnica Aeroespacial
- Instituto de Geomática de Barcelona
- Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas
- Parque Nacional de la caldera de Taburiente - Centro de visitantes
- Policía Municipal de Madrid
- PYCSA Proyecto y Control S.A.
- Quiros Jerez S.A.
- Retevisión Móvil (AMENA)
- SAYFO S. Coop. Servicios Agrarios y Forestales
- SEAS S.L. Servicios Medioambientales
- Servicio de Aguas de Barcelona
- Servicio de Gas de Barcelona
- Servicio de Gas de Madrid
- Servicio de Taxi de Madrid
- SERVITEC S.A.
- Telefónica Investigación y Desarrollo
- Telefónica Servicios Móviles S.A.
- Univ. Autónoma de Barcelona. CREAM Centro Inv. Ecológ. y Aplic. Forestales
- Univ. de Alicante
- Univ. de Cantabria. E.T.S.I. Caminos, canales y puertos.
- Univ. de La Laguna
- Univ. de León
- Univ. de Oviedo
- Univ. de Santiago de Compostela
- Univ. de Sevilla
- Univ. de Univ. de Valencia
- Univ. de Vigo. E.U.I.T. Forestal
- Univ. de Zaragoza Murcia
- Univ. Politécnica de Cataluña. E.T.S.I. Telecomunicación
- Univ. Politécnica de Madrid
- Usuarios particulares en los campos de la navegación, topografía, tiempo libre.....

(Fuente: Tecnología GPS y Grafinta S.A.)

13. CONCLUSIONES

Durante todo este período se ha tratado de ofrecer un servicio público gratuito y de calidad a la comunidad de usuarios GPS de España. El proyecto ha sido un éxito desde nuestro punto de vista y, sin duda, es sólo el comienzo de lo que pueden suponer las nuevas tecnologías que están a punto de aparecer: el UMTS, la radio DAB, nuevas frecuencias en GPS y Galileo, la apuesta Europea de navegación mundial por satélite. El IGN junto con RNE seguirá prestando este servicio y tratando de mejorar día a día su calidad.

Sin duda, es necesario agradecer a los técnicos de RNE su trabajo, imprescindible en este proyecto, sin cuyos consejos y ayuda hubiera sido muy difícil llevar todo el proyecto a buen puerto, y con los que, sin duda alguna, seguiremos trabajando durante mucho tiempo, proporcionando un servicio público DGPS. Nos gustaría también agradecer a los colegas de otras instituciones afines a la nuestra su apoyo y ánimo en los momentos iniciales del proyecto.

14. ACRÓNIMOS

CM	Control Monitor
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CS	Control Station
DAB	Digital Audio Broadcasting
DGPS	Differential GPS
FM	Frecuencia Modulada
GIF	Graphics Interchange Format
GSM	Global System for Mobile Communications
html	Hypertext Markup Language
http	Hypertext Transfer Protocol
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IM	Integrity Monitor
ISO	International Organization for Standardization
JPEG	Joint Photographic Experts Group
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
MOT	Multimedia Object Transfer Protocol
MPEG	Moving Picture Experts Group
MSK	Minimum Shift Key
MUSICAM	Masking pattern adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing
PRC	Pseudo Range Correction
PRR	Pseudo Range Residual
RASANT	Radio Aided Satellite Navigation Technique
RDS	Radio Data System
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados (ISDN en inglés)
REFINE	Red Fiduciaria Nacional Española

RINEX	Receiver Independent Exchange Formar
RRC	Rate of Range Correction
RS	Reference Station
RSIM	Reference Station/Integrity Monitor
RTC	Red Telefónica Conmutada
RTCM	Radio Technical Comision for Maritime Services
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDC	Transparent Data Channel
UPS	Uninterruptible Power Supply.
UTMS	Universal Mobile Telecommunications System
UDRE	User Differential Range Error
VSAT	Very Small Satellite Aperture Terminal

- [4] J. González-Matesanz, A. Dalda-Mourón (1999): *DGPS y RTDGPS para actualizar la cartografía española*. Geoconvergencia, Junio 1999.
- [5] J. González-Matesanz, A. Dalda-Mourón (2000): *Equipos de posicionamiento global (GPS). El proyecto RECORD (RASANT)*. Primeras jornadas sobre innovaciones tecnológicas aplicadas a la Ingeniería en Geodesia y Cartografía.
- [6] J. Talaya, J. Mesa, J. Segarra, I. Colomina: *El sistema DGPS RASANT en Cataluña*.
- [7] P. Raven, S. Sandmann and G. Shoemackers (1996): *RASANT: Radio Aided Satellite Navigation Technique*, EBU Technical Review No 267
- [8] Radio Technical Commision For Maritime Services (1994): *RTCM Recommended standards for differential Navstar GPS Service*.
- [9] Radio Technical Commision For Maritime Services (1996): *RTCM Recommended standards for differential Navstar GPS Reference Stations and Integrity Monitors (RSIM)*.
- [10] Samuel J. Wormley, Iowa State University (2000): *GPS Errors & Determining Your Receiver's Accuracy* http://www.cnde.iastate.edu/staff/swormley/gps/check_sa.html
- [11] Walter Lindstrot (1991): *The Differential Global Positioning Service RASANT*.
- [12] José Navas Elorza. *Posibilidades sobre la transmisión de datos como valor añadido a los servicios DAB*. Dirección General de Tráfico.
- [13] B. Hofmann-Wellenhof: *GPS Theory and Practice*.
- [14] Trimble navigation. (1994): *Pathfinder General Reference*. ■

15. REFERENCIAS

- [1] A. Dalda-Mourón, J. González-Matesanz (1998): *Actualización de cartografía básica con GPS*. I Maratón GPS
- [2] European Committee for Electrotechnical Standardization (1998): *Specification of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87.5 to 108 Mhz*. Cenelec.
- [3] J. González-Matesanz, A. Dalda-Mourón (1997): *Difusión de correcciones diferenciales GPS para la navegación terrestre*. I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica

"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

"LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA"

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

"VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA"
"SOLICITE CATALOGO"

Consideraciones Generales sobre el Ajuste de Observaciones Topográficas mediante Mínimos Cuadrados

Silverio García Cortés, Benjamín Sánchez Fernández y Eugenio Sáez García
 ÁREA DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODESIA Y FOTOGRAMETRÍA
 UNIVERSIDAD DE OVIEDO

I. INTRODUCCIÓN

Este artículo constituye una introducción teórica donde se analizan las alternativas existentes en el planteamiento del problema del ajuste de observaciones topográficas y se justifican los planteamientos que se han implementado en el programa **DART** (*Diseño y Ajuste de Redes Topográficas*), desarrollado en el Área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría del Departamento de Explotación de Minas de la Universidad de Oviedo. Las características del programa mencionado serán objeto de otro artículo, que aparecerá en el próximo número de esta revista.

En la realización de mediciones topográficas en el campo, se obtiene como producto un conjunto de observaciones con una inexactitud asociada, que obliga al planteamiento de un método para la reducción de los errores y el aumento de la precisión. El método fundamental es la toma de observaciones redundantes, que permitan el cálculo de unos parámetros lo más libres de error que sea posible. Surge entonces el concepto de "ajuste" o "estimación" como el proceso de cálculo que permite, de un lado, el aprovechamiento de la totalidad de la información contenida en las observaciones y, de otro, la obtención de una solución única que pueda ser considerada como la mejor según algún criterio. El criterio más frecuentemente empleado es el conocido como método de los mínimos cuadrados.

2. SISTEMA DE REFERENCIA

Las observaciones que se toman en el campo están referidas a un sistema local, definido por el instrumento de medición y su posición sobre el punto de estación. Con cada tipo de instrumento, e incluso con distintos estacionamientos del mismo instrumento, el sistema de referencia empleado es distinto. Es necesario pues referir todas las observaciones tomadas a un sistema concreto y único, en el que se va a realizar el ajuste. Si el trabajo en cuestión es una nivelación, el sistema que debe definirse será unidimensional, bidimensional si se trata de un ajuste planimétrico y tridimensional en el caso de un ajuste GPS. Es posible también

realizar simultáneamente un ajuste altimétrico y planimétrico usando como referencia un sistema tridimensional, pero en la práctica, dadas las distintas características de los instrumentos, precisiones y correcciones a realizar en los trabajos planimétricos y de nivelación, es común efectuar los ajustes separadamente.

En el caso del ajuste GPS, las observaciones nos vendrán dadas como fruto de un proceso de cálculo previo, que tiene como objetivo la eliminación de errores de distinta naturaleza y que como producto final arroja unas observaciones constituidas por las denominadas baselíneas ΔX , ΔY , ΔZ y una matriz de varianzas y covarianzas asociada, que expresa la precisión de las componentes de esta baselínea y la correlación existente entre esas componentes. Por la estructura constructiva del GPS, el sistema de referencia es un sistema cartesiano geocéntrico, válido a nivel mundial y que tiene como elipsoide de referencia el WGS84.

Para el caso del ajuste planimétrico, es frecuente trabajar, bien con un elipsoide como superficie de referencia o bien con un plano (como el definido por un sistema de representación cartográfico, por ejemplo el plano conforme UTM). La primera opción permite un trabajo de mayor precisión y con mayor flexibilidad, especialmente a la hora de abordar trabajos geodésicos de gran extensión, aunque a costa de un mayor esfuerzo de cálculo y complicación en la formulación de las observaciones sobre dicha superficie. La segunda opción, aunque menos rigurosa, puesto que asume los errores inherentes al sistema cartográfico que representa el elipsoide sobre una superficie plana, permite una formulación de las ecuaciones de observación en un plano cartesiano mediante expresiones muy sencillas.

En el caso del ajuste altimétrico es suficiente con la definición de un "nivel de referencia" unidimensional. Éste puede ser la superficie del elipsoide, la superficie del geoide u otro que arbitrariamente se desee establecer. Ha de tenerse en cuenta que, en la mayoría de las ocasiones, en ingeniería no es tan importante el posicionamiento absoluto como el relativo y, por tanto, es frecuente el trabajo (tanto en los casos altimétricos como en los planimétricos) con sistemas de referencia locales arbitrariamente definidos.

3. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN MÍNIMO CUADRÁTICA

En una estimación mínimo-cuadrática se ven involucrados dos tipos de modelos, el matemático y el estadístico. El modelo estadístico hace referencia a la naturaleza de las observaciones tomadas en cuanto a su calidad y a las relaciones mutuas entre observaciones (correlación). Por simplicidad, es frecuente considerar que cada observación (que estadísticamente es considerada como una variable aleatoria) es independiente estadísticamente de las demás. La materialización concreta del modelo estadístico se produce a través de la denominada matriz de pesos, que se construye a partir de las varianzas y covarianzas de las observaciones implicadas en el ajuste.

El modelo matemático queda expresado por una serie de relaciones funcionales f que dependen de dos tipos de variables, las observaciones y los denominados parámetros. La diferencia entre ambas clases de variables es que los parámetros, al contrario que las observaciones, son desconocidos *a priori* y, por tanto, constituyen incógnitas funcionales del ajuste.

El modelo matemático debe cumplirse exactamente para los valores verdaderos de los parámetros y las observaciones. En realidad, éstos valores verdaderos de ambos tipos de variables son desconocidos, sin embargo con el ajuste trataremos de hallar unos valores estimados de los parámetros y de las observaciones que cumplan exactamente ese modelo matemático. De este modo, si denominamos X_a y L_a y F a los vectores de los parámetros, observaciones ajustadas y vector de funciones, el modelo matemático puede escribirse como:

$$F(X_a, L_a) = 0$$

En el caso más general las funciones serán no lineales (respecto a parámetros y observaciones) y para la resolución del sistema que se origina es necesario linealizarlas y proceder a la resolución iterativa del mismo a partir de unos valores iniciales de los parámetros, que deben ser estimados de algún modo. En aquellos casos en los que existe una sola observación en cada relación funcional y además dicha observación puede ponerse como función explícita de los parámetros, el modelo se reduce a:

$$L_a = F(X_a)$$

con lo que el modelo queda bajo la forma habitual:

$$A \cdot X - L = V$$

Este modelo se denomina modelo de ecuaciones de observación. Su característica esencial es precisamente la de poder formular una sola ecuación por cada observación considerada. La mayoría de las observaciones topográficas pueden ser expresadas bajo este tipo de formulación, cuando el sistema de referencia elegido es el adecuado. La solución mínimo-cuadrática puede obtenerse mediante la familiar expresión de la solución del denominado sistema de ecuaciones normales:

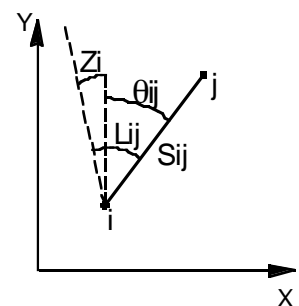
$$\hat{X} = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \Rightarrow \hat{X} = N^{-1} \cdot (A^T \cdot L)$$

donde la matriz P es una matriz de pesos que hace intervenir, con mayor o menor intensidad, a cada observación dentro del ajuste y que se formula generalmente en función de la precisión que se estima para cada observación.

4. ECUACIONES DE OBSERVACIÓN

Como se dijo antes, las ecuaciones de observación que se plantean para los observables topográficos varían su forma en función del sistema de referencia que se quiere establecer. En lo que sigue se trabajará con el modelo de un sistema de referencia correspondiente a un plano cartesiano, para las observaciones que se consideran en el ajuste planimétrico, y en un sistema geocéntrico para el caso de las baselíneas GPS. De modo que el sistema de referencia para el ajuste altimétrico será unidimensional, bidimensional para el ajuste planimétrico y tridimensional para el caso de las baselíneas GPS.

A consecuencia de esto, para llevar las observaciones planimétricas originales hasta dicho plano serán necesarias correcciones meteorológicas, instrumentales, geométricas y, en su caso, las correspondientes al sistema cartográfico empleado.



4.1. Desniveles

La práctica de la nivelación culmina con la obtención de un desnivel entre estaciones, tanto en el caso de la nivelación geométrica como en el de la nivelación trigonométrica. Un desnivel entre dos estaciones i y j puede formularse simplemente como función de las cotas de ambas estaciones, supuesto que existe un plano de referencia común a ambas y sin tener en cuenta la existencia de errores sistemáticos sobre las observaciones. La expresión de la ecuación es lineal y puede ponerse simplemente como: $h_j - h_i = \Delta h_i^j + v_{i,j}$.

4.2. Acimut

La ecuación del acimut es bien conocida y se puede expresar como:

$$\theta_i^j + v = \arctag \left(\frac{x_j - x_i}{y_j - y_i} \right) + C$$

Es necesario estudiar el signo de los términos del argumento de la función arco-tangente para establecer el valor de la constante C , que puede valer 0° , 100° , 200° , 300° según el cuadrante en que se encuentre. La ecuación necesita ser linealizada.

4.3. Lecturas de ángulos horizontales (Direcciones)

La lectura angular horizontal es el observable que se obtiene directamente en la medición angular mediante una estación total o un teodolito. Su expresión está relacionada con el valor del acimut de la dirección

medida y la desorientación angular de la estación, la cual se denota como Z_i :

$$L_i^j + v = \theta_i^j - Z_i = \left(\arctan \left[\frac{x_j - x_i}{y_j - y_i} \right] + C \right) - Z_i$$

En la ecuación de las lecturas angulares son cinco los parámetros implicados: cuatro coordenadas, correspondientes a las coordenadas de los puntos de estación y punto visado, y la desorientación angular de la estación. La constante C depende, de nuevo, del cuadrante en el que se encuentre el valor de la lectura angular.

4.4. Distancias

La ecuación de la distancia, una vez reducida la observación original al plano cartesiano, es:

$$S_{i,j} + v = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Algunos autores [STR97] sugieren variaciones en la ecuación de la distancia, con el fin de tener en cuenta diversos errores. Por ejemplo, para considerar la posible introducción de errores sistemáticos en la medida de distancias mediante equipos electrónicos se propone la **Quasi-distancia**, que incluye un factor de escala para tratar de eliminar posibles errores debidos a una elección inadecuada del índice de refracción, reducción altimétrica incorrecta, factor de escala de la proyección cartográfica inadecuado o incluso errores sistemáticos en la definición del datum de la red. Otra de las ecuaciones propuesta es la **Pseudodistancia**, en la que se introduce un término aditivo, que trata de modelizar un error sistemático causado en combinación con el instrumento y el prisma empleados en la medición de distancias con distanciómetro. En ambos casos la constante del reflector o el factor de escala representan parámetros adicionales que es preciso determinar en el ajuste.

4.5. Baselíneas GPS

Durante el proceso de cálculo de las observaciones GPS se realiza la transformación a un nuevo sistema denominado geocéntrico. Es en este sistema en el que, después de la primera fase de cálculo de las baselíneas, se expresan las componentes de las mismas. Las baselíneas resultan finalmente expresadas como función de tres componentes, sobre los ejes X, Y, Z , de la distancia inclinada entre un punto inicial i y el punto final j . De modo que las tres ecuaciones que pueden formularse para una baselínea son de la forma:

$$X_j = X_i + \Delta X_i^j + v_x; Y_j = Y_i + \Delta Y_i^j + v_y; Z_j = Z_i + \Delta Z_i^j + v_z$$

Ya puede intuirse que este sistema geocéntrico no será el más adecuado para expresar los resultados de un ajuste de una red GPS, puesto que desde el punto de vista del observador, situado en la superficie terrestre, resulta difícil visualizar la geometría geocéntrica de las observaciones. Será necesario, por tanto, ejecutar una serie de transformaciones a nuevos sistemas de referencia.

5. RESTRICCIONES Y OBSERVACIONES

Las ecuaciones de observación enumeradas anteriormente, conforman el grupo de ecuaciones que habrán de establecerse en cada tipo de ajuste para construir la matriz A en el modelo de ecuaciones de observación $A \cdot X - L = V$. Esta matriz recibe el sobrenombre de matriz de diseño, porque es posible formularla sin haber realizado observación alguna en campo. Una vez que se conozca la configuración geométrica aproximada de la red, basta con asignar unos valores iniciales aproximados a los nodos de la misma y definir qué observaciones se tratarán de medir, para que sea posible plantear la matriz A . Esta peculiaridad es empleada en el diseño y estudio de las características así como en la optimización de las redes topográficas.

Las observaciones anteriores son funciones matemáticas que definen relaciones **relativas** entre los parámetros que constituyen las incógnitas del ajuste. En realidad, si disponemos de una red entre cuyos nodos se han realizado una serie de observaciones, por ejemplo distancias y ángulos, no es posible extraer una información **absoluta**, como son los valores de los parámetros (coordenadas de los nodos de la red), sin añadir alguna otra fuente de información al conjunto de observaciones realizado. Matemáticamente ésta imposibilidad se concreta en una deficiencia de rango en la matriz de coeficientes N del sistema de ecuaciones normales. La información adicional que es necesaria constituye lo que se denomina el **datum** de la red y varía según el sistema de referencia elegido en cada caso. En la tabla siguiente se consignan el número de parámetros necesarios para lograr la definición de distintos tipos de sistemas de referencia.

TIPO DE RED	Parámetros que definen el DATUM	Parámetros necesarios
Red altimétrica	1 traslación T_z	1
Red planimétrica Triangulada	2 traslaciones T_x, T_y y 1 rotación κ y 1 factor de escala S	4
Red planimétrica Trilaterada	2 traslaciones T_x, T_y 1 rotación κ	3
Red tridimensional (con distancias)	3 traslaciones T_x, T_y, T_z 3 rotaciones ω, φ, κ	6
Red tridimensional (sin distancias)	3 traslaciones T_x, T_y, T_z 3 rotaciones ω, φ, κ y un factor de escala S	7

Incluidas dentro de las observaciones existe cierta cantidad de información que resulta válida para la definición del datum en una red, de manera que es posible que parte de la información necesaria para definir el datum haya sido suministrada ya con las observaciones. Existen entonces 4 grados de libertad en una red planimétrica, dos componentes de una traslación plana sobre la red, un factor de escala y una rotación,

que aún permanecen indeterminados. Sin embargo, si se ha medido una distancia entre dos de los vértices de dicha red, al añadir la nueva observación de la distancia el número de grados de libertad del sistema se reduce a 3, puesto que el factor de escala queda definido por la información presente en la observación distancia. De un modo semejante, en un sistema de referencia tridimensional, como es el sistema geocéntrico que se emplea en el ajuste de baselíneas GPS, el número de grados de libertad es de 7 (3 componentes de una traslación en el espacio, un factor de escala y tres rotaciones alrededor de los tres ejes). Distintos tipos de observaciones aportan diferente información sobre el datum de la red. En la tabla siguiente puede apreciarse este hecho:

Observación	Parámetros del DATUM						
	T _x	T _y	T _z	ω	φ	κ	S
Ángulos y lecturas angulares	–	–	–	–	–	–	–
Distancias	–	–	–	–	–	–	✓
Acimuts	–	–	–	–	–	✓	–
Ángulos cenitales	–	–	–	✓	✓	–	–
Desniveles	–	–	–	–	✓	✓	✓
Posiciones GPS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Baselíneas GPS	–	–	–	✓	✓	✓	✓

En el caso más frecuente, la información que sobre el datum pueda extraerse, a partir de las observaciones disponibles, no será suficiente y por tanto la matriz **N** seguirá siendo singular. Para eliminar esta singularidad es necesario añadir una serie de nuevas relaciones de los parámetros, denominadas **restricciones**, que, siendo independientes entre sí (dichas relaciones) y con respecto a las ecuaciones de observación, permitan construir un sistema de solución única, que será la solución mínimo cuadrática. Este proceso realiza lo que se denomina la definición del DATUM de la red.

Cuando el número de restricciones independientes añadido al sistema de ecuaciones de observación es igual al necesario para definir el datum, se dice que el ajuste es de restricción mínima; si el número de restricciones es mayor, el ajuste se denomina sobreconstruido o sobre restringido. Este último tipo de ajuste debe aplicarse con cuidado, puesto que los errores que pudieran existir en las restricciones que definirán el datum, se transmitirán a la nueva red ajustada. A continuación se describen algunas de las restricciones que suelen imponerse con más frecuencia en un ajuste topográfico.

5.1. Puntos de coordenadas conocidas

Este es una de las restricciones más comunes y que suele existir en prácticamente todos los ajustes topográficos. Tanto si se trata de una red in-

dependiente, como si es el caso de una red conectada con otra anterior, es frecuente tomar alguno de los puntos como punto de control, del que se conocen sus coordenadas. Las ecuaciones a añadir son simplemente:

$$X_i = c_x \quad Y_i = c_y \quad Z_i = c_z$$

o bien en el caso de resolución iterativa

$$dx_i = 0 \quad dy_i = 0 \quad dz_i = 0$$

Las anteriores, son las ecuaciones para un punto fijo en el caso de una red tridimensional donde los valores **c_x**, **c_y** y **c_z** son los valores de las coordenadas a fijar. El segundo trío de ecuaciones representa las ecuaciones linealizadas, que imponen que las correcciones de las coordenadas del punto que se desea fijar sean nulas en cada iteración y, por tanto, los valores iniciales de los parámetros a fijar no sufran ningún cambio.

5.2. Acimut fijo

La restricción de un acimut de la red se reduce a establecer como restricción la ecuación de observación del acimut que ya ha sido planteada anteriormente. Básicamente, la ecuación del acimut plantea una relación numérica entre las coordenadas de los puntos implicados, que debe cumplirse. De modo que se tratará de un ajuste con una relación adicional entre parámetros.

Esta restricción permite "orientar" la red con respecto al sistema de referencia elegido, fijando de este modo el grado de libertad que representa el giro alrededor del eje **Z** de toda la red.

5.3. Lectura angular horizontal a un punto externo fijo

Otro modo de orientar la red consiste en imponer como restricción la lectura angular horizontal a un punto exterior a la red, que es fijo y cuyas coordenadas no intervienen en el ajuste. Para que esta restricción sea efectiva debe imponerse desde un punto de la red que a su vez también sea fijo. De este modo, el parámetro que resulta fijado es la desorientación de ese punto. La ecuación que formula la restricción es idéntica a la que plantea la ecuación de observación de la lectura angular horizontal (dirección) que ya se ha planteado anteriormente.

5.4. Restricción interna de una red

La denominada restricción interna de una red es un conjunto mínimo de restricciones que describen relaciones funcionales entre los incrementos de primer orden de las coordenadas de puntos de una red. Producen una estimación mínimo cuadrática que tiene propiedades útiles en el ajuste de observaciones.

Las restricciones se imponen sobre una estación ficticia, como es el centroide de las estaciones de la red calculado a partir de las coordenadas iniciales. En una red planimétrica triangulada cuyo defecto de rango es 4, las condiciones que se imponen son las siguientes:

- Las coordenadas del centroide de la red deben permanecer inalteradas después del ajuste.
- El acimut medio desde el centroide hasta cada punto de la red debe permanecer inalterado.

Estas condiciones es posible expresarlas como un grupo de ecuaciones adicionales con las que se orla el sistema de ecuaciones normales. De manera análoga pueden obtenerse matrices que imponen la restricción interna en redes altimétricas o tridimensionales. De modo que este juego de restricciones puede emplearse como otro grupo cualquiera de restricciones para el ajuste, siguiendo el método del ajuste con funciones de parámetros que se verá posteriormente.

Existen otros métodos específicos de imponer la restricción interna a una red. Uno de ellos trata de calcular la matriz pseudoinversa de Moore-Penrose para la matriz de coeficientes de ecuaciones normales, [COO87], [STR97], [CHU96c].

Si se dispone de las herramientas adecuadas, la restricción interna de una red es un método adecuado para implementar un caso de restricción mínima sin ninguna información adicional, más que la suministrada por las coordenadas iniciales, y es sensible solamente a la configuración de la red, sin influencia alguna del control externo, por ésta razón es una modalidad de ajuste empleada cuando se va a efectuar posteriormente la detección estadística de errores groseros.

6. MÉTODOS DE IMPOSICIÓN DE RESTRICCIONES

Fundamentalmente existen tres métodos para la imposición de las restricciones deseadas en el ajuste de una red y obtener, por tanto, la definición del datum, con la consiguiente eliminación de la singularidad en el sistema normal. Aunque las denominaciones varían según diversos autores, pueden nombrarse del modo que sigue: Método de eliminación de parámetros, Método ponderado y Ajuste con funciones de parámetros.

6.1. Imposición de restricciones mediante eliminación de parámetros

Este método es el método clásico para imponer el datum de una red geodésica y consiste en eliminar las columnas de la matriz de diseño \mathbf{A} que se refieren a los parámetros que se quieren mantener fijos. Su implementación es sencilla cuando el datum se define solamente con restricciones posicionales, siendo menos adecuado si se desea imponer otro tipo de restricciones, como pueden ser las angulares.

El planteamiento de la solución puede realizarse empleando una partición en la matriz de \mathbf{A} del sistema lineal (o linealizado) de las ecuaciones de observación, en submatrices columna, de modo que las columnas agrupadas en la matriz \mathbf{A}_2 corresponden a los parámetros que se pretenden fijar y que se nombran como vector \mathbf{x}_2 . Así se tiene:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} = \mathbf{I} + \mathbf{v}; \quad \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{x}_1 + \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{x}_2 = \mathbf{I} + \mathbf{v}$$

La matriz $(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})$ presentará un defecto de rango igual al número de parámetros que son necesarios para definir el datum. Las columnas de la matriz \mathbf{A}_2 pueden expresarse como combinación lineal de las columnas de la matriz \mathbf{A}_1 . Teniendo en cuenta esto, la solución para los parámetros no fijados es:

$$\mathbf{x}_1 = (\mathbf{A}_1^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}_1)^{-1} \cdot \mathbf{A}_1^T \cdot \mathbf{P} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{A}_2 \mathbf{x}_2)$$

Este método puede aplicarse, por ejemplo, en la resolución de un ajuste altimétrico a partir de desniveles entre estaciones. El problema es lineal y requiere la imposición de valores específicos de los parámetros, puesto que es necesario fijar el valor de la cota de alguna de las estaciones, o varias de ellas, que no serán nulas. El conjunto de columnas agrupadas en \mathbf{A}_2 se desplazan al segundo miembro del sistema original multiplicadas por el valor que se desea imponer a los parámetros en cuestión \mathbf{x}_2 . El conjunto de parámetros fijados se denomina base de varianza cero del modelo y todos los elementos de la matriz de covarianza deben ser considerados como varianzas relativas con respecto a la base elegida. La matriz cofactor de los parámetros es independiente de \mathbf{x}_2 .

6.2. Método ponderado

El método ponderado de resolución de mínimos cuadrados se basa en la consideración de que no existe diferencia funcional entre las ecuaciones de observación y las restricciones y que, por tanto, podemos considerar que "todas las variables implicadas en la formulación matemática son observaciones" ([MIK76]). Ahora bien, para conseguir el mismo efecto que anteriormente con las restricciones, debemos emplear algún mecanismo que permita exigir el cumplimiento de algunas de las ecuaciones de observación (las antiguas restricciones) con mayor intensidad que las otras ecuaciones de observación. Este mecanismo será el peso asociado a cada observación. "Si a una observación se le da una varianza infinita, su peso será 0 y por tanto podrá variar libremente en el ajuste, por otro lado si una observación recibe una varianza cero su peso se aproximará a infinito y no se permitirá que cambie en el ajuste" [MIK76]. Tal como señala Björk, el método es muy atractivo, puesto que a su aparente simplicidad se suma el hecho de que es posible emplear un método de resolución correspondiente a mínimos cuadrados no restringidos, ya que si el conjunto de restricciones y de ecuaciones de observación son independientes entre sí, la matriz resultante en el ajuste mínimo cuadrático es de

rango completo. Sin embargo "para grandes valores de γ la matriz está mal condicionada ... y el método de las ecuaciones normales fallará para grandes valores de γ " ([BjÖ96] p. 192). De modo que este método puede presentar problemas de condicionamiento, precisamente cuando el valor de factor de peso es alto, lo cual se produce en el caso de las restricciones. Aún así es posible emplearlo en algunos casos. Una peculiaridad de este método durante la resolución de ajustes de sistemas no lineales y que, por tanto, necesitan resolución iterativa, es que los valores de los parámetros afectados por las restricciones cambian durante las iteraciones, de modo que es necesario reformular también la matriz de restricciones en cada iteración.

6.3. Ajuste con funciones de parámetros

El método de eliminación de parámetros produce finalmente una matriz de coeficientes para el sistema normal que es invertible, sin embargo este método presenta dificultades de programación cuando se pretenden implementar imposiciones de restricciones como las de un acimut o una lectura angular horizontal fija.

Es posible entonces emplear como alternativa el planteamiento que se enuncia a continuación, en el que se afronta la resolución del ajuste de un sistema formado por dos grupos de ecuaciones, uno correspondiente a las observaciones y otro correspondiente a las restricciones:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{I} + \mathbf{v}; \mathbf{R}^t \cdot \mathbf{x} = \mathbf{c}$$

donde \mathbf{R} es la matriz de coeficientes del conjunto de restricciones y \mathbf{c} es el vector de constantes.

La función a minimizar será:

$$\phi = \mathbf{v}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} + 2 \cdot \mathbf{k}_1^t (\mathbf{I} + \mathbf{v} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}) + 2 \cdot \mathbf{k}_2^t (\mathbf{R}^t \cdot \mathbf{x} - \mathbf{c}).$$

Derivando e imponiendo la condición de mínimo, se llega al planteamiento de orlado de la matriz de ecuaciones normales de la forma siguiente:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} & \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^t & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ -\mathbf{k}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{I} \\ \mathbf{c} \end{bmatrix}$$

La solución a este sistema puede realizarse bien directamente mediante la inversión de la nueva matriz de coeficientes, puesto que ahora se trata de una matriz de rango completo siempre que las restricciones impuestas sean independientes, o también puede emplearse la expresión denominada como método de adición de ecuaciones normales:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} + \mathbf{R} \cdot \mathbf{R}^t)^{-1} (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{I} + \mathbf{R} \cdot \mathbf{c}).$$

Esta expresión del sistema normal puede obtenerse también de la consideración de dos grupos de observaciones diferentes que se integran en un mismo ajuste (Ajustes coordinados, [CHU96c]). Esta variante se ha denominado método secuencial y se ha empleado para modificar

ajustes de redes ya realizados, con la adición de nuevas observaciones que relacionan los mismos parámetros que las anteriores o bien la supresión de observaciones de esos ajustes, sin necesidad de resolver de nuevo el ajuste en su conjunto. La expresión a la que se llega, tomando conceptualmente la matriz de restricciones \mathbf{R} como una matriz de coeficientes asociada a un nuevo grupo de observaciones y una matriz de pesos asociada a ese nuevo grupo \mathbf{P}_2 , es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} & \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^t & -\mathbf{P}_2^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ -\mathbf{k}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{I} \\ \mathbf{c} \end{bmatrix}$$

No se ha demostrado aquí el método secuencial, pero el desarrollo hasta esta expresión puede seguirse en [LEI95] o [CHU96c] entre otros. El método secuencial resuelve la expresión anterior calculando dos términos: un primer término es calculado empleando el primer grupo de ecuaciones de observación y el segundo término con el segundo grupo de ecuaciones adicionales, para las cuales se obtiene el término $\Delta \mathbf{x}$ que modifica al primer término de la solución según la expresión:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{x}_1 + \Delta \mathbf{x}; \mathbf{x}_1 = (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{L} \\ \Delta \mathbf{x} &= -(\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{R}^t \cdot \\ &[\mathbf{P}_2^{-1} + \mathbf{R}^t \cdot (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{R}]^{-1} \cdot (\mathbf{R}^t \cdot \mathbf{x}_1 - \mathbf{c}) \end{aligned}$$

Este método de solución secuencial no es válido, en principio, para la imposición del datum, puesto que se basa en la existencia de una matriz no singular para la solución del primer grupo de ecuaciones, de modo que la matriz $(\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})$ no debe ser singular, para poder calcular su inversa. Por tanto no sería posible formular el grupo de ecuaciones de observación en la matriz de diseño \mathbf{A} y separadamente el grupo de restricciones en la matriz \mathbf{R} .

Sin embargo, la matriz de coeficientes del sistema normal ampliado en el método secuencial es de rango completo, siempre que las restricciones añadidas sean independientes. En este caso el sistema completo puede ser resuelto, puesto que existe la inversa de la matriz de coeficientes, pero puede con frecuencia estar mal condicionada, siendo numéricamente ineficaz el cálculo de la inversa, en función de las características de las submatrices (recuérdese que \mathbf{P}_2^{-1} puede ser una matriz nula cuando se exige el exacto cumplimiento de las restricciones). La solución del sistema puede alcanzarse mediante eliminación gaussiana, factorizando la matriz en un producto LU. Variando la formulación de la matriz \mathbf{P}_2^{-1} es posible realizar la imposición de las restricciones, exigiendo su cumplimiento estricto ($\mathbf{P}_2^{-1} = \mathbf{0}$) o bien introduciendo los valores adecuados de los varianzas asociadas a las restricciones. De esta manera pueden resolverse ajustes con restricciones mínimas y sobrerrestricciones, exigiendo en los casos de restricción estricta y ponderada.

Frente a otros métodos de resolución, como la eliminación de parámetros, este planteamiento presenta la ventaja de que el planteamiento de las ecuaciones de observación (matriz de diseño \mathbf{A}) y las restricciones

(matriz \mathbf{R}) se realiza por separado, de forma que si el usuario quiere variar el tipo de restricciones impuestas solamente es necesario modificar la matriz \mathbf{R} , sin tener que modificar la matriz de diseño. Así se consigue la flexibilidad deseada en la formulación del datum de la red topográfica.

El número de grados de libertad del ajuste se calcula mediante la diferencia entre el número de observaciones y de parámetros a determinar en el sistema. Con la adición de restricciones (independientes) se eliminan incógnitas en el sistema, por lo que se cumple:

$$g = m - n + r$$

siendo g el número de grados de libertad, m el número de observaciones, n el número de parámetros y r el número de restricciones.

Al añadir nuevas restricciones al ajuste aumenta el número de grados de libertad, puesto que aumenta la redundancia de las observaciones que se emplean en la determinación de un menor número de parámetros. Con la adición de un excesivo número de restricciones puede llegarse a hacerse inútil la necesidad del ajuste, si la mayoría de los parámetros resultan fijados en las mismas. Además, si las restricciones añadidas no son matemáticamente independientes puede ocurrir que un número r de restricciones no eliminen r parámetros del ajuste a causa de dicha dependencia matemática. Por otro lado, las restricciones constituyen información externa al conjunto de observaciones a ajustar y pueden transmitir los errores que contengan a los parámetros que se trata de determinar.

7. MEDIDAS DE PRECISIÓN Y FIABILIDAD

Una vez resuelto el ajuste de una red topográfica es conveniente estudiar su calidad. Para ello es necesario describir los aspectos relativos a la precisión y la fiabilidad. Por precisión puede entenderse el modo en que la calidad de las observaciones afecta a los resultados del ajuste a través de la geometría de la red, y mide las características de la red en cuanto a la propagación de errores aleatorios. La fiabilidad de una red se refiere a la robustez de la misma, es decir, a la capacidad de resistir errores groseros indetectables en las observaciones, o lo que es lo mismo, "hace referencia a la controlabilidad de las observaciones, la capacidad de detectar errores y de estimar los efectos de errores no detectados sobre la solución" [LEI95]. Para valorar estos aspectos es posible emplear múltiples indicadores, tanto globales como parciales. Son frecuentes las elipses de error locales y relativas como indicadores de precisión y los números de redundancia interna y los parámetros λ_0 para la fiabilidad.

7.1. Elipses de error absolutas y relativas

Las desviaciones estándar de las coordenadas de un punto de la red pueden calcularse a partir de la matriz varianza-covarianza de los parámetros. Éstas desviaciones dan una indicación de la estimación del error

en las direcciones de los ejes \mathbf{X} e \mathbf{Y} . Tanto la solución mínimo cuadrática de las coordenadas \mathbf{x} como la de las coordenadas \mathbf{y} son variables aleatorias y se considera que el error posicional de una estación sigue una distribución normal bivalente. Interesa conocer la precisión de las coordenadas de las estaciones en cualquier dirección, no solamente en las direcciones \mathbf{X} e \mathbf{Y} , de modo especial en aquellas direcciones \mathbf{u} y \mathbf{v} para las que el valor del error es máximo. La demostración del cálculo de los parámetros asociados a la elipse de error puede encontrarse en casi todos los textos de referencia.

Como resultado es posible conocer el valor de la desviación típica asociada a las coordenadas \mathbf{x} e \mathbf{y} de una estación en las direcciones \mathbf{u} y \mathbf{v} con las expresiones:

$$\sigma_{uu} = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_{uu}} ; \sigma_w = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_w}$$

Estos valores obtenidos son los que corresponden a los semiejes mayor y menor de la elipse de error estándar correspondiente a una probabilidad del 39,4%. Evidentemente no es éste un nivel de probabilidad adecuado y es necesario calcular los valores de los semiejes para otros niveles de probabilidad, para lo cual se calculan los factores de expansión correspondientes.

El cálculo de las elipses de error se basa, como se ha mencionado anteriormente, en la matriz varianza-covarianza de los parámetros, calculada una vez resuelto el ajuste a partir de la inversión de la matriz de ecuaciones normales y realizado el escalado de dicha matriz con el valor de la varianza de referencia o varianza unidad. Existen diversidad de opiniones entre autores sobre si este escalado debe realizarse a partir de la varianza de referencia *a priori* o *a posteriori*.

Algunos se limitan a expresar las dos posibilidades, especificando los casos de varianza de referencia unidad conocida o desconocida [STR97], haciendo notar especialmente la distinta función de distribución que debe emplearse en ambos casos para el cálculo de los factores de expansión durante el cálculo de los semiejes de la elipse de error para un nivel de confianza dado. Si σ_0 es conocida, se empleará la distribución χ^2 con 2 grados de libertad, siendo entonces el valor del factor de expansión

$$c = \sqrt{\chi_{1-\alpha}^2(2)}$$

y los valores de los semiejes:

$$a = c \cdot \sigma_{uu} ; b = c \cdot \sigma_w$$

mientras que si es desconocida se empleará la distribución de Fisher $F_{1-\alpha}(2,r)$, resultando para el factor de expansión:

$$c = \sqrt{2 \cdot F_{1-\alpha}(2,r)}$$

Además de esta consideración, en el orden puramente práctico se realizan comentarios mucho menos precisos. En general, se considera el

problema después de obtener el resultado del denominado "Test de bondad del ajuste", junto con el nivel de fiabilidad que el usuario presupone a la matriz de pesos que ha hecho intervenir en el ajuste. Si el test resulta en un rechazo de la hipótesis nula de igualdad de la varianza de referencia *a priori* y *a posteriori*, se declara que existe un problema en el ajuste y las elipses no tienen significación. Si en el "Test de bondad" la hipótesis nula no es rechazada con el nivel de confianza escogido, existen diversidad de opiniones. Algunos [WOL97] [COO87] declaran explícitamente que en este caso el valor de la varianza de referencia *a posteriori* es solamente una estimación del valor real de la varianza de referencia *a priori* y, por tanto, es este último valor el que debe emplearse para escalar la matriz cofactor de los parámetros, con lo cual en la mayoría de los casos $\Sigma \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q} \hat{\mathbf{x}}$ puesto que se toma la unidad como valor de la varianza de referencia. Otros autores [LEI95] emplean la varianza de referencia *a posteriori* para el cálculo de $\Sigma \mathbf{x}$.

Las elipses relativas estándar de error pueden calcularse para un par de puntos en una red planimétrica. Las diferencias de coordenadas para un par de puntos pueden escribirse como:

$$\Delta = \mathbf{B} \cdot \mathbf{y} \quad \Sigma_{\Delta} = \mathbf{B} \cdot \Sigma_{\mathbf{y}} \cdot \mathbf{B}^T$$

de modo que:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{\Delta} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x}^2 & \sigma_{\Delta x, \Delta y}^2 \\ \sigma_{\Delta y, \Delta x}^2 & \sigma_{\Delta y}^2 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2 - 2\sigma_{x1,x2} & \sigma_{x1,y1} - \sigma_{x1,y2} - \sigma_{x2,y1} + \sigma_{x2,y2} \\ \text{simétrica} & \sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2 - 2\sigma_{y1,y2} \end{bmatrix}$$

Ahora la matriz Σ_{Δ} puede utilizarse como una submatriz de una estación cualquiera para calcular los parámetros de la elipse relativa. [COO87] [STR97].

Considerando la posibilidad de una mala asignación de los pesos *a priori* se proponen dos soluciones al menos: el reescalado de la matriz varianza-covarianza *a priori* con otro valor de la varianza de referencia *a priori* [COO87], aunque esta posibilidad resolvería el problema en aquellos casos donde todas las observaciones fueran del mismo tipo (piénsese por ejemplo el caso del ajuste de una red de nivelación). La otra posibilidad consiste en cambiar la distribución de pesos relativa entre grupos de observaciones de distinta naturaleza de las que intervienen en el ajuste. Debe tenerse en cuenta que la obtención de unos valores "razonables" para los semiejes de las elipses de error no puede considerarse como un signo de haber realizado un buen ajuste, a menos que el Test de bondad del ajuste haya sido pasado.

En el caso de un ajuste de baselíneas GPS, el cálculo de las elipses de error es ligeramente distinto. Finalizado el ajuste se realiza la inversión de la matriz de coeficientes del sistema de ecuaciones normales. Esta inversión produce la matriz de covarianzas \mathbf{Q}_{xx} formulada en coordenadas geocéntricas correspondientes al elipsoide de referencia WGS84. En este sistema el cálculo de las elipses de error o del elipsoide no tiene ninguna significación inmediata para el usuario. Es necesario transformar esta matriz al sistema geodésico local y expresarla en unidades lineales y no angulares.

7.2. Fiabilidad interna. Números de redundancia

Estos números sirven para valorar la capacidad de la red para detectar errores en las observaciones. La matriz cofactor de los residuos tiene la expresión siguiente:

$$\mathbf{Q}_v = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T$$

Si se calcula su traza se tendrá que:

$$\begin{aligned} \text{Tr}(\mathbf{Q}_v \cdot \mathbf{P}) &= \text{Tr}(\mathbf{I} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T) = \\ &= \text{Tr}(\mathbf{I}) - \text{Tr}(\mathbf{A} \cdot \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T) = \mathbf{n} - \mathbf{u} \end{aligned}$$

donde \mathbf{n} es el número de ecuaciones de observación y \mathbf{u} es el número de parámetros. La diferencia $\mathbf{n} - \mathbf{u}$ es el número de grados de libertad del ajuste.

Por tanto, se tienen que la suma de los elementos de la diagonal de la matriz $\mathbf{Q}_v \cdot \mathbf{P}$ es igual al número de grados de libertad del ajuste. Cada elemento de la diagonal citada se denomina número de redundancia y está asociado a cada observación y representa la contribución de la misma al número de grados de libertad del sistema. Si la matriz de pesos es diagonal, podrá escribirse que $\mathbf{r}_i = \mathbf{q}_{vvi} - \mathbf{p}_i$, de modo que el número de redundancia depende del peso y del elemento de la diagonal correspondiente a esa observación. De la expresión anterior para \mathbf{Q}_v puede deducirse, si la matriz de pesos es diagonal, que: $0 \leq \mathbf{q}_i \leq (1/\mathbf{p}_i)$ y multiplicando por \mathbf{p}_i se tiene que $0 \leq \mathbf{r}_i \leq 1$.

Un número de redundancia igual a uno indica una observación absolutamente determinada (por ejemplo una distancia entre dos puntos fijos). Un número de redundancia igual a cero indica una observación sin ninguna comprobación en absoluto (por ejemplo en una radiación). Leick [LEI95] razona, a partir de la expresión $\mathbf{Q}_{La} = \mathbf{Q}_{Lb} - \mathbf{Q}_v$, diciendo que la imprecisión asociada a las observaciones se reparte entre los residuos y las observaciones ajustadas. Lógicamente es preferible que la mayor parte de esa indeterminación quede asociada a los residuos, de modo que las observaciones ajustadas alcancen una mayor precisión, en ese caso \mathbf{Q}_v será cercano a \mathbf{Q}_{Lb} . Por tanto, en el producto $\mathbf{Q}_v \cdot \mathbf{P}$ los elementos de la diagonal son próximos a $\mathbf{1}$, suponiendo la matriz de pesos diagonal bajo el supuesto de independencia estadística de las observaciones. Si \mathbf{r}_i es cercano a $\mathbf{0}$ entonces es esperable que el elemento diagonal de la matriz \mathbf{Q}_v sea pequeño y, por tanto, una pequeña can-

tividad del ruido aleatorio que acompaña a las observaciones se haya trasladado a los residuos.

El número de redundancia medio de la red se define como:

$$r_{av} = (\mathbf{n} - \mathbf{u})/\mathbf{n} = \mathbf{r}/\mathbf{n}$$

La comparación de los números de redundancia de las observaciones pertenecientes a distintas zonas de la red con el número de redundancia medio, permite descubrir zonas débiles de la misma. Por otro lado, Harvey [HAR91] cita unos ejemplos de valores de los números de redundancia para distintas clases de redes:

TIPO DE RED	Número de redundancia típico
Radiaciones	0
Poligonales	0,1-0,2
Nivelación	0,2-0,5
Redes trilateradas	0,3-0,6
Redes con distancias y lecturas angulares	0,5-0,8

Los números de redundancia dependen de la matriz de pesos y de la matriz **A** de diseño y son unos indicadores que pueden calcularse durante la fase de diseño en función de la calidad de las observaciones planificadas y de la configuración geométrica de la red. Asociado al concepto de número de redundancia se encuentra el de "Mínimo error marginal detectable".

7.3. Fiabilidad externa

La fiabilidad externa, trata de valorar cuál será la influencia de los errores indetectables de las observaciones sobre los parámetros obtenidos. Esto es especialmente importante, por ejemplo, en el análisis de deformaciones, determinando lo que en ocasiones se ha denominado la sensibilidad de la red.

Supongamos que existe un error de magnitud $\nabla \mathbf{i}$ en la observación *i*-ésima. La solución mínimo cuadrática en un caso general en el que se halla eliminado la singularidad de la matriz de coeficientes del sistema de ecuaciones normales, puede ponerse como:

$$\hat{\mathbf{x}} = -\mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P}(\mathbf{L} - \mathbf{e}_i \cdot \nabla \mathbf{i})$$

donde $\mathbf{e}_i = [0 \dots 1 \dots 0]^T$

El efecto de error en una sola observación afecta a todo el vector de parámetros, de modo que podemos escribir el error que se transmite a los parámetros con la expresión siguiente:

$$\nabla \mathbf{X} = \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{e}_i \cdot \nabla \mathbf{i}$$

Así es posible calcular los errores que inducirán los errores indetectados de las observaciones sobre los parámetros. Dado que existen **n** obser-

vaciones es posible calcular **n** vectores distintos que expresan las distintas influencias de errores groseros sobre el ajuste. Según Leick [LEI95] el parámetro siguiente puede usarse como medida de la fiabilidad externa de la red, siendo ∇_{0i} el límite del error marginal detectable. En esa situación se puede poner que:

$$\lambda_{0i}^2 = \frac{\nabla_{0i} \cdot \mathbf{e}_i^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{e}_i \cdot \nabla_{0i}}{\sigma_0^2} = \frac{\nabla_{0i}^2 \cdot \mathbf{e}_i^T \cdot \mathbf{P}(\mathbf{I} - \mathbf{Q}_V \cdot \mathbf{P})\mathbf{e}_i}{\sigma_0^2} = \frac{\nabla_{0i}^2 \cdot \mathbf{p}_i(1 - r_i)}{\sigma_0^2}$$

De modo que si los valores de λ_{0i} son aproximadamente iguales la red es homogénea con respecto a la fiabilidad de sus parámetros y, por otro lado, si los números de redundancia son bajos el factor de fiabilidad externa crece y la distorsión producida sobre los parámetros por un error puede ser elevada.

8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO POSTERIOR AL AJUSTE

El análisis estadístico posterior al ajuste se concentra en la estimación de la calidad global del mismo mediante el Test de bondad y en la detección de errores groseros de pequeña magnitud. Los errores de magnitudes grandes son fácilmente detectables, puesto que producen grandes residuos en las observaciones de una zona concreta de la red e incluso en casos de resolución de problemas linealizados pueden ocasionar la no-convergencia del proceso. Este análisis se basa en la realización de tests estadísticos sobre los residuos de las observaciones.

8.1. Test de bondad del ajuste

También denominado "Test global", este test sirve para determinar si la varianza de referencia *a posteriori* $\hat{\sigma}_0^2$ es compatible con la varianza de referencia *a priori*. El estadístico empleado en el test es:

$$\mathbf{y} = \mathbf{r} \hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2$$

donde **r** es el número de grados de libertad del ajuste.

Bajo la hipótesis nula puede demostrarse que el estadístico sigue una distribución $\chi^2(\mathbf{r})$ con **r** grados de libertad, de modo que como la esperanza matemática de $\chi^2(\mathbf{r})$ es **r**, podemos poner que:

$$\mathbf{E}\{\mathbf{y}|\mathbf{H}_0\} = \mathbf{r} \Rightarrow \mathbf{E}\{\hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2|\mathbf{H}_0\} = 1$$

lo cual implica que:

$$\mathbf{E}\{\hat{\sigma}_0^2|\mathbf{H}_0\} = \sigma_0^2$$

Por tanto la hipótesis nula del test afirma la igualdad estadística entre las varianzas de referencia *a priori* y *a posteriori*.

Si fijamos un nivel de significación α (un valor de 0,01 es usado con frecuencia) para el test de hipótesis de dos colas, la hipótesis nula será aceptada si el estadístico cumple que:

$$\chi^2_{\alpha/2}(\mathbf{r}) \leq \mathbf{y} \leq \chi^2_{1-(\alpha/2)}(\mathbf{r})$$

Como causas del fallo del test anterior pueden considerarse una distribución incorrecta de los pesos de las observaciones o bien la existencia de errores groseros en las observaciones. Para poder discernir cual de estas dos posibles causas provoca el fallo del test, es conveniente analizar el vector de los residuos. La existencia de un error grosero en las observaciones se traducirá en unos residuos de magnitudes elevadas y con media diferente de cero. Si, por el contrario, los residuos parecen de magnitudes razonables, debe pensarse en la primera de las causas.

Si recordamos la expresión

$$\hat{\sigma}_0^2 = (\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}) / \mathbf{r} = (\mathbf{v}^T \cdot \sigma_0^2 \cdot \sum^{-1} \cdot \mathbf{v}) / \mathbf{r}$$

se llega a que

$$\mathbf{y} = \mathbf{v}^T \cdot \sum^{-1} \cdot \mathbf{v}$$

dependiendo exclusivamente del vector residuos y de la matriz varianza-covarianza de las observaciones. Por tanto, el estadístico es inversamente proporcional a la matriz varianza-covarianza de las observaciones. Un valor reducido del estadístico indicará que la varianza asociada a alguna de las observaciones es demasiado grande, de modo que se ha considerado alguna de las observaciones menos precisa de lo que lo es en realidad. Por el contrario, un valor del estadístico elevado indicará una varianza demasiado pequeña en alguna observación, habiéndose por tanto sobreestimado la precisión de alguna de las observaciones. En este caso se recomienda una reconstrucción de la matriz de varianzas-covarianzas de las observaciones. [LEI95].

8.2. "Data Snooping". Test de Baarda

Bajo esta denominación se encuentra una técnica que combina la detección de los residuos anormalmente grandes bajo un cierto criterio estadístico y la localización del error grosero y su eliminación. La existencia de errores groseros en los datos es aún una hipótesis alternativa a la hipótesis nula considerada en el test de bondad del ajuste, por ello Baarda trabaja bajo el supuesto de que solamente una observación de cada vez está afectada por un error grosero. El estadístico elegido para el test de hipótesis es:

$$w_i = \frac{-v_i}{\sqrt{r_i \cdot \sigma_{1_i}}} = \frac{v_i}{\sigma_{w_i}} = \frac{v_i}{\sigma_0 \cdot \sqrt{q_{w_i}}}$$

donde q_{w_i} es el elemento de la diagonal de la matriz cofactor de los residuos correspondiente a la observación i-ésima, σ_{w_i} es la desvia-

ción típica del residuo de la observación i-ésima, r_i es el número de redundancia de la observación y σ_0 es la desviación típica de referencia a priori [LEI95].

Se puede demostrar que bajo la hipótesis nula el estadístico w_i está normalmente distribuido con media cero y varianza unidad, de modo que:

$$w_i | H_0 \in n(0,1).$$

Si realizamos un test de dos colas para un nivel de significación α tendremos que H_0 es aceptada si el estadístico se encuentra en el intervalo siguiente:

$$N_{\alpha/2}(0,1) \leq w_i \leq N_{1-(\alpha/2)}(0,1)$$

Varios autores [HAR91] [WOL97] afirman que un valor de 3,29 funciona bien como criterio de rechazo de residuos con observaciones asociadas conteniendo errores groseros, por tanto una observación deberá ser marcada como sospechosa de contener un error grosero cuando

$$|w_i| > 3,29$$

9. REFERENCIAS

- [BJÖ96] Björck, Ake (1996). "Numerical Methods for Least squares Problems". Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [CAS88] Caspary, W. F. (1988). "Concepts of network and deformation analysis". The University of New South Wales. Monograph 11.
- [COO87] Cooper, M. A. R. (1987). "Control surveys in civil engineering". Collins Profesional and Technical Books.
- [CRO83] Cross, P. A. (1983). "Advanced least squares applied to position fixing". North East London Polytechnic. Working papers.
- [CHU96c] Chueca Pazos, Manuel; Herráez Boquera, José; Berné Valero, José Luis (1996). "Redes Topográficas y locales. Microgeodesia". Tratado de Topografía. Tomo III. Paraninfo.
- [HAR91] Harvey, Bruce R. (1991). "Practical Least Squares and statistics for surveyors". The University of New South Wales. Monograph 13.
- [LEI95] Leick, Alfred (1995). "GPS Satellite surveying". Second edition. John Willey & Sons.
- [MIK76] Mikhail Edward M., Ackermann F (1976). "Observations and Least Squares". Harper & Row Publishers.
- [STR97] Strang, Gilbert; Borre Kai. (1997). "Linear Algebra, Geodesy and GPS". Wellesley Cambridge Press.
- [WOL97] Wolf Paul R., Ghilani Charles D. (1997). "Adjustment Computations". Wiley Interscience. ■

Nuevas técnicas para la determinación de altitudes

Michel Kasser

IGN FRANCIA

I. UNA SOMERA REVISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA DETERMINACIÓN DE ALTITUDES

Las diversas técnicas de determinación de altitudes son bien conocidas. De cada una citaremos sus ventajas específicas e inconvenientes.

A - Nivelación directa (geométrica o geodésica)

La nivelación directa se efectúa por medio de un nivel y uno o dos jalones o miras graduadas. Los diversos errores se describen en múltiples publicaciones, por lo que no se presentan aquí.

- El nivel puede ser óptico-mecánico o digital, lo que supone distintos niveles de seguridad en lo que respecta a los posibles errores y también diferentes niveles de precisión. La precisión puede fluctuar entre los 0,3 mm/km (en condiciones excepcionales y con instrumentos y procedimientos de campo muy específicos) y los 0,5 mm/km, e incluso más. Hoy día resulta que los mejores niveles digitales no permiten obtener una precisión equiparable a la de los antiguos niveles de alta precisión (los niveles automáticos o de líquidos alcohólicos), pero su facilidad de uso es notablemente superior y es difícil que con ellos se cometan fallos.
- El equipo debe de ser empleado al menos por dos personas: el observador y el portamiras, aunque para mayor precisión se necesitan mejor dos portamiras. Cuando se realizan trabajos a lo largo de carreteras es a menudo obligatorio el disponer de otra persona que proteja del tráfico. Los equipos pueden instalarse sobre vehículos para mejorar su eficacia (nivelación motorizada) y el equipo humano fluctúa entre dos a cuatro personas.
- La producción diaria depende de los equipos y de las personas empleadas y varía de unos 4 km a más de 30 km por día.

B - Nivelación indirecta o trigonométrica

Se basa en el uso de teodolitos y de equipos de Medición Electrónica de Distancias, para medir los ángulos cenitales y las distancias de las pendientes entre las estaciones. Esta metodología es generalmente más rápida que la nivelación directa, y de menor precisión debido a los efectos

de la refracción. Una excepción es la nivelación indirecta o trigonométrica, realizada empleando mediciones recíprocas simultáneas. Este es un método que puede motorizarse y ha sido ampliamente desarrollado y empleado en el IGN de Francia, desde 1982, en la red de nivelación nacional (NGF). Sus características más importantes incluyen:

- La posibilidad de disponer de una amplia variedad de costes de ejecución entre las mediciones de baja y alta precisión. La especificación de la longitud máxima de la visual ha tenido un impacto muy importante sobre la precisión y sobre la producción diaria.
- La posibilidad de conseguir los mismos estándares de precisión que con la nivelación directa, con un modelo de errores bastante diferente. La desviación típica es generalmente mayor (debido a la capacidad de hacer la puntería mucho mejor en los niveles con micrómetros paralelos de placa) y, por otro lado, los sesgos son generalmente mucho menores (ya que la línea de puntería es estadísticamente más o menos normal al gradiente del índice de refracción, lo que no sucede en el caso de la nivelación directa).
- Una productividad que es de alto nivel, incluso en las zonas montañosas.

El uso de un taquímetro permite operaciones de nivelación rápida, con una precisión limitada si los rangos o distancias observados son largos, y si el taquímetro incluye un equipo de Medición Electrónica de Distancias sin reflector; permite realizar, de forma muy conveniente, la determinación de alturas de detalles topográficos naturales cercanos a la estación con una precisión de 0,5 a 1 cm. Esta característica es muy útil en zonas urbanas.

C - Uso del GPS

El GPS puede emplearse en la determinación de altitudes. Sus características principales en este tipo de operaciones son:

- Las señales no tienen que estar situadas a lo largo de carreteras, pero necesitan que exista un espacio abierto sobre ellas, lo que no es siempre posible en áreas urbanas densas y hemos de recordar que la mayoría de los trabajos topográficos se efectúan en áreas urbanas.
- La determinación de los errores es comparativamente muy amplia y depende de la duración de las mediciones. Los errores apenas superan los 2 cm de media cuadrática (no se debe de confundir la con-

sistencia interna suministrada por los cálculos con la precisión) y su dependencia con la distancia entre estaciones es muy pequeña. El error aumenta con la diferencia de altitudes y depende notablemente de la duración de las observaciones y del tipo de cálculos.

- Se requiere un conocimiento excelente de la Superficie de Altitud Cero (SAC) (cerca al Geoide y, a menudo, presentada incorrectamente como si se tratase de la misma cosa), ya que el GPS sólo suministra observaciones geométricas y la altitud es una información geopotencial. Sólo en muy pocos países (entre los que se encuentran la mayoría de los europeos) existe esta información disponible con una precisión comparable a la de la componente vertical de GPS obtenida a lo largo de una sesión de dos horas de duración.

Si no se dispone de la Superficie de Altitud Cero, el topógrafo tiene de la posibilidad de usar el GPS sobre una zona de extensión limitada, midiendo la discrepancia entre la altitud oficial y la altitud elipsoidal. Para ello realizará mediciones de GPS sobre un conjunto de señales de la red de nivelación nacional, con una densidad tan homogénea como sea posible dentro de la zona (normalmente una señal cada 3 o 4 km puede ser lo correcto si el área no es muy montañosa; si la zona es montañosa los requisitos de precisión serán probablemente menores, de manera que esta densidad también puede ser aceptable). Si la discrepancia sólo tiene una variación de escasos centímetros, un sencillo modelo de interpolación matemática entre las señales ofrecerá la corrección necesaria con una precisión compatible con los 2 cm de media cuadrática, en la componente vertical de GPS.

El uso del GPS en aplicaciones topográficas se aborda en la actualidad, en algunos casos, empleando una configuración diferencial en tiempo real, lo que precisa de unos equipos más costosos aunque no necesita de trabajos de proceso posteriores. El condicionante principal de este enfoque es la posibilidad de disponer de un enlace de radio correcto (autorizaciones de emisión y una topografía que permita una recepción correcta en lugares lejanos a la estación emisora). Pero debe tenerse en consideración que el procesamiento *a posteriori* de los datos de GPS permite aprovechar datos que no se recibieron correctamente en tiempo real (resolución de ambigüedades después de una interrupción en la recepción), lo que significa que las aplicaciones en tiempo real deben de emplearse sólo cuando sea solicitado, lo que no siempre es la mejor elección.

En la actualidad, las estaciones permanentes ofrecen al topógrafo una opción interesante, ya que le permiten obtener la referencia altimétrica nacional empleando un solo receptor de GPS (en un tiempo de observación corto y en un radio de 10 a 15 km alrededor de la estación). Estaciones de este tipo están siendo instaladas por las agencias cartográficas nacionales (por ejemplo, "Swedesurvey" en Suecia, "L+T" en Suiza, "IGNF" en Francia, "RECORD" en España, etc.) o por las administraciones técnicas urbanas, con el fin de abaratar sus propios costes de producción, o por grupos científicos (por ejemplo, para hacer un seguimiento de las actividades tectónicas). El observador, al volver a su oficina después de sus observaciones en campo, puede "bajarse" del

ordenador las observaciones de la estación permanente más cercana (generalmente a través de Internet y en formato RINEX) antes de comenzar el procesamiento de los datos empleando los programas que prefiera.

2. SITUACIONES TÍPICAS QUE SE PRESENTAN EN LA DETERMINACIÓN DE ALTITUDES

En la mayoría de los casos se precisa realizar operaciones para la determinación de altitudes con alta precisión siempre que en alguna parte de la zona las aguas deban de fluir libremente impulsadas por la fuerza de la gravedad, al menos potencialmente (por ejemplo en alcantarillados, riegos, drenajes, etc.). Más aun, todas las redes nacionales de nivelación han sido establecidas básicamente por estos motivos.

Vamos a seleccionar unos cuantos trabajos típicos en los que se pide a los topógrafos que efectúen nivelaciones.

A - Nivelación fundamental de la red nacional

Aunque esta actividad es efectuada generalmente por alguna oficina nacional oficial, puede suceder que en algunos países sea observada parcialmente bajo el control de esta oficina y es interesante el analizar esta actividad tan altamente especializada. Su fin es el implantar señales de nivelación por todo el país, con una variación en la densidad de las mismas que está relacionada con la densidad de la población, con una precisión local milimétrica, y alcanzando una magnitud en los errores lo menor posible. Esta red debe de observarse con el menor coste posible compatible con la precisión exigida y debe de comprobarse periódicamente, debido a la posible destrucción de señales. La información de altitudes debe ser accesible y al menor coste posible. Se debe de alentar a todos los topógrafos a emplear este único sistema nacional de altitudes, a fin de estimular la sinergia entre los diversos trabajos topográficos públicos y privados y mejorar la economía del país.

B - Red de densificación urbana

Su finalidad es realizar la nivelación en un gran número de señales, de las que algunas son naturales (bocas de alcantarillas, bordes de aceras, etc.) y otras son unas señales especiales, en las que se debe de prestar una especial atención a su conservación. Las aplicaciones están en su mayoría relacionadas también con el movimiento del agua ocasionado por la gravedad (por ejemplo, en el sistema de alcantarillado). En la mayoría de los casos la precisión requerida es alta (generalmente de 1 a 5 mm en relación con la red de nivelación nacional). El cliente suele ser un servicio técnico de la ciudad, que generalmente se preocupará más de la densidad, costes y conservación de las señales, que de la precisión.

C - Red semiurbana

Estas redes se necesitan para la preparación de nuevos trabajos, tales como los de urbanización, ampliación de la red de alcantarillado, colo-

cación de señales para una nueva carretera, autopista o tren de alta velocidad, etc. La precisión requerida será del mismo tipo (de 1 a 5 mm en relación con la red de nivelación nacional), pero la densidad de las señales será baja y se usaran las señales clásicas.

D - Determinación de altitudes en el ámbito rural

Pueden necesitarse si la red de nivelación nacional no es lo suficientemente densa y se planea alguna actividad hidráulica (traídas de aguas en pueblos, drenajes en zonas llanas, etc.). La densidad será baja pero las referencias se encontrarán probablemente muy lejos del lugar de trabajo.

E - Control de estabilidad

Para determinar los movimientos y deformaciones en un puente, en una presa, en un edificio alto o en edificios normales, durante la excavación de un túnel por debajo de los mismos. Lo más importante es obtener la mayor precisión posible, mediante unas referencias locales establecidas exclusivamente para estos trabajos, y posiblemente sin relación con la red de nivelación nacional.

F - Guía y control de maquinaria de construcción en tiempo real

Esto es cada vez más importante para aumentar la productividad en los trabajos de ingeniería civil y, en especial, en la construcción de carreteras, autopistas y líneas de ferrocarril. Existen muchas posibles especificaciones de precisión. El grosor de la capa de base en las carreteras debe de controlarse dentro de los 5 centímetros y las últimas capas, formadas con materiales bastante costosos, deben de tener un control de espesor dentro de los 5 mm. Se requiere, cada vez con mayor frecuencia, que el control geométrico sea permanente, sin ninguna interrupción, para poder estacionar los instrumentos en cualquier sección nueva, y ser perfectamente fiable para cualquier perfil.

3. ¿CUÁL ES LA TÉCNICA ÓPTIMA HOY DÍA PARA ESTE TIPO DE TRABAJOS?

En lo que respecta al caso A, una gran parte (o la totalidad) de la red debe de ser observada mediante nivelación motorizada o mediante nivelación trigonométrica motorizada en secciones de áreas montañosas. La cuestión surge en la posibilidad de emplear GPS en algunas partes. Se debe de recordar que los diversos órdenes de nivelación se deben a las enormes dificultades que los geodestas experimentaron en el pasado, con los ajustes por mínimos cuadrados, incluso con sistemas de ecuaciones muy modestos. La finalidad del primer orden era la de ofrecer un sistema de referencia nacional, con una densidad aceptable y que permitiera realizar una densificación ulterior de señales que no exigiese demasiados cálculos y observaciones. Hasta el momento, el primer orden ha constituido una necesidad técnica, pero sus señales no han teni-

do un valor especial para los usuarios normales. Incluso en algunos países, estas señales han sido difícilmente aprovechables. En Francia, hasta hace unos 20 años, la mayoría de las señales se encontraban a lo largo de líneas férreas y su uso se hizo peligroso en la era de los trenes de alta velocidad. Si en un país se dispone de unos buenos cálculos geodésicos que ofrezcan una Superficie de Altitud Cero a nivel centimétrico, o subcentimétrico, se debería considerar el sustituir el concepto de primer orden por el equivalente de una red nacional de referencia de altitudes, basada en estaciones observadas mediante GPS con la metodología de máxima precisión y, por supuesto, con las correcciones respecto a la Superficie de Altitud Cero; estas estaciones deben de situarse regularmente espaciadas, sin ninguna observación terrestre entre ellas. La distancia media entre ellas podría ser de 50 a 100 km, su precisión global se sitúa alrededor de los 2 cm (con una repetibilidad mucho mejor, de alrededor de los 3 a los 5 mm, aunque ¿a quien le preocupa la repetibilidad?). Esto ofrecería una superficie cero mucho más horizontal que la alcanzada con métodos clásicos y, por tanto, un sesgo mucho menor, aunque a expensas de una mayor desviación típica. De esta forma se conseguirían los fines de la red de nivelación nacional con unos costes muy inferiores a los de la actualidad.

En el caso B el GPS no es rentable: existen muchas situaciones en las que el cielo no es totalmente visible (cercañas a edificios, árboles, etc.) y demasiadas señales en las que es imposible el recibir con la antena directamente, de modo que sería necesario un taquímetro auxiliar, lo que limitaría las ventajas del GPS. Los equipos diferenciales en tiempo real generalmente no trabajan adecuadamente en medio de edificios, ya que se producen zonas de sombra. Nuestra opinión es que la mejor opción es la nivelación trigonométrica con taquímetros que dispongan de un equipo de Medición Electrónica de Distancias sin reflector, ya que:

- Permiten medir objetos naturales (tapas de alcantarillas, marcas sobre aceras y bordes de cemento, etc.), tal como a menudo se necesita, y con una sola persona si fuese necesario.
- La precisión obtenida es aceptable.
- El coste de los equipos es compatible con la economía de los topógrafos, ya que los taquímetros son una herramienta muy común en la profesión.
- El uso de un trípode muy alto (por ejemplo mayor que 2,2 m) o de señales murales colocadas muy alto sobre las paredes, es una característica muy útil, debido a las dificultades que surgen al mantener el eje óptico libre de interferencias de los viandantes o de los coches y camiones que pasen.

Otra solución sería el uso de un nivel digital con un jalón barato de fibra de vidrio (los jalones invar son mucho más caros), pero esto resulta menos eficaz si la densidad de puntos a levantar es alta.

En el caso C, teniendo en cuenta la baja densidad necesaria, podemos considerar el empleo de los niveles digitales, debido a su bajo coste, o el uso de taquímetros de alta precisión, con mediciones recíprocas y si-

multáneas de ángulos, si es que disponemos de estos equipos. Esto último sería lo preferible si la zona es grande o muy alargada y con dificultades de comunicación (como por ejemplo en una autopista nueva donde no existen carreteras para ir de una estación a otra).

En el caso D el GPS será generalmente la mejor solución económica, siempre que el trabajo no se realice en un área muy pequeña. Por supuesto que se puede considerar el empleo del GPS diferencial en tiempo real, si la topografía lo permite; ofrecerá una mayor seguridad en calidad y la integridad de los datos recogidos será comprobada antes de abandonar la zona. Así pues, será más interesante en aquellos casos en los que los costes de realizar una nueva medición, ocasionada por una falta de integridad en los datos, fuesen elevados.

En el caso E el uso de niveles óptico-mecánicos debe probablemente ser preferido debido a su insuperable precisión. Como complemento señalaremos que podemos utilizar niveles digitales y receptores de GPS como instrumentos para el control de estabilidad y para un seguimiento continuo automático:

- En lo que respecta a los niveles digitales, se puede fijar un jalón de la longitud requerida sobre un edificio, para que pueda ser monitorizado automáticamente mediante un nivel digital, que a su vez es controlado por un PC. Si el nivel digital dispone de motores para sus movimientos se pueden supervisar muchas señales (un comando para la dirección y otro comando para el enfoque). La precisión de este tipo de mediciones alcanza fácilmente el nivel de 0,1 mm, incluso en rangos de distancias superiores a los 20 m.
- En lo que respecta al GPS, el receptor necesario tendrá al menos capacidad para una única frecuencia, así como para la medición de fases y, si fuese posible, dispondrá de una gran memoria interna. Puede instalarse permanentemente sobre lo que se desee controlar, siempre teniendo una estación de referencia que no se encuentre demasiado lejos (por ejemplo, a menos de un kilómetro cuando queramos monitorizar un puente), una fuente de energía y, si fuese necesario, un cable para la transmisión de datos. Teniendo en cuenta la posibilidad de filtrar los datos, pueden detectarse movimientos verticales tan pequeños como de 2 a 5 mm a lo largo de periodos de varios días.

En el caso F se pueden considerar tres procedimientos, según se empleen el GPS, los equipos de láser o los taquímetros automáticos. Todos ellos han sido probados y las ventajas e inconvenientes difieren en cada caso:

- El GPS en modo diferencial en tiempo real, con antenas múltiples sobre la maquinaria, puede realizar un control permanente excelente, siempre que no existan zonas de sombras en las que los satélites no se puedan recibir (árboles y edificaciones altas, debajo de puentes y en secciones de túneles). Aunque generalmente su precisión no es la suficiente para las primeras capas de recubrimiento, ya que no puede garantizar una magnitud superior a 1 cm (y esto en situaciones muy buenas) siendo, por ahora, el coste del equipo bastante elevado. Pero será perfectamente compatible incluso con perfiles muy complejos.

- Los taquímetros automáticos motorizados suministran una precisión mucho mejor; alcanzando el nivel del milímetro incluso en zonas con sombras, en donde no se puede utilizar el GPS. Hay que establecer nuevas estaciones cada 50 a 200 metros (dependiendo de la topografía, ya que desde las estaciones nada debe de interponerse o limitar la visual de la máquina) y la continuidad del trabajo requiere que haya al menos dos equipos totalmente operativos. El precio de los equipos es menor que el del GPS y son mucho más versátiles y aptos para ser usados en otras aplicaciones y en muchas situaciones, y no sólo en el guiado de maquinaria de construcción.
- Los equipos de láser también permiten alcanzar una precisión milimétrica y su facilidad de puesta en funcionamiento es muy apreciada (configuración de "dos pendientes", una terminología inadecuada pero una técnica eficaz) y su coste es bajo. No permiten unas variaciones complicadas de pendientes o de perfiles y su rango es limitado, lo que exige el empleo permanente de, al menos, dos instrumentos (aunque generalmente se emplean tres) si se necesita un servicio de guía continuo.

En cualquier caso, debe de realizarse una cuidadosa estimación de los efectos de la refracción, ya que los taquímetros y los equipos de láser se usan a veces en distancias muy largas (500 m es una distancia alcanzable con algunos equipos de láser y un taquímetro automático puede fácilmente alcanzar mucho más). Debe de señalarse, así pues, que en estas distancias o rangos de trabajo los errores inducidos por la refracción son a menudo mayores que los errores instrumentales.

4. CONCLUSIÓN

Cada tipo de trabajo precisa de un cuidadoso análisis y de una evaluación continuada de que el método sigue siendo el óptimo hasta la fecha. Los topógrafos se habrán apercibido que desde hace algunos años las "determinaciones de altitud de precisión" no siempre son equivalentes a la "nivelación directa". Aquí se han presentado algunos ejemplos: la importancia del análisis expuesto dependerá probablemente de las condiciones económicas de cada país. Consideramos que el GPS se puede emplear en algunas ocasiones y en otras no. Lo mismo se puede aplicar a los taquímetros. Así que recomendamos a los topógrafos lo siguiente:

1. No sobrestimar la precisión del GPS. En este artículo no se pretende enfatizar la clásica discusión sobre la precisión vertical del GPS, aunque el topógrafo debe de estar al tanto de la gran discrepancia que existe entre la repetibilidad del GPS (unos pocos mm) y su precisión real (generalmente más de 2 cm de media cuadrática) ni subestimar los problemas que se presentan debido a los distintos marcos de referencia del GPS y de la red de nivelación nacional.
2. Tener para cada trabajo una idea clara, y actualizada de forma regular, de los aspectos económicos y de precisión en relación con los métodos disponibles. ■

El papel de la Topografía en el Nuevo Milenio

Robert W. Foster
PRESIDENTE DE LA FIG

Resumen

La mundialización y el desarrollo sostenible son dos conceptos que están siendo extensamente discutidos en la actualidad. El grado en el que la mundialización afectará a los topógrafos depende, en gran parte, en cómo los topógrafos definan su profesión y se sitúen en el escenario mundial. En este artículo se examinan las actividades de la Topografía, tal como han sido definidas por la FIG.

El concepto de desarrollo sostenible es una respuesta a muchos de los síntomas ocasionados por la desbordante superpoblación mundial y su impacto sobre el medio ambiente. En el desarrollo sostenible, cada generación utilizaría los recursos mundiales para atender a sus necesidades, sin impedir que las futuras puedan atender a las suyas. Se sugieren tres formas en las que la profesión topográfica puede contribuir a lograr un desarrollo sostenible. Se examina el papel de la FIG y se explica y examina detalladamente su plan de trabajo.

Las dos metas principales de dicho plan de trabajo son: mejorar la respuesta de la FIG a las necesidades de los estados miembros y desarrollar contactos con las agencias de la Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales, en el contexto de los planes de trabajo de las Comisiones.

MUNDIALIZACIÓN

El Dr. Peter Ellyard, en su presentación en el XX Congreso de la FIG de Melbourne, Australia, en 1994, señaló que la tendencia mundial que podía tener más importancia para el futuro de la Topografía era la que él denominaba “la creación de una sociedad y de una cultura planetarias”, y que es a lo que nosotros nos referimos comúnmente como “globalización”¹. En la prensa popular, el término “globalización” se emplea para referirse a la creciente red de inversiones y comercio que se extiende entre todas las naciones y que lleva a una aproximación de sus economías, arrastrando a sus culturas y sociedades durante el proceso. El surgimiento de un mercado común y de una moneda única en Europa es un ejemplo de ello. El “Acuerdo Norteamericano de Libre Comercio”, hecho de considerable controversia en mi país, es otro. El “Acuerdo General sobre Intercambio de Servicios” aporta un conjunto de reglas de conducta multilaterales en el intercambio de los servicios y crea un marco de trabajo para el proceso de la liberalización.

Recientemente, un comentarista citaba que “si hay algo obvio hoy en día, es el hecho de que la mundialización es una nueva y poderosa fuerza que

está borrando las fronteras nacionales y que está ligando al mundo en una red de comercio e inversiones, sin precedentes”.

Muchos topógrafos no se ven a sí mismos afectados por la mundialización. Muchos de nosotros trabajamos a escasos kilómetros de nuestras oficinas. No vendemos nuestros servicios más allá de los límites administrativos locales y vemos pocas posibilidades de hacerlo en un futuro próximo. Reconocemos que la mundialización, para los productores y fabricantes de bienes y servicios, es un factor económico de gran importancia que puede determinar la prosperidad o el fracaso. Unas pocas actividades, como las bancarias, de comunicaciones o de ocio y entretenimiento, hallan una enorme oportunidad en el fenómeno de la mundialización pero, para muchos de nosotros, la Topografía es un servicio local. Ésta es una visión miope de la Topografía. Es la visión limitada del practicante local (entre los que me encuentro) que ofrece sus servicios en su comunidad y, a veces, en las comunidades directamente adyacentes.

Una visión más amplia contempla a la Topografía en todas sus aplicaciones. Consideremos la definición de Topografía de la FIG, que describe nueve actividades que pueden ejercerse “bien sobre, por encima o por debajo de la superficie de la tierra o del mar, y que pueden desarrollarse en asociación con otros profesionales”. Brevemente, estas actividades son:

- La determinación de la forma y el tamaño de la tierra
- El posicionamiento de elementos físicos, estructuras y trabajos de ingeniería

¹ La palabra global, en español, tiene el significado, según el diccionario de María Moliner, de “... en conjunto, no desglosado en partes, partidas, etc.”, mientras que la palabra inglesa *global* tiene el de “mundial”. Es por tanto incorrecto traducir la palabra inglesa *globalization* por la española “globalización”, siendo su traducción correcta “mundialización”. Igualmente, la traducción correcta de *Global Positioning System* al español es “Sistema de Posicionamiento Mundial” y no “Global”, como normalmente se hace.

- La determinación de la situación de los límites de los terrenos públicos o privados
- El diseño, implantación y gestión de los Sistemas de Información Geográfica
- El estudio del medio ambiente natural y social, para la planificación del desarrollo de zonas urbanas, rurales y regionales
- La planificación y desarrollo de propiedades.
- La valoración y administración de propiedades
- La planificación, medición y gestión de trabajos de construcción
- La producción de planos, mapas, archivos, cartas (náuticas, aeronáuticas, etc.) e informes.

En mi país sólo una de estas nueve actividades es competencia exclusiva de los topógrafos, con licencia, en la mayoría de las jurisdicciones. Otras cuatro actividades son efectuadas por algunos topógrafos. Las cuatro restantes no se consideran dentro del ámbito de lo que conocemos como Topografía, en los EE.UU. Y esto también es cierto en otros muchos países: la definición de la FIG va más allá de la Topografía que se practica en la mayoría del mundo. Y mantengo que si hemos de tomar parte activa en la mundialización de este nuevo milenio, debemos ser consecuentes con la definición de quiénes somos y qué hacemos. Y si el posicionamiento y la medición se reconvierten, a causa de las nuevas tecnologías, en actividades puramente mecánicas, tal y como predicen muchos en nuestra profesión, a nosotros corresponde el ampliar el horizonte de nuestras actividades. Las asociaciones de aquellos países en los que la planificación, la valoración y la administración de terrenos no se consideren actividades topográficas, deben de esforzarse por incluirlas entre ellas. No será fácil. Habrá que modificar la legislación, el sistema educativo y las disposiciones institucionales. Puede que las consideraciones políticas también desempeñen su papel. Nos encontraremos con resistencia desde dentro y fuera de nuestra profesión. Sin embargo, si queremos que la Topografía esté presente en el escenario mundial, debe de expandir sus actividades, y debe ser clara en su propia definición.

La mundialización tendrá impacto sobre aquellos topógrafos que tengan una base de operaciones local. En su aspecto negativo, atraerá a los competidores extranjeros a nuestros propios patios traseros, sobre todo si la normalización, debida a la competencia en geomática, se hace realidad, tal y como ha sido propuesto en la "Organización de Normalización Internacional" (ISO). En el positivo, el reconocimiento internacional de la Topografía, en su más amplio sentido, puede acarrear un mejor estatus a todos los topógrafos. La Topografía no se contempla aún como una disciplina vital para todas las economías del mundo.

Volviendo a las palabras del Dr. Ellyard de 1994, en Melbourne, donde aconsejó que la profesión topográfica desarrollara una "clara visión de hacia dónde desea ir y en base a ello organizarse para poder llegar". La FIG ha aceptado este reto. Entre los objetivos del actual "Plan Estratégico de la FIG" está "el facilitar la evolución y el desarrollo de la profesión". La pro-

fesión topográfica debe de evolucionar y desarrollarse para estar a la altura de la evolución y el desarrollo de la economías mundiales que están experimentando la mundialización.

EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Supongamos que conocemos, o creemos conocer, los siguientes datos acerca de las condiciones actuales de nuestro mundo y de sus ocupantes:

- La población mundial se ha duplicado durante los últimos 40 años y hace pocos meses superó la cifra de 6.000 millones de habitantes. Se prevé que, en el año 2030, alcanzará los 8.500 millones, un nivel de población que muchos científicos piensan que es el máximo número de habitantes que pueden soportar los recursos del mundo y la capacidad de producción de alimentos.
- Menos de la mitad de la población mundial tiene un acceso seguro a la tierra. Las mujeres suponen aproximadamente la mitad de la población mundial y, sin embargo, el 70% viven en la pobreza y disfrutan de menos de un 1% de la riqueza del mundo.
- Los bosques lluviosos tropicales del mundo son cruciales para el clima del planeta y constituyen el hábitat de la mitad de las especies vivientes y, sin embargo, en 1990 estaban siendo destruidos a razón de 20 millones de hectáreas por año, según el "Instituto de Recursos Mundiales".
- El "Panel Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" predice que el calentamiento mundial puede ocasionar una elevación sustancial del nivel del mar alrededor del año 2090, debido al derretimiento del hielo de los casquetes polares. Grandes zonas costeras se pueden ver inundadas, incluidos los puertos de las naciones industriales y las áreas desérticas del norte de África. Otras fuentes predicen que, a mediados de este siglo, el 80% de la población mundial vivirá en franjas costeras de hasta 50 km de ancho. La combinación de las masivas inundaciones costeras y la tendencia de las poblaciones a asentarse en zonas costeras sugiere enormes fracturas y penurias sociales en un futuro próximo.

Por otro lado, es una ironía el hecho de que, de acuerdo con las estimaciones actuales, dos tercios de la población mundial vivirá en el año 2025 en condiciones de falta de recursos hídricos.

El concepto del desarrollo sostenible es una respuesta a estos informes sobre las desigualdades sociales y sobre las condiciones físicas de nuestro planeta. El desarrollo sostenible puede definirse como la utilización de los recursos mundiales de forma que atiendan a nuestras necesidades, sin por ello impedir que las generaciones del futuro atiendan a las suyas. La "Mesa Redonda de Bathurst sobre la Propiedad Inmobiliaria e Infraestructuras Catastrales para el Desarrollo Sostenible", que se celebró en Australia durante el pasado mes de octubre, redactó la "Declaración de Bathurst sobre la Gestión del Territorio para el Desarrollo

Sostenible". Es un documento que será, en los meses y años venideros, el principal tema de discusión y de referencia en múltiples foros. La Declaración recomienda un compromiso de ámbito mundial para:

1. Ofrecer a todos los hombres y mujeres, incluidos los indígenas, los que viven en la pobreza y otros grupos marginados, una seguridad legal efectiva en el acceso y posesión de las propiedades territoriales.
2. Aportar las reformas de la administración territorial esenciales para el desarrollo sostenible y facilitar a todos los hombres y mujeres el acceso pleno e igualitario a las oportunidades económicas relacionadas con la tierra, tales como créditos y recursos naturales.
3. Realizar las inversiones necesarias en infraestructuras en la administración territorial y en la difusión de la información territorial, fundamentales para conseguir estas reformas.
4. En el año 2010 reducir a la mitad el número de personas de todo el mundo sin acceso efectivo al derecho seguro de propiedad de la tierra.

Las recomendaciones son ambiciosas y precisan de un compromiso internacional unánime para alcanzar estos objetivos. La pregunta que se nos presenta es ¿Cómo ha de participar la comunidad topográfica en estas estimables aspiraciones? Sugeriré tres aspectos generales en los que podemos participar:

1. Somos expertos en la recogida de datos. Nuestros miembros son los profesionales que reúnen y cuantifican los datos de los terrenos y de sus recursos, de su valor y de su distribución actual.
2. Nuestros miembros son los profesionales que planifican los sistemas de catastro y de registro territorial, con el fin de permitir que los mercados intervengan equitativamente en la distribución de la tierra y de sus recursos; también intervienen en la crucial planificación de los usos de suelos urbanos y rurales. La gestión y administración territorial constituyen los intereses específicos de la Comisión 7 de la FIG, y la "Declaración de Bathurst" define la administración territorial como el proceso de determinar, registrar y difundir información acerca de la posesión, valor y uso de las tierras, cuando se implantan las políticas de usos del suelo. En virtud a esta definición, todas las comisiones de la FIG intervienen en la administración territorial.
3. Puede que la mayor dificultad para alcanzar un desarrollo sostenible sea el problema político de conseguir convencer a todas las naciones para que se concentren en el desarrollo de sus recursos y en la distribución de sus tierras, con el fin de atender a las necesidades de sus gentes, en tanto que las naciones más ricas sigan gastando recursos para atender a unos deseos "menos vitales" de su población. Estos problemas políticos sólo pueden ser resueltos mediante una eficaz educación pública, un esfuerzo en el que todos nuestros miembros pueden participar.

EL PAPEL DE LA FIG

Sabemos que nuestros miembros pueden contribuir en el esfuerzo para lograr un desarrollo sostenible; pero ahora la pregunta es ¿Cuál debe de ser el papel de la FIG en este nuevo milenio?

El actual Bureau de la FIG reconoce dos principios principales de organización. Primeramente, las comisiones de la FIG constituyen el corazón de la Federación. Realizan los trabajos en los campos técnicos por los que la FIG existe. Es nuestra intención el apoyar financieramente a las comisiones hasta los límites impuestos por las restricciones presupuestarias. También pretendemos que las comisiones sean responsables de sus planes de trabajo. Alentaremos sus esfuerzos y esperaremos con expectación sus resultados.

En segundo lugar, reconocemos que las asociaciones nacionales miembros son verdaderamente la FIG. Las asociaciones nacionales miembros aportan los fondos y los delegados de la FIG. Sin embargo, hemos encontrado que, históricamente, la directiva de las asociaciones nacionales miembros permanece fuera del contacto directo con la directiva y los trabajos de la FIG. Una asociación nacional miembro normal paga su suscripción y designa sus delegados, pero apenas tiene mayor relación con las tareas de la Federación. Rara vez las asociaciones nacionales miembros hacen comentarios acerca de los objetivos de la FIG o de sus políticas y actividades. El anterior presidente Dale inició la tradición de invitar a los directivos de las asociaciones nacionales miembros a las semanas de trabajo de la FIG, para poder discutir los asuntos de interés para ellos. Pretendemos continuar esta práctica. También apremiamos a que los delegados lleven la información de vuelta a sus asociaciones. Creemos que los delegados no deben de participar en los trabajos de las comisiones, ni en las deliberaciones de la Asamblea General, sin el compromiso, y algunas directrices, de sus asociaciones nacionales.

De forma más específica, el "Plan de Trabajo del Bureau de los EE.UU." para los años 2000 al 2003, cita como objetivo primordial *"la mejora de la respuesta de la FIG a las necesidades de los miembros de las asociaciones nacionales"*. El Bureau pretende conseguir esto por medio de:

1. Incrementar la eficacia y la capacidad de respuesta de los planes de trabajo de las comisiones, mediante una supervisión del Bureau.
2. Desarrollar productos, formación y servicios, con sus aplicaciones prácticas, para las asociaciones nacionales miembros y para sus integrantes individuales, a través de las comisiones.
3. Comunicar a las asociaciones nacionales miembros los logros de las comisiones.
4. Desarrollar contactos con las agencias de las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales, dentro del contexto de los planes de trabajo de las comisiones

Creemos que otra forma de atraer a las asociaciones nacionales miembros a una más estrecha relación de trabajo con la FIG, es permitiendo una selección más democrática del cuerpo administrativo de la FIG, cuerpo que hoy conocemos como "Bureau". Siguiendo la recomendación del "Grupo de Trabajo sobre Gobierno de la FIG", redactada por el Bureau del Reino Unido, se llevó una propuesta a la Asamblea General de Praga que trataba sobre la elección del Presidente y del Consejo Administrativo de la FIG. En lugar de elegir el cuerpo administrativo en base a la sede del próximo Congreso de la FIG, se hará una elección popular de estos directivos por la Asamblea General.

El desarrollo de contactos con las agencias de las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales, en el contexto de los planes de trabajo de las comisiones, ha sido tarea del Bureau de la FIG desde que dicha Bureau tuvo su sede en Finlandia, ya hace más de ocho años. Más recientemente, hemos nombrado al Profesor Ian Williamson de la Universidad de Melbourne, Australia, como "Director de Enlace entre la FIG y las Naciones Unidas", con el fin de asegurar y formalizar las relaciones entre ambas organizaciones.

LA FIG Y LAS NACIONES UNIDAS

En Melbourne, en octubre, a continuación de la reunión de Bathurst, se celebró una Mesa Redonda de la FIG y las Naciones Unidas. La finalidad de dicha mesa redonda era establecer un acuerdo de cooperación entre la FIG y las Agencias de las Naciones Unidas durante el periodo de duración del Bureau estadounidense. Los participantes fueron:

- El Centro para la Ocupación de Terrenos de las Naciones Unidas (UNCHS Hábitat)
- La Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO)
- La Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible
- El Banco Mundial
- La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas y el Grupo de Trabajo de Administración Territorial (antes conocido como MOLA)
- El Comité Permanente de Infraestructuras de SIG para Asia y el Pacífico
- La Comisión Económica de las Naciones Unidas para África
- El Comité Permanente de Infraestructuras de SIG para América
- La Agencia Alemana de Cooperación Técnica
- La FIG, representada por el presidente Peter Dale, Ian Williamson, Markku Villikka y el autor de este artículo

De las discusiones de la mesa redonda surgió la publicación de la FIG nº 22 titulada *Cooperación entre la FIG y las Agencias de las Naciones Unidas en los años 2000 a 2003*, que recoge los comentarios de los participantes en la mesa redonda y establece las directrices para la futura cooperación de la FIG con las Naciones Unidas.

Las dos sentencias siguientes fueron directrices de importancia clave:

- El reconocimiento de que la FIG es una organización sin afán de lucro, cuya mayor importancia reside en el hecho de que está integrada por un gran conjunto de profesionales experimentados, los cuales contribuyen, en general de forma voluntaria, con sus servicios a las actividades de la FIG.
- El reconocimiento de que la FIG ocupa una posición única para poder reunir y agrupar a las diversas Agencias de las Naciones Unidas interesadas en la administración territorial y en la gestión de la información espacial, a fin de discutir aquellos temas de común interés. Bajo este aspecto, la FIG puede actuar alentando la comunicación entre las instituciones de las Naciones Unidas y las bilaterales.

El papel de la FIG en su relación con las Naciones Unidas puede resumirse en las anteriores sentencias. Su acceso a los experimentados profesionales de nuestras diversas disciplinas hace que la FIG sea muy valiosa para las Naciones Unidas; así como a la hora de establecer lazos entre las agencias de las Naciones Unidas y otras agencias. Otras directrices, en las que se alientan los progresos para avanzar en nuestros planes de trabajo y que reconocen la necesidad del apoyo y de los fondos que puedan provenir de las Agencias de las Naciones Unidas, con el fin de respaldar las actividades conjuntas, recogen las ventajas que se presentan al relacionarse con la FIG.

Si la mundialización va a ser el nuevo orden mundial en el siglo XXI, puede que el mayor reto de la civilización sea el alcanzar un desarrollo sostenible. Nuestra profesión debe de abordar con éxito el fenómeno de la mundialización, a fin de cumplir con sus responsabilidades en el desafío del desarrollo sostenible. Nos encontramos en el comienzo de un nuevo siglo, en el cual es posible que la vida mejore uniformemente para todos los habitantes de la Tierra, o bien puede que degenera a unos niveles de penuria universales que no nos sean familiares a la mayoría de nosotros, ciudadanos de los llamados países desarrollados. Mi punto de vista es optimista y creo que las próximas décadas van a ser un periodo excitante y que el participar en el esfuerzo para preservar y mejorar las condiciones de vida, a través de unas "prácticas mejoradas" en la administración territorial, merecerá la pena a los miembros de nuestra profesión. ■

El deslinde de términos municipales, pervivencia de un rito de mensuración. Una aproximación al caso de Asturias

José Antonio Suárez García, Pelayo Glez.-Pumariega Solís

INGENIEROS TÉCNICOS TOPÓGRAFOS

PROFESORES ASOCIADOS DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

E.U.I.T. MINERA Y TOPOGRÁFICA DE MIERES DEL CAMINO

I. LA DELIMITACIÓN EN EL CONTEXTO DE LA ORDENACIÓN TERRITORIAL

"El territorio es el resultado de la sedimentación de todas las actuaciones que, desde la prehistoria a nuestros días, han dejado en él su marca y, al igual que las restantes construcciones, tiene una historia y un lenguaje que hacen de todo él un objeto cultural".

Menéndez de Luarda, J. R. y Soria y Puig, A. *El territorio como artificio cultural*. Ciudad y Territorio, 99 (1994).

La primera etapa en la ordenación general de un territorio consiste en la delimitación del mismo, operación que permite definir, por un lado, el ámbito ocupado por un determinado grupo frente a los demás, marcando los límites hasta donde alcanza su jurisdicción y, por otro, las delegaciones que dicho poder establece en su marco de actuación¹. La jerarquía de los centros de poder condiciona la categoría de los límites, ya sean éstos políticos, eclesiásticos, militares o judiciales.

La superficie es el elemento constitutivo fundamental del territorio. Pero, tanto en el terreno como sobre un papel, solamente es posible definir una superficie cuando se trazan las líneas o límites que conforman su contorno, por lo que dichos límites se constituyen, igualmente, en elementos básicos del territorio².

El hecho de que sea el poder superior de cada jurisdicción el encargado de definir y preservar el trazado de los límites, determina que cualquier modificación de los mismos obedezca a una redistribución de dominios entre las partes implicadas. Se entiende así que, a lo largo de la historia, un gran número de conflictos bélicos hayan comenzado como consecuencia de una violación de límites y alcanzasen su fin con la imposición o negociación de unas nuevas fronteras³.

¹ El hombre sólo puede actuar sobre el mundo partiéndolo en pedazos, disecándolo en esferas de acción separadas y en objetos de acción (Cassirer, 1975).

² El término circunscripción permanece en la terminología electoral dando a entender el espacio circunscrito o acotado por unos determinados límites dentro de los cuales ejerce su dominio un centro de poder.

³ Un ejemplo ilustrativo lo constituye la "Dehesa de la Contienda", disputada entre España y Portugal, y de la que se fijaron sus límites definitivos por Convenio de 17 de marzo de 1893.

En ocasiones, los límites se definen mediante elementos constructivos⁴. Sin embargo, la mayoría de las veces quedarán únicamente indicados mediante cierto tipo de señales pues, por lo general, con ellos no se pretende impedir el paso, sino simplemente controlarlo.

Muchos de los puntos, líneas y áreas de las que se sirve el hombre para sus fines particulares se apoyan en elementos naturales que presentan una clara predisposición a servir de soporte como señales con un determinado significado. En estos casos, por lo general, los límites son de origen antiguo y denotan procesos lentos de implantación. Por el contrario, la utilización de líneas geométricas es un fenómeno más reciente y suele suponer el arrasamiento de estructuras preexistentes⁵.

La delimitación de un conjunto de territorios con unas formas geométricas dadas sobre el espacio, determina la configuración de una red de límites (red limitánea) constituida por una serie más o menos amplia de lados con vértices comunes, los cuales adquieren la denominación de trifinios o cuadrifinios en función del número de límites o "fines" que en ellos confluyen o "confinen"⁶.

⁴ Existen casos en todas las épocas, algunos tan significativos como la Gran Muralla China, la Muralla de Trajano en la Drobudja, el desaparecido Muro de Berlín o la más próxima a nosotros Verja de Gibraltar. También es frecuente el reforzamiento de los límites con la construcción de fortificaciones en emplazamientos próximos a ellos.

⁵ En países de reciente creación con grandes espacios abiertos, es frecuente el empleo de líneas geométricas como divisiones administrativas, recurriéndose en muchos casos a la utilización de meridianos y paralelos. Uno de los casos más espectaculares es el de la frontera internacional entre Estados Unidos y Canadá, trazada en 1846, que se extiende desde Puget Sound, en el estado de Washington, hasta el Lago de los Woods, en Minnesota, unos 2.000 km a lo largo del paralelo 49° N, resultando perfectamente visible desde el espacio debido a los distintos usos del suelo que se dan a ambos lados de la misma.

Tan sólo existe una linde "recta" (según el tipo de proyección cartográfica que se emplee para representarla) que la supere. Se trata de la frontera provincial de Canadá que, trazada sobre el paralelo 60° N y con una longitud de unos 2.400 km, separa los territorios septentrionales del Yukon y del Noroeste, de las provincias meridionales de Columbia Británica, Alberta, Saskatchewan y Manitoba.

⁶ Estos términos tienen su origen en las palabras latinas *trifinium* y *quadrifinium*, con las que los agrimensores romanos designaban los lugares de donde partían las líneas finales y a las que se unían geoméricamente los límites.

En muchos casos, la toponimia asociada a estos hitos resulta ciertamente evocadora: *Peña de los Cuatro Jueces* (entre los concejos asturianos de Gijón, Siero, Villaviciosa y Saniego), *Mojón de los Tres Reyes* (entre las anteriores provincias de La Rioja, Zaragoza y Navarra), *Penedo de los Tres Reinos* (confin de las provincias de Orense y Zamora, designado así por haber constituido el límite común de los antiguos reinos de Portugal, León y Galicia, designando la voz geográfica *penedo*, según el Diccionario de la Real Academia de la Historia, a una Peña o peñasco aislado en forma de farallón o pico que vela sobre la tierra).

En general, las redes limitáneas están constituidas mayormente por trifinios, siendo poco habitual la existencia de cuadrifinios. Esto resulta fácil de comprender; toda vez que un trifinio constituye el tipo de encuentro geométrico más elemental y es, en la práctica, el que requiere menor número de acuerdos entre las partes colindantes.

En este punto, es curioso comprobar como cuando en el ámbito del neopositivismo imperante en la Europa de los años 30 y 40 del siglo pasado el geógrafo alemán Walter Christaller (1893-1969) propone el "Modelo del Lugar Central" para explicar los patrones de asentamientos humanos y las funciones de los lugares urbanos sobre un espacio isotrópico, llega a la conclusión de que el escenario ideal resultante de la progresiva concentración de las áreas de mercado tendría la forma de mosaico formado por hexágonos regulares e iguales, encajados a modo de "panal", cuyos vértices serían, precisamente, trifinios⁷.

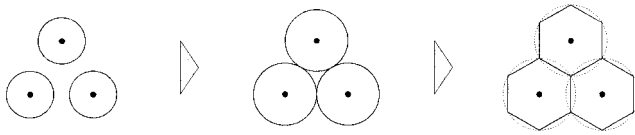


Figura 1. Consecución del equilibrio espacial de las áreas de mercado para una mercancía o servicio único según el modelo del Lugar Central de Christaller.

La consolidación de los límites se fundamenta, pues, en la señalización de los mismos, operación que frecuentemente se concreta con elementos de escasa relevancia física relativa, pero que conlleva un importante contenido social.

Las señales limitáneas constituyen un símbolo y, como tal, han de resultar reconocibles e identificables, pues de lo contrario no serían aptas para la comunicación de su significado, lo que se consigue con una presencia más o menos destacada y, por supuesto, permanente. El reconocimiento de la señal limitánea como elemento público, con un significado compartido por un grupo social, le permitirá convertirse en un signo territorial, en un auténtico monumento⁸.

⁷ En cierto sentido, es posible relacionar este asunto con una de las más conocidas conjeturas de las Matemáticas: el famoso teorema topológico de los cuatro colores (¿cuántos colores son necesarios para iluminar un mapa arbitrario de manera que nunca dos regiones colindantes sean del mismo color?), planteado en 1852 por Francis Guthrie, un estudiante de Edimburgo. En 1879, el jurista y matemático Sir Alfred Kempe publicó la que creía ser una demostración, estableciendo el concepto de "mapa normal" (que sería aquel en el que ningún país envuelve a otros y no hay más de tres países que tengan un punto común, siendo lineales las fronteras), hasta que diez años después P.J. Heawood localizó un error fatal en su demostración.

La solución, proporcionada por los matemáticos Appel y Haken en 1976, se alcanzó gracias a la potencia de cálculo proporcionada por la Informática, constituyendo el primer teorema que se demostró con la ayuda de un ordenador, ofreciéndose una prueba de que no podía ser verificado directamente, con lápiz y papel. No obstante, la existencia de cuadrifinios pone de manifiesto que la división municipal española no es "normal" según la definición de Kempe.

⁸ Con la palabra monumento (procedente del término latino *monumentum*-i y derivado éste, a su vez, del verbo *monere*-ui-iturum, cuya acepción es advertir, recordar la presencia) hacemos referencia en nuestro idioma a toda aquella realización material humana con voluntad de permanencia.

El rasgo que de forma definitiva atribuye un significado humano a la señal territorial es la asignación de un nombre (topónimo), siendo muy común el fenómeno del préstamo toponímico, por el cual es la propia señal la que determina el nombre del paraje en el que se encuentra situada.

El término hito, con el que tradicionalmente se designa a los mojones empleados en la delimitación de un territorio, procede del verbo latino *figere* (clavar), en clara alusión a su condición de fijo, por estar clavado en tierra, lo que a su vez le confiere una dimensión vertical que le permite destacar respecto a su entorno más inmediato. La permanencia del mismo se consiguió tradicionalmente mediante la utilización de la piedra como material de construcción.

De esta forma, en la antigüedad, el hito de piedra se convierte en la señal territorial por excelencia, adquiriendo gran variedad de tipologías en función del concepto que con él se pretende representar: el poder (cruz de término, rollo jurisdiccional), la justicia (picota), la propiedad (mojones de lindes), el comercio y el desplazamiento (cruceiro, miliario, leguario), etc.

2. LA SACRALIZACIÓN DE LA ACCIÓN DE DESLINDE

*"De todos los ritos de mensuración,
quiere la tradición que sea el más eminente
el del establecimiento de los límites,
pues su origen es celeste y perpetua su continuidad".*
Higinio Gromatico, *De Limitibus constituendis*, l 66

Se entiende así que, durante siglos, los límites se hayan trazado mediante la operación de amojonamiento; uniendo, por tanto, con líneas materiales o ideales, puntos señalados con un hito o elementos que por su especial singularidad constituyen por sí mismos un hito.

Pero en la mayoría de las culturas antiguas, gran parte de las acciones emprendidas por el hombre se encontraban fuertemente condicionadas por el fenómeno religioso, a través del cual se intentaba establecer una relación entre el mundo celeste y el mundo terreno. Esta asignación de un sentido trascendente a los actos humanos es especialmente notoria en el caso de la imposición de un determinado orden territorial (delimitación), de forma que mediante sacrificios, ritos o invocaciones, la autoridad que ostentaba el poder pretendía obtener el consentimiento de la divinidad respecto a su acción demarcadora. Con ello, las señales limitáneas se convertían en objetos sagrados y todo aquel que osase alterar su posición no sólo atentaría contra el poder establecido o la propiedad, sino que además se haría merecedor de severos castigos divinos⁹.

⁹ La sacralización no se restringía a los hitos propios de los límites, sino que alcanzaba también a los mojones de las encrucijadas de los caminos y otros puntos singulares del terreno, llegando a pervivir el rito tras la cristianización. Un buen exponente de este hecho lo tenemos en Santiago de Compostela: En el año 834 el monarca asturiano Alfonso II "el Casto" concedió a la iglesia que velaba los restos del apóstol un espacio circular de 3 millas, conocido como "Arciprestazgo de Giro de la ciudad" que se señaló con *milladoiros* o montículos de piedra situados en la milla tercera de todos los caminos que conflúan en el sepulcro. Algunos años después, el rey Ordoño I amplió el radio a 6 millas, llamado aún "Giro de la Rocha", encontrándose en él el origen de la ciudad actual.

El carácter religioso que los romanos atribuyen a los límites y mojones proviene de la influencia de la mística etrusca y de los arúspices griegos¹⁰ y, como ellos, consideraban que el dios Terminus residía en cada uno de los mojones. Asimismo, se tenía la creencia de que el macrocosmos (*templum celeste*) se manifestaba a través de los sacerdotes (augures, arúspices) y se proyectaba en el microcosmos (*templum terrestre*) mediante ritos mágico-religiosos que están en la base de la *limitatio* (establecimiento y mensuración de los campos), la cual se encuentra íntimamente vinculada a la propiedad de la tierra. En este sentido, la primera designación que reciben en los orígenes del Imperio los encargados de realizar la medición de las tierras es la de *finitor*, pues también era de su competencia el establecimiento de las regiones, los límites y los confines¹¹.

No obstante, a pesar de que los primeros agentes delimitadores pertenecieran a la clase sacerdotal, la progresiva secularización de todos los aspectos de la vida romana llevará a que el carácter sacral de las operaciones de limitación se vaya debilitando, de manera que al adquirir las mediciones y limitaciones una mayor importancia práctica y técnica, se produce la separación de las funciones civil y sacerdotal, quedando en manos de los sacerdotes los ritos religiosos y a cargo de los agrimensores las operaciones técnicas¹². Así, aunque todas las operaciones de limitación seguirán conservando un cierto aspecto formal, los imperativos religiosos quedarán relegados a la fundación de santuarios¹³.

En este sentido, los antropólogos se muestran unánimes al considerar que el emplazamiento de muchos santuarios de profunda significación devocional no suele obedecer al azar. Una prueba indiscutible de este hecho es la infinidad de leyendas o tradiciones asociadas a las imágenes de culto, una de cuyas principales funciones ha sido, precisamente, la de

justificar la ubicación de estos centros depositarios de las imágenes protagonistas de la leyenda¹⁴. La leyenda singulariza la presencia de una imagen y expresa una vinculación en términos de pertenencia, ya que todo lugar pertenece a una comunidad o, al menos, es disputado por varias comunidades.

La liminidad es, entre otras, una de las notas más comunes a la hora de ubicar los santuarios, de manera que éstos marcan la división o fronteras de la red parroquial, comarcal o regional.

Esa preferencia por sacralizar ciertos enclaves del paisaje ligados a los límites territoriales, manifiesta la ancestral preocupación que los hombres que ocuparon ese espacio mostraron por un elemento imprescindible para el desarrollo de su comunidad.

A su vez, el hallazgo o la existencia de una imagen en un punto concreto conlleva la generación de espacios rituales. La retahíla de legitimidades que el hecho instauro, conduce a una socialización del lugar de culto, una vez que la imagen ha sido apropiada por los habitantes, reforzando el espíritu comunitario.

3. EL MUNICIPIO COMO CÉLULA-BASE DE LA ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO ESPAÑOL

El Municipio es la entidad local básica en la organización territorial del Estado. Tiene personalidad jurídica y plena capacidad para el cumplimiento de sus fines. Son elementos del Municipio el territorio, la población y la organización.

Ley Reguladora de las Bases del Régimen Local, artículo 11.

La historia del municipio evoluciona en el tiempo paralelamente a los cambios políticos por los que atraviesan los distintos estados, configurándose un proceso largo y complejo que, en nuestro país, culmina con su integración en el sistema escalonado de entes territoriales dotados de autonomía y estructurados sobre el principio demográfico-representativo que queda consagrado en el artículo 137 de la Constitución, por el que se establece que "el Estado se organiza territorialmente en Municipios, en Provincias y en las Comunidades Autónomas", gozando todas estas entidades "de autonomía para la gestión de sus intereses". En ellas el territorio es el elemento esencial y, como tal, se deberá encontrar convenientemente delimitado.

No obstante, si bien la Carta Magna define las Comunidades Autónomas y las Provincias¹⁵, no da un concepto del Municipio, limitándose a decir que la misma garantiza su autonomía y que gozarán de personalidad jurídica (art. 140). La noción oficial y vigente de lo que es el Muni-

¹⁴ La elección es atribuida a la propia imagen mediante un episodio tópico, la resistencia de ésta a cambiar de lugar cuando su descubridor pretende llevársela consigo a su comunidad de origen, lo que se interpreta como una manifestación clara de la voluntad divina: han de desplazarse los hombres, no la imagen, para que aquellos puedan dialogar con ésta.

¹⁵ El apartado primero del artículo 143 de la Constitución define las Comunidades Autónomas como "entes territoriales con capacidad de autogobierno, constituidos bien por varias provincias limítrofes con características históricas, culturales y económicas comunes, bien por territorios insulares, bien por una sola provincia con entidad regional histórica".

El art. 144 añade una posibilidad más al establecer que "las Cortes Generales, mediante Ley Orgánica, podrán por motivos de interés nacional autorizar la constitución de una Comunidad Autónoma".

¹⁰ Una de las operaciones topográficas básicas, cual es el establecimiento de unos ejes directores, que condiciona los instrumentos y los métodos de la época, tiene una clara influencia religiosa, dándose el caso, además, de que los romanos emplearon dos métodos de orientación sacral que denotan concepciones mitológicas diferentes: uno sobre el eje de ordenadas (Norte-Sur), de origen etrusco, pues este pueblo tenía la creencia de que la morada de los dioses se encontraba en el polo norte astronómico; y otro sobre el eje de abscisas (Este-Oeste) con origen en el pueblo ario, que rendía culto al sol naciente o poniente. (Véase "Sobre un tratado de agrimensura del siglo I" (parte I), por Pedro Resina Sola, publicado en la revista *Topografía y Cartografía*, vol. VIII, nº 46, 1991).

¹¹ Con posterioridad, también se le llamó *ensor agrorum, metator y divisor*. El término *geometra* se reserva para al *ensor teórico*, más que para el práctico. De la instrumentación empleada y del ejercicio de la profesión también se derivaron vocablos tales como *decempedator, compedator, gramaticus, artifex, auctor y professor* (véase "Función y técnica de la agrimensura en Roma (I)", por Pedro Resina Sola, publicado en la revista *Topografía y Cartografía*, vol. VII, nº 37, 1990).

¹² Todo parece indicar que los agrimensores pierden su carácter sacerdotal tras la promulgación de la Ley de las XII tablas, por medio de la cual se establecen, aunque de forma anacrónica y conforme a los intereses de la clase dominante, los principios del derecho romano, suponiendo un avance en el tránsito hacia la desaceralización de las más variadas actividades humanas.

¹³ En todo el mundo indoeuropeo, sobre todo en las más antiguas prácticas jurídicas romanas y en el derecho consuetudinario germánico de la Edad Media, la venta, la donación, la entrega en herencia de un bien, por ejemplo de un terreno, no sólo están acompañadas, sino también materializadas, por un complejo ritual que comprende a la vez una fórmula, un gesto y un objeto simbólico, entregado solemnemente por el que se desprende del bien al que toma posesión de él. El objeto transmitido representa simbólicamente el bien enajenado y la operación suele tener como fin hacer pública y manifiesta la transferencia y reforzar mediante una solemnidad concreta el carácter irreversible del acto jurídico.

cipio se establece en el artículo 11 de la Ley 7/1985, de 2 de abril, reguladora de las Bases del Régimen Local (véase la cita introductoria del presente capítulo). Asimismo, el Real Decreto 1690/86, de 11 de julio, por el que se establece el Reglamento de Población y Demarcación Territorial de las Entidades Locales, define el **Término municipal** como el territorio en el que el Ayuntamiento ejerce sus competencias.

El proceso de descentralización iniciado en nuestro país con la reinstauración de la democracia, ha supuesto la transferencia a las diferentes Comunidades Autónomas de una serie de competencias de la Administración del Estado en materia de organización, régimen jurídico, bienes y servicios de las Corporaciones Locales, entre ellas las correspondientes a la demarcación territorial, incluyéndose, por tanto, el **deslinde y amojonamiento de los términos municipales**¹⁶.

En el terreno de lo excepcional, se debe tener en cuenta la existencia de enclavados o enclaves, entendidos como porciones de unidades administrativas separadas físicamente del resto de su territorio. Los enclavados municipales (pertenencias) son muy numerosos; menos frecuentes son los provinciales (como el Condado de Treviño o el Rincón de Ademuz) y absolutamente extraordinarios los nacionales (tal es el caso de Llívia, perteneciente a la provincia de Gerona, pero rodeado por territorio francés). En general, las líneas de término municipal no suelen afectar a núcleos de población, si bien hay algunos casos particulares que, tradicionalmente, han dado lugar a anecdóticos conflictos¹⁷.

4. LA DEMARCACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TÉRMINO EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS: PRINCIPALES ASPECTOS DIACRÓNICOS

"Y hecho lo susodicho citadas las partes a quien tocare bereys por vista de ojos los términos jurisdicción y dezmería de la dicha villa y hareys informacion y aberiugareys los terminos lindes y mojonos que tiene y si estos estan conocidos deslindados y divididos de los otros con quienes confinan y hasta donde llegan y si los dichos mo-

(sigue nota 15)

ma cuando su ámbito territorial no supere el de una provincia y no reúna las condiciones del apartado primero del artículo 143".

Según el art. 147 los Estatutos de Autonomía correspondientes deberán incluir la delimitación de su territorio.

Por último, el art. 141 considera la Provincia como "una entidad local con personalidad jurídica propia, determinada por la agrupación de municipios y división territorial para el cumplimiento de actividades del estado".

¹⁶ En la actualidad, y en virtud del R.D. 2874/79, de 17 de diciembre, se encuentran transferidas al Consejo Regional de Asturias las competencias en materia de demarcación territorial de las Corporaciones Locales. Las operaciones de deslinde y amojonamiento de los términos municipales se habrán de realizar conforme a lo establecido en el Capítulo II (arts. 17 a 25) del R.D. 1690/86, anteriormente citado.

¹⁷ Sin duda, el caso más curioso en este sentido es el del coto mixto y los pueblos promiscuos, ubicados antaño al sur de la provincia de Ourense, en contacto con el reino de Portugal. El coto mixto estaba formado por los lugares de Rubiás, Santiago y Meaus que dependían, a la vez, de los gobiernos español y portugués, lo que les reportaba un status especial con ciertos privilegios y exenciones. Los llamados pueblos promiscuos eran Souteliño, Cambedo y Lama de Arcos que, situados sobre la misma línea fronteriza, podían tener casas con una puerta en España y la otra en Portugal.

Las irregularidades y conflictos a que esta situación administrativa daba lugar, en especial respecto al contrabando, movió a ambos estados a acabar con ella, de manera que en virtud del Tratado de Límites de 29 de septiembre de 1864, ratificado dos años después y revisado en 1896, Portugal desiste de sus derechos al coto mixto y España le cede los pueblos promiscuos.

jones no estubieren conocidos los pondeys y hareys de nuevo por el termino e dezmería que tiene la dicha villa".

Comisión de Felipe II a Juan de Zárate para que dé la posesión a la villa y concejo de Riosa de la jurisdicción y rentas jurisdiccionales dado que los vecinos se habían rescatado. Madrid, 17 de diciembre de 1579. Archivo General de Simancas, Dirección General del Tesoro, Lg. 286, fol. 21.

Una forma tradicional de aproximación a la realidad actual consiste en mostrar el desarrollo de un determinado proceso a través del tiempo. Sin embargo, no es posible en estas breves líneas ni tan siquiera resumir el complejo proceso de configuración histórica de los actuales concejos asturianos, condición que sería imprescindible para comprender en toda su profundidad el hecho parejo de su delimitación. Trataremos, pues, de reseñar los antecedentes esenciales y concretar, esquemáticamente, las principales fases que se pueden distinguir a lo largo del devenir histórico, en la estructuración de las actuales líneas de término municipal en el territorio correspondiente al Principado de Asturias.

A grandes rasgos y con los fines expuestos, se han considerado siete grandes periodos característicos, fechándose tan sólo a efectos orientativos:

• Prehistoria (primeros pobladores a 1000 a.C.)

No se dispone de suficientes datos que permitan conocer la disposición de los centros de asentamiento en esta época, ni mucho menos las delimitaciones territoriales correspondientes. Sin embargo, la erección de monumentos funerarios pétreos (túmulos, dólmenes, estelas, etc.) que presentan las características esenciales de los hitos (emplazamiento destacado y permanencia) parece indicar que comienza ya por entonces un incipiente proceso de construcción del territorio, pues con ellos se trataría de comunicar la permanencia de un grupo social a través de sucesivas generaciones¹⁸.

Esos rasgos distintivos propiciaron su reutilización en los actos delimitadores de etapas más tardías. Así, los tratadistas latinos hacen mención del uso de tumbas y huesos como mojones y algunas denominaciones de los túmulos megalíticos se incorporan al vocabulario catastral posterior (medas, arcas) o aparecen en las descripciones de los límites jurisdiccionales de los cartularios medievales (mámoas), siendo frecuente encontrarlos incluso a lo largo de límites parroquiales o municipales actuales.

• Protohistoria (1000 a 20 a.C.)

En esta época el principal elemento articulador del territorio es el poblado fortificado, conocido como **castro**. Si bien en los últimos años se ha conseguido inventariar gran número de ellos, no resulta aún fácil establecer estructuras espaciales y todo parece indicar la existencia de una

¹⁸ Esta práctica se ha reconocido en épocas posteriores: las tribus íberas levantaban torres funerarias en los límites de los territorios conquistados con el fin de garantizar su permanencia tras la muerte del caudillo correspondiente. Su destrucción por un clan enemigo (*delenda memoriae*) suponía una trasgresión del orden establecido.

gran fragmentación territorial y la ausencia de jerarquización. Ante la falta de elementos documentales, el reconocimiento de los posibles límites de sus zonas de influencia no puede pasar de una mera hipótesis.

No obstante, los castros han sido reutilizados con frecuencia a lo largo de la historia con distintos fines, llegándose a considerar, en determinados casos, como hitos para el establecimiento de los límites en el Antiguo Régimen, algunos de los cuales aún perduran en la actual división administrativa.

• Romanización (siglos I a V)

En el aspecto territorial, la actuación de los romanos se dirige a conseguir la integración del espacio en una unidad superior, confirniéndole una estructura jerarquizada. Para ello se emplean dos instrumentos complementarios: el establecimiento de núcleos urbanos y la implantación de un sistema de ejes de comunicación (calzadas).

Con relación a otras zonas de la Península, estos elementos adquieren en Asturias un escaso desarrollo y si bien allí se produce en muchos casos un arrasamiento de las estructuras preexistentes, aquí parece reutilizarse en mayor medida la organización castreña de núcleos y caminos para los nuevos fines. No obstante, por primera vez se dispone de una organización territorial sistemática que presenta todos los niveles jerárquicos de las estructuras actuales (Estado, provincia, *conventus*, municipio).

Se considera que el elemento básico de influencia lo constituyó el sistema de explotación agropecuaria, basado en la privatización del suelo y el establecimiento de granjas, denominadas *villae* (villas) por sus edificaciones y *fundos* por su territorio, aunque el término villa llegó a abarcar todo el dominio rural. Sobre las villas romanas se asentaron los poblados o explotaciones rurales de la época medieval, de forma que establecimientos de agrupaciones reducidas, *vici*, darían lugar a las aldeas.

Una de las principales fuentes de información sobre los citados núcleos agrarios lo constituye la Toponimia. Con la incorporación al mundo romano, muchas propiedades territoriales comienzan a recibir nombres de origen latino. En algunos casos estos derivaban del nombre del poseedor: una villa, *fundus* o *vicus*, se denominaba añadiendo a estos genéricos el nombre del dueño con el sufijo -ana o -anus. Otros empleaban el caso ablativo, mientras que en ocasiones los términos proceden de nombres latinos comunes. Con el paso del tiempo el genérico se fue olvidando, o se omitió por innecesario, y el nombre del poseedor designó el lugar poseído. La propiedad fue cambiando de dueño, pero mantuvo su primera denominación, llegando hasta nuestros días con pequeñas variaciones fonéticas y, por lo común, aplicados a territorios más amplios que los originales. La abundancia de este tipo de nombres es un claro índice del grado de colonización de los romanos¹⁹.

¹⁹ Sin embargo, los lingüistas se encuentran en muchos casos con la dificultad de precisar las fechas de estos topónimos, debido a su largo proceso de formación y a que, en general, constan de elementos de origen prerromano, latino e incluso visigodo.

Asimismo, Roma aportó también los inicios del Cristianismo. Poco a poco la nueva religión fue difundida por los soldados del Imperio y por grupos monásticos o eremitaños. Sobre algunas villas se construyeron después templos o capillas.

• Alta Edad Media (siglos VI al XII)

Las invasiones bárbaras tuvieron escasa repercusión en Asturias, cuyos habitantes vivían prácticamente independientes, "encerrados entre montañas y selvas", según las crónicas de San Isidoro. Se mantuvo, pues, básicamente un sistema de vida semejante al de la etapa precedente, extendiéndose las *villas* y los *vici* que, en su mayor parte, conservaron los nombres del periodo latino.

Bajo la dominación visigoda la propagación del Cristianismo alcanzó un periodo de esplendor. Monjes eremitas llegarían a la región impulsados por el celo misionero, realizándose el culto en las villas más importantes o en edificios civiles romanos, considerándose en muchos casos como el eslabón necesario con los primeros templos (*ecclesias*) de la Monarquía asturiana.

Villas, fundos y vici se irían concentrando en las zonas más adecuadas para su desarrollo, configurándose los poblados que darían origen a los primeros *concilias vicinorum*, reuniones de vecinos con el fin de regular la vida de la localidad, de los que derivaron los *concejos* cuando los poblados llegaron a adquirir cierta entidad jurídica.

La iglesia rural, dependiente del obispo, disponía de una dote consistente en objetos de culto y predios rústicos para el sustento del clérigo. Con el tiempo fueron adquiriendo mayor patrimonio y una demarcación territorial propia, en ocasiones de gran extensión, tomando tintes de explotación agrícola al estilo de las antiguas villas, más que de centro de espiritualidad.

Las villas e iglesias más importantes se fueron convirtiendo en núcleos centrales de población y originaron las *parroquias* que, durante la Edad Media, pasaron de ser meras demarcaciones eclesiásticas a divisiones administrativas de los incipientes municipios²⁰. Por lo general, en los documentos que se conservan la situación de estas villas e iglesias se determina haciendo referencia a sus límites, con la expresión "por sus términos antiguos", lo que pone de manifiesto una actividad "deslindadora" tradicional (véase figura 2).

A la muerte del rey Alfonso III, Asturias pierde su protagonismo político y militar, quedando en una situación de aislamiento dentro de su configuración geográfica trasmontana, que se traduce en la persistencia de formas autóctonas y en el arraigo de las propias instituciones. Los habi-

²⁰ El territorio de la sede episcopal de San Salvador de Oviedo, mucho más amplio que los tradicionales límites de la región astur, estaba dividido en unidades jurisdiccionales muy extensas (arcedianatos), en conjuntos de parroquias dotados de cierta homogeneidad geográfica, aunque de extensión desigual (arciprestazgos) y en parroquias como unidades administrativas primarias. A caballo entre los siglos XI y XII debió de quedar perfilado el mapa eclesiástico de la diócesis asturiana, con amplios enclaves en la montaña leonesa y tierras llanas de Zamora.



Figura 2. Esquema de las parroquias de los concejos de Oviedo y de Llanera (Archivo General de Simancas, D.G.R., 1.ª remesa, legajo 1.388, M.P. y D., XXXVIII-91).

tantes de la región trabajaban sus propiedades y vivían en pequeños núcleos más o menos aislados. Los documentos designan estas agrupaciones con el vocablo **lucum** (lugar), a veces con el nombre de **termino**, que tenía además otras acepciones, y sobre todo con la palabra **villa**, que significaba en unos casos la explotación familiar y en otros el asentamiento de una reducida comunidad, generalmente con una edificación para el culto, la **ecclesia**, de forma que estas dos entidades frecuentemente se identificaban o se confundían, canalizando ambas la vida económica y religiosa de los grupos humanos sobre los que extendían su autoridad o jurisdicción.

A lo largo del siglo XI se constata la aparición de lugares individualizados en mayor número, si bien la definición de estos territorios difiere de unas comarcas a otras, en función tanto de la calidad y cantidad de las menciones documentales disponibles como del grado de nitidez con que eran percibidos, apreciándose oscilaciones en las llanuras de la zona central asturiana y penillanuras del occidente interior, frente a la fijeza de los valles transversales a la Cordillera Cantábrica, bien delimitados por divisorias de aguas.

A partir de la segunda mitad del siglo XI se inicia un proceso de concentración de la propiedad territorial en pocas manos. Los reyes hacen

importantes donaciones a la mitra y a los abades de los monasterios y recompensan generosamente los servicios especiales de los laicos. Asimismo, la indefensión de la gente del campo les obligaba a "encomendarse", es decir, a ponerse bajo la protección de un terrateniente poderoso o de un monasterio, para que defendieran sus haciendas y sus vidas, a cambio de prestaciones y servicios. Se establecía así una relación de tipo feudal y el campesino iba perdiendo paulatinamente sus tierras para convertirse en colono de una propiedad ajena, extendiéndose el gran dominio o **señorío**.

El rey, el abad, el señor, procuraban mantener la separación de las tierras de **realengo**, **abadengo** o **señorío** y también la de **behetría**, forma de encomienda en la que los patrocinados mantenían ciertos privilegios. La propiedad territorial era el elemento básico de riqueza.

• Baja Edad Media (siglos XIII al XV)

En esta época la articulación territorial de Asturias adquiere prácticamente los caracteres básicos con los que ha llegado hasta nuestros días. En virtud de la política repobladora de los monarcas, aparecen en el siglo XIII y principios del XIV las **pueblas nuevas**, **villas** o **burgos**. La base jurídica de su fundación se halla en la carta de población en la que el rey, previa petición de los interesados, expresa su voluntad de que los moradores de cierto territorio hagan puebla o villa en un lugar determinado, con objeto de mantener el orden público y proteger a las personas y sus bienes contra abusos y bandidaje. A partir de este momento, el término villa toma un significado distinto, aplicándose junto con puebla o **pobla** a las nuevas fundaciones. A finales del siglo XV aparece la forma más evolucionada de **pola**, que se mantuvo en casi todas estas fundaciones hasta el siglo XVII.

El soporte territorial de estas pueblas o villas reproduce por lo general, con escasas variaciones, los límites que ofrecían los antiguos *territoria*, *terrae* o alfores concejiles de los siglos XI y XII. Un apartado importante en el conjunto de las cartas pueblas, documentos que instrumentan la fundación de esos núcleos urbanos, es el dedicado a la fijación de sus alfores, en el que se describe la señalización de los límites de la demarcación mediante referencias geográficas concretas²¹. Esto es así ya que la disgregación o atomización del poder permite un buen conocimiento del

²¹ Un ejemplo son los siguientes límites de la Puebla de Castropol, descritos por el obispo D. Fernando al otorgar a la villa el Fuero de Benavente el 21 de junio de 1313: "La qual alfoz se determina por estos terminos que adelante siguen, según que los determino el Rey don Alfonso e se en los nuestros privilegios e de nuestra Iglesia se contienen, convien a saber: asy como parte por la foz de el agua de Navia que entra a la mar e ve el agua a sobrepie al cancillo de Mexida e sale a las moezcas de Cerengo e a la barca del Cabron, e desi a derecho de la penna de Xemen e dende a la pena del Lagarto e desi a el agua del Pesoz. E como ve el agua al sobrepie e fiere en las mestas de Lumeyrera e de alli al pedrofinso del Perreyro de Villar Chano, e como ve derecho a piedra Parda, e desi como ve el camino por la sierra al carvallo del Moro e al marto de Lastres fontes e de ally a la mamao de Cal de Rio e dende a la pena de Sporas e a la pena de Ferreyra, e desi a la piedra de Conio e a la fonte de la Barcoera e fiere en el agua del Ove. E como ve el Ove derechamente en entra al mar en la foz del burgo de Ribadeo, e como ve la mar mayor por la ribera ata la foz de Navia".

A pesar de ello, en algún caso la delimitación aparece formulada genéricamente, como ocurre en Lena (1266).

espacio sin necesidad de cartografía, haciendo posible una intervención territorial muy precisa. Desde ese momento, el núcleo urbano y su alfoz se integran en una unidad económica y jurídico-administrativa.

• Edad Moderna (siglos XVI al XVIII)

En los comienzos de la Edad Moderna la Iglesia tenía un extenso señorío. El Obispo y el cabildo de la iglesia de San Salvador (Oviedo) eran los mayores propietarios territoriales de Asturias. También los monasterios disponían de numerosas heredades. Éstos hacían revisión de sus propiedades para que con el paso del tiempo no se produjeran olvidos y confusiones, renovaban los límites y medidas de las fincas, colocaban fincos o mojones e inscribían el nombre de los nuevos arrendatarios.

En las Ordenanzas Generales de 1594 se encomienda específicamente al Corregidor del Principado y al resto de autoridades (art.43) que “visiten ansi mismo los terminos que tienen, y hagan levantar los moxones que estuuieren caidos y derriuados”. Igualmente, en la Instrucción a los Concejos para cumplimiento de la Ordenanza de Baldíos y Comunes, fechada en 1595, se establece el procedimiento para la ejecución del apeo e inventario de terminos (art. 11): “y por que la dicha Ordenança manda y dispone que ante todas las cosas se haga un apeo e ymbentario de todos los dichos terminos, y para que esto no tenga confusion y baya con buen tino y concierto ... se acordó que para hacer el dicho apeo e ymbentario se os ymbiase ynstrucion de como lo auia de hacer ...” .

Por otra parte, la política imperial desarrollada por los Austrias durante el siglo XVI, supuso para Felipe II el tener que enfrentarse a una situación de auténtico agobio financiero. La necesidad de arbitrar fondos para hacer frente a la suspensión de pagos de 1575 y responder a los compromisos contraídos con hombres de negocios castellanos e italianos, fue motivo suficiente para hacer contribuir a la Iglesia, previa licencia de la Santa Sede, mediante la segregación de parte de sus bienes y jurisdicciones para su posterior venta.

Al ser consignados los señoríos eclesiásticos del Principado a acreedores de la Corona, la desmembración de los lugares constituía un trámite legal necesario para su venta, si bien en algunas ocasiones ésta se iniciaba antes de que hubiera tenido lugar la desvinculación. El proceso, que supuso la configuración de un nuevo mapa político-administrativo de Asturias, se iniciaba con la expedición por parte de Su Majestad de una cédula para “averiguar” el lugar concreto, dirigida a un juez de comisión nombrado al efecto, con el fin de conocer el alcance de la población afectada.

Entre las normas que se debían seguir para dichas averiguaciones, figura una en la que se establece que en aquellos lugares que no llegasen a tener 100 vecinos se debería proceder, con medidores y personas prácticas, a la medida del “largo y ancho” del término, excluyendo las partes que no se pudieran labrar, por considerarse término infructuoso (aun-

que más adelante el rey mandará medir el término completo, por lo que en muchos lugares se hubo de practicar una segunda medida): “... midiendo el ancho y largo que ay en el dicho termino y si ay mas de una legua, legua que es çinco mill varas de medir en quadro, midiendolo con medidores y personas practicas que lo sepan y entiendan de manera que venga bien averiguado el termino que tiene de ancho y largo midiendolo en la forma susodicha”²².

La incorporación a la Corona se concretaba con la carta de desmembración, en la que se expresaba la segregación del lugar, vasallos, rentas y demás derechos jurisdiccionales. En Asturias fue frecuente el caso de redención de los pueblos, para lo cual los vecinos debían tomar la decisión reunidos en concejo y dar poder a una o varias personas para ir a la Corte y tramitar su compra, solicitando licencia para hacer el asiento de la exención. Formalizado y aprobado el trámite por S.M., el lugar se incorporaba a la Corona y, a cambio del servicio ofrecido a ésta, el Rey le concedía una amplia autonomía municipal (véase figura 3).



Figura 3. Redención del concejo de Quirós (1587).

²² Comisión de Felipe II a Juan de Zárate para que averigüe los cotos de Bárcena, Brañas y Obona con la intención de venderlos, dada el 7 de junio de 1579. Archivo General de Simancas, Mercedes y Privilegios, lg. 264, fol.16.

Como ya se ha indicado anteriormente, en la cédula de S.M. se dictan provisiones dirigidas a un juez de comisión, ordenándole, entre otras cosas, que se haga cargo de la renovación de los términos y mojones (véase la cita introductoria del presente capítulo). No obstante, esta cláusula fue suplicada al Rey por algunos concejos del Principado, pidiendo que se consintiese no realizar el amojonamiento de términos a aquellos lugares redimidos que no lo desearan, ya que "sería menester mucho tiempo a causa de ser la tierra muy aspera y montuosa demas de que sería causa de que se moviesen muchos pleitos y diferencias sobre el poner de los dichos mojones y se les recrescerían muchos gastos".

Por cédula de 22 de diciembre de 1579, Felipe II les permite que así sea. A esta provisión real se acogieron no sólo la mayor parte de los concejos redimidos, sino los nuevos señores, lo que explica que no pidieran deslinde de términos en el momento de la toma de posesión, figurando así en la mayor parte de los expedientes de venta. El amojonamiento de términos originó en ocasiones, como era previsible, problemas con los concejos limítrofes, que han quedado documentados y, en muchos casos, latentes hasta la actualidad²³.

Más tarde, en el reinado de Fernando VI, se confeccionó, durante el gobierno del Marqués de la Ensenada, un catastro para las 22 provincias dependientes de Castilla, en el que no sólo constaban los posibles detalles de la población, sino todo lo relacionado con la economía, a fin de establecer la "Única Real Contribución"²⁴.

El conocido como Catastro de Ensenada consistía, en su parte general, en un cuestionario o interrogatorio de cuarenta preguntas que habían de "satisfacer, bajo de Juramento, las Justicias y demás Personas, que harán comparecer los Intendentes en cada Pueblo" (véase figura 4).

En la pregunta número tres se solicitaba la siguiente información: "Qué territorio ocupa el Término, quanto de Levante á Poniente, y del Norte al Sur; y quanto de circunferencia, por horas, y leguas; qué linderos, ó confrontaciones; y que figura tiene, poniendola al margen".

Independientemente de estas fuentes de carácter hacendístico y tributario, también se desarrollaron en esta época importantes esfuerzos, con una finalidad preferentemente erudita, entre los que destaca sobre manera la obra de Tomás López de Vargas (1731-1802), dirigida a realizar

²³ La línea de término municipal comprendida entre los concejos asturianos de Proaza y Quirós no fue reconocida por ninguna de las partes interesadas, toda vez que la comisión de Quirós hizo constar que "según dos escrituras públicas de fechas 28 de marzo de 1596 la una, testimoniada con fecha 5 de enero de 1906 ante el notario D. Luis Próspero García Arango, y otra de 8 de junio de 1832 y sentencia de 5 de diciembre de 1871" el deslinde debería de discuir por determinados parajes, mientras que la comisión de Proaza alegó que "no estando de acuerdo con el deslinde que señala la comisión de Quirós, se atiende a lo que consta en documento que también poseen" y así figura en el acta firmada por el Ingeniero Jefe de la diecinueve brigada topográfica de la provincia de Oviedo el 25 de octubre de 1932, depositada en el archivo del IGN.

⁴ La Estadística en sus orígenes no fue una disciplina matemática, sino una rama de la ciencia política que trataba de la recopilación y clasificación de hechos que atañen al Estado o a la sociedad. Bailey (*Didáctica de la Geografía*, 1981) puso de manifiesto cómo el término "estadística" fue inventado en la Escocia del siglo XVIII por Sir John Sinclair de Ulster, que organizó un informe sobre las parroquias de su tierra mediante un cuestionario de 166 preguntas.

INTERROGATORIO

A QUE HAN DE SATISFACER, BAJO de Juramento, las Justicias, y demás Personas, que harán comparecer los Intendentes en cada Pueblo.

A.



1. Cómo se llama la Poblacion.
2. Si es de Realengó, ó de Señorío: à quién pertenece: qué derechos percibe, y quanto producen.
3. Qué territorio ocupa el Término, quanto de Levante à Poniente, y del Norte al Sur: y quanto de circunferencia, por horas, y leguas: qué linderos, ó confrontaciones; y qué figura tiene, poniendola al margen.
4. Qué especies de Tierra se hallan en el Término; si de Regadio, y de Secano, distinguiendo si son de Hortaliza, Sembradura, Viñas, Paños, Bosques, Matorrales, Montes, y demás, que pudiere haver, explicando si hay algunas, que produzcan mas de una Cosecha al año, las que fructificaren sola una, y las que necesitan de un año de intermedio de descanso.
5. De quantas calidades de Tierra hay en cada una de las especies, que hayan declarado, si de buena, mediana, é inferior.
6. Si hay algun Plantío de Arboles en las Tierras, que han declarado, como Frutales, Moreras, Olivos, Higueras, Almendros, Parras, Algarobos, &c.
7. En quales de las Tierras están plantados los Arboles, que declararen.
8. En qué conformidad están hechos los Plantíos, si extendidos en toda la tierra, ó à las márgenes: en una, dos, tres hileras; ó en la forma que estuvieren.
9. De qué medidas de Tierra se usa en aquel Pueblo: de quantos pafios, ó varas Castellanas en quadro se compone: qué cantidad de cada especie de Granos, de los que se cogen en el Término, se siembra en cada una.
10. Qué numero de medidas de Tierra havrà en el Término, distinguiendo las de cada especie, y calidad: por exemplo: Tantas Fanegas, ó del nombre, que tuviese la medida.

Figura 4. Interrogatorio del Catastro del Marqués de la Ensenada

el mapa de España. Con el fin de lograr su objetivo, puso a punto un ambicioso plan de recogida de datos en todo el territorio nacional a través de los obispos, curas párrocos y otro personal eclesiástico, a los que se dirigía como Geógrafo de los Dominios de Su Majestad, requiriéndoles determinadas informaciones sobre sus diócesis por medio de un interrogatorio estructurado en quince cuestiones²⁵.

La tercera de las preguntas de dicho cuestionario se formulaba en los siguientes términos: "Se pondrá cuántas leguas dista de la principal o Metrópoli, quanto de la cabeza de la Vicaría y cuántos quartos de legua de los Lugares confinantes; expresando en este último particular, los que están al Norte, al Mediodía, Levante o Poniente, respecto del lugar que responde y cuántas leguas ocupa su jurisdicción".

Si bien sus mapas presentan notables errores y adolecen de la precisión requerida en la determinación de los límites administrativos, presentan un gran valor histórico y, en lo que nos atañe, muestran la división territorial correspondiente al Antiguo Régimen.

²⁵ Las respuestas obtenidas fueron cuidadosamente conservadas por Tomás López, posiblemente con la idea de publicar un Diccionario Geográfico de España, proyecto que también se planteaba la Academia de la Historia, de la que él era miembro. Así lo parece indicar el título con el que se conservan en la Biblioteca Nacional: "Diccionario geográfico de España formado con los datos reunidos por Tomás López".



Figura 5. Mapa de términos de Serranillos (Ávila)

Como documentación gráfica de la época, se conserva una interesante colección de planos y dibujos en el archivo de la Real Chancillería de Valladolid, procedentes en su mayor parte del alto tribunal de justicia que le da nombre, activo entre 1371 y 1834. La calidad técnica de los mismos es muy variada, en función tanto de la fecha de realización como de los autores de los mismos, que van desde pintores profesionales hasta agrimensores, pasando por maestros canteros y arquitectos. En los más antiguos predominan dibujos sencillos, realizados en tinta negra o sepia, mientras que en los más tardíos se recurre a la pintura al óleo y la aguada.

Los asuntos que originaban el levantamiento de estos planos judiciales son diversos pero, en relación al caso que nos ocupa, destacan los que representan mapas de términos relacionados con pleitos sobre el apeo, deslinde y amojonamiento de los términos de las villas y su jurisdicción. En los más detallados se llegan a representar las líneas de mojones, apareciendo estos representados y numerados. Lamentablemente, entre las obras catalogadas apenas hay alguno referido al territorio asturiano (véanse figuras 5 y 6).

• Edad Contemporánea (siglos XIX y XX)

Cuando a principios del siglo XIX, y bajo el nuevo ordenamiento constitucional, se emprende en nuestro país el ambicioso proyecto liberal de

transformación de la sociedad y del Estado, los sucesivos gobernantes se hubieron de enfrentar a un problema latente: la inexistencia de una cartografía de base que permitiese el conocimiento del territorio, necesario para conseguir el progreso material del reino.

Para tratar de solucionar esta carencia, el 3 de noviembre de 1856 el general Narváez establecía por real decreto la Comisión de Estadística General del Reino, la cual encargó a la Comisión del Mapa de España, fundada tres años antes, la realización de los trabajos catastrales. Con este objetivo, en 1857 se creaba en su seno la Comisión Topográfico-Catastral, de cuyas instrucciones se desprende que una de las primeras operaciones a realizar consistía en la **demarcación de los términos municipales**, acto al que acudirían los alcaldes de los municipios afectados, haciéndose acompañar de peritos locales, para indicar a los oficiales la línea perimetral.

No obstante, la frontal oposición de influyentes terratenientes, interesados en ocultar la propiedad de la tierra, determinó la fulminante supresión de ambas instituciones. Las competencias en la elaboración del mapa geográfico se trasladaron a la Comisión de Estadística que, en 1861, cambiaría su nombre por el de Junta General de Estadística. La coyuntura política no era muy propicia para la ejecución de este tipo de trabajos²⁶, por lo que en 1866 una Real Orden encomendaba a la Junta la realización de un avance catastral levantando únicamente el plano de los términos municipales. Aún así, las operaciones se suspenderían tras la Revolución de 1868.

Tras varios intentos, no es hasta 1870 cuando, con la creación del Instituto Geográfico y Estadístico, se sientan las bases para medir con rigor

²⁶ Destaca en este periodo la promulgación, por decreto del 5 de agosto de 1865, del *Reglamento de Operaciones Topográfico-Catastrales*, posiblemente debido a D. Francisco Coello, en el que, a la hora de determinar los límites del municipio, se decía que estos coincidirían con los límites de las parcelas que los cerraran y no con las líneas rectas que unieran los hitos planteados.



Figura 6. Mapa del concejo de Villaviciosa de fines del siglo XVIII (Biblioteca Nacional, ms. 7.295, folio 450)

Formulario núm. II.

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO

TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

PROVINCIA REGIÓN

.....

BRIGADA

TÉRMINO MUNICIPAL

.....

ACTA

de la operación practicada para reconocer la línea de término y señalar los mojones comunes á los términos

Acta de la operación practicada para reconocer la línea de término y señalar los mojones comunes á los términos municipales de..... y de..... pertenecientes ambos á la provincia de..... (ó el primero á la provincia de..... y el segundo á la de.....).

Reunidos el día de..... en el sitio denominado..... los señores que con sus respectivos cargos y representación abajo se expresan, previa citación hecha (1) por mí el Ingeniero D..... Jefe de la..... brigada topográfica, en cumplimiento de lo dispuesto en la ley para la publicación del Mapa, de treinta de Septiembre de mil ochocientos

(1) Cuando haga el acta el Topógrafo en representación del Jefe de la brigada, se pondrá: por el Ingeniero Jefe de la..... brigada topográfica de la provincia de..... para dar cumplimiento á lo que dispone la ley para la publicación del Mapa, de treinta de Septiembre de mil ochocientos setenta, y la de veintitrés de Marzo de mil novecientos seis sobre formación del Catastro parcelario de España; y habiendo sido nombrado por dicho Jefe de brigada para que lo represente y lleve á cabo en todas sus partes este trabajo el que suscribe, Topógrafo Auxiliar..... de Geografía, según consta en oficio que se une á este acta, se procedió á la operación en la forma siguiente:
..... Se reconoció como tal un hito de piedra; etc.

Figura 7. Modelo de impreso utilizado por el IGN para el levantamiento de actas de deslinde de término municipal

los términos municipales, refrendando el Ministerio de la Gobernación un Decreto (23 de diciembre) por el que se ordenaba a los ayuntamientos **deslindar y amojonar sus términos municipales**, en el "*improvable plazo*" de dos meses, dando instrucciones precisas para ello, pues en muchos casos este perímetro no estaba definido, ni lo había estado nunca, resultando su trazado desconocido para el Gobierno, incluso en términos generales.

Se establecía como procedimiento que una Comisión de cada ayuntamiento, con el auxilio de los peritos necesarios, recorriera la línea de término según la jurisdicción de hecho, plantando a lo largo del recorrido una serie de hitos permanentes. El Acta de la operación, en la que se recogía la situación de los hitos y las posibles discrepancias de los ayuntamientos, debería ser firmada por ambas Comisiones²⁷.

El ultimátum no debió de resultar completamente efectivo, puesto que por Real Decreto de 31 de agosto de 1889, recordado por Real Orden de 29 de octubre de 1896, aún se ordenaba a todos los Ayuntamientos que procedieran a la inmediata renovación de los hitos o mojones per-

manentes para determinar las líneas divisorias de sus términos municipales²⁸.

El deslinde municipal quedó definitivamente instaurado a resultas de la aprobación de la Ley del Catastro Parcelario de España de 1906, al ser considerado parte integrante de una primera fase de Avance Catastral²⁹. Los trabajos siguieron encomendados al Instituto Geográfico, cuyos ingenieros geógrafos y topógrafos iniciaban las operaciones en cada pueblo, convocando a los ayuntamientos colindantes. Discutidos los límites con las Comisiones delegadas, las brigadas topográficas trazaban y fijaban

²⁷ Las operaciones no debían estar del todo exentas de riesgo, pues a la semana siguiente el Ministro de Gobernación autorizaba a los topógrafos y portamiras a llevar armas, por entender que así lo requería su trabajo.

²⁸ Con el fin de dar cumplimiento al R.D. de 31 de agosto de 1889, el Ayuntamiento de Oviedo realizó un amojonamiento general del concejo, entre los meses de octubre y noviembre de ese mismo año, colocando un total de 142 mojones, numerados con tinta de carmín, en las 9 líneas de término existentes por entonces.

²⁹ La averiguación y señalización de los límites municipales en todo el país era aún una labor pendiente, a pesar de haberse intentado en varias ocasiones desde la implantación del Estado liberal (R.D. de 23-XI-1840; R.O. de 26-VII-1842; R.D. de 20-VIII-1859; D. de 23-XII-1870; R.D. de 30-VIII-1889; R.O. de 29-X-1896). El trazado de los términos municipales procedía del Antiguo Régimen y respondía a la mentalidad de aquella época, presentando líneas muy irregulares, numerosos entrantes y salientes, enclaves aislados, etc. El Estado, que en 1833 había procedido a reestructurar la organización administrativa del país con una nueva división provincial, no llegó a abordar nunca una acción similar en la delimitación de los municipios. Es importante, pues, tener en cuenta este aspecto al valorar la modernización que supuso el deslinde y amojonamiento de los términos que se incluía en el avance catastral.

las líneas acordadas, levantando el Acta correspondiente, que era firmada por cada una de las Comisiones, obligándose éstas a firmarla en el Ayuntamiento correspondiente (véase figura 7). En el art. 10 de dicha Ley se hace corresponder a los Ayuntamientos la vigilancia y conservación de todas las señales, hitos y mojones colocados por las brigadas topográficas en su jurisdicción.

La aprobación de esta Ley determinó que a lo largo del primer tercio del presente siglo se procediese, por parte del Instituto Geográfico, a reconocer las líneas de término y señalar los mojones comunes de los municipios asturianos, conforme a los nuevos preceptos establecidos, levantándose las Actas correspondientes, cuyos originales obran en poder del citado organismo y establecen el marco de referencia oficial para todos los efectos.

No obstante, y pese al esmero de los primeros legisladores que establecían la utilización de hitos, postes y mojones perceptibles para el señalamiento de los términos municipales, la realidad fue que no se dispuso de ningún tipo de señal especial para su materialización, recurriéndose en la mayoría de los casos al aprovechamiento de piedras nativas irregulares, montones de tierra y piedras de forma cónica, ciertos elementos singulares (fuentes, esquinas de casas, intersección de ejes de caminos o ríos) e incluso algún árbol corpulento.

Ello unido al hecho de que su situación se concretaba mediante una descripción literal de la señal y del paraje en el que se encontraba, así como con la alusión a alguna que otra referencia más o menos notable, determina que, con el tiempo transcurrido desde su señalización (60 a 80 años) y la paulatina desaparición de personas conocedoras de su ubicación, motivada por el abandono de las tareas del campo, en la actualidad resulte muy difícil, cuando no imposible, la correcta identificación de un mojón de término municipal.

Consecuentemente, de forma habitual se recurre a la información gráfica contenida en el Mapa Topográfico Nacional a escala 1/50.000 y 1/25.000, en los que se han representado las líneas límite a partir de la información contenida en las Actas de Deslinde y los cuadernos de campo correspondientes. Sin embargo, el grado de detalle de estas escalas resulta insuficiente para muchos de los fines que se persiguen y que requiere una moderna planificación y gestión urbanística y de servicios, viéndose alterada además su precisión con los sucesivos cambios de escala, digitalizaciones y demás operaciones que se aplican sobre un tipo de documentación no adecuada para servir de cartografía de base en el

ámbito municipal.

De todo ello resulta que, a las puertas del siglo XXI, la práctica totalidad de los municipios asturianos carecen de una delimitación precisa de su término municipal³⁰, debiendo recurrir a datos ambiguos, contradictorios y, en todo caso, inexactos, origen de todo tipo de conflictos jurídicos con las corporaciones locales vecinas.

Ante este panorama desolador y con el fin de evitar que esta indefinición se prolongue en el tiempo, resulta imprescindible que las autoridades políticas competentes tomen consciencia de la imperiosa necesidad de adoptar las siguientes medidas:

- a) Efectuar una inspección de todas las líneas límite municipales de la región, que permita conocer el estado real de cada una de ellas y el número exacto de mojones no identificables o desaparecidos.
- b) En función de los distintos casos y con el acuerdo previo de los municipios colindantes, acometer una revisión o reposición de las líneas límite, mediante la interpretación de las Actas del IGN y el desarrollo de las libretas de campo correspondientes, implantando un tipo de señal limitánea adecuada, al efecto que garantice su identificación, estabilidad y permanencia.
- c) Observación, por métodos topográficos apropiados, de todos los mojones que delimitan los concejos asturianos, obteniendo para cada uno de ellos, con la precisión que se considere oportuna, sus coordenadas en el sistema de representación oficial (UTM).
- d) Confección de una ficha-reseña para cada mojón, en la que figuren los siguientes datos: línea de término a la que pertenece el mojón; nombre y número del mismo; situación, definida mediante coordenadas UTM, y referencia a la hoja 1/25.000 y 1/5.000 en la que aparece representado; descripción literal; croquis o gráfico de accesos; fotografía de detalle y panorámica.

Estas actuaciones permitirán la plasmación cartográfica fidedigna de los mojones, así como su reposición exacta en caso de desplazamiento, pérdida o desaparición, eliminando para siempre cualquier tipo de ambigüedad y conflicto jurídico en materia de delimitación territorial. ■

³⁰ Tan sólo en 12 de las 207 líneas de término municipal existentes en el Principado de Asturias se ha llevado a cabo en los últimos años el reamojonamiento, dotando de coordenadas UTM a todos los hitos que las componen.

I Premio "San Isidoro" para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica

El Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía convoca el Primer Premio "San Isidoro" para Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Topográfica, con la finalidad de reconocer y estimular el ingenio y la creación técnica entre los alumnos de I.T. Topográfica, premiando a los mejores proyectos del curso académico que se presenten de acuerdo a las siguientes bases:

I. ASPIRANTES

Podrán concurrir todos los Ingenieros Técnicos en Topografía que hayan presentado el Proyecto Fin de Carrera durante el año 2001 en cualquier Escuela de Ingenieros Técnicos en Topografía de España.

2. DOCUMENTACIÓN, PLAZO Y LUGAR DE PRESENTACIÓN

Para participar, los alumnos deberán presentar en la sede de la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía (Avenida de Reina Victoria 66, 2º C, 28003 Madrid), antes del 15 de marzo de 2002, la siguiente documentación:

- Una copia del Proyecto Fin de Carrera en soporte papel, copia fiel del presentado en la defensa del mismo.
- Un resumen-artículo del Proyecto.
- Hoja de Solicitud debidamente cumplimentada.

Una vez finalizado el proceso de valoración y concluido el Premio, los solicitantes podrán retirar del Colegio las copias de los proyectos presentados a concurso, exceptuando los premiados, que quedarán depositados en la biblioteca del Colegio.

3. JURADO

El jurado estará compuesto por:

- **Presidente:** El Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- **Secretario:** El Secretario del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- **Vocales:** Cinco vocales designados por la Junta de Gobierno del Colegio, representantes de los ámbitos de la Universidad, Empresa Privada e Instituciones Oficiales.

El fallo del jurado se dará a conocer antes del 15 de Abril de 2002.

4. VALORACIÓN

El premio estará sujeto a un baremo de 1 a 10 puntos, según el cual se fijarán los criterios de valoración en los siguientes apartados:

- Creatividad y Originalidad del Proyecto.
- Innovación tecnológica.
- Rigor Técnico y Científico.
- Viabilidad Técnica y Económica del Proyecto con la documentación aportada.
- Presentación (memoria, modelos, programas informáticos, etc.).
- Resultados obtenidos y aplicabilidad práctica o interés industrial en el área.

5. PREMIOS

Se establecerán tres premios para los ganadores, dotados económicamente con las siguientes cantidades:

Primer Premio: 1.500 € (249.579 Ptas.)

Segundo Premio: 900 € (149.747 Ptas.)

Tercer Premio: 450 € (74.874 Ptas.)

Asimismo, a los profesores o tutores que hayan dirigido el Proyecto ganador se les hará entrega de una Placa Acreditativa en el acto de entrega del Premio.

La entrega de los Premios será pública y coincidirá con la celebración de la Fiesta de San Isidoro 2002 en Madrid.

6. NORMAS COMPLEMENTARIAS

La participación en el Premio supone la plena aceptación de estas bases. El fallo del Jurado será inapelable, pudiendo declarar desierto cualquiera de los tres premios que se otorgan, si así lo estima conveniente en función de la calidad de los Proyectos presentados. Cualquier incidencia no prevista en las presentes bases será resuelta por la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de I. T. en Topografía.

El Jurado o el Colegio podrán requerir a los participantes, en cualquier momento del proceso, la documentación acreditativa que se expresa en las bases.

Los trabajos premiados serán publicados en la Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, "Topografía y Cartografía", pudiéndose requerir de los autores la realización de las modificaciones en el resumen-artículo presentado que sean necesarias para dicho fin.

I PREMIO "SAN ISIDORO" PARA PROYECTOS FIN DE CARRERA DE INGENIERÍA TÉCNICA TOPOGRÁFICA

**Al Jurado del Premio
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía**

Nombre del autor o autores

Título del Proyecto Fin de Carrera

Escuela en la que se ha presentado y Universidad

Fecha

Tutor / es

Solicitante

Domicilio

Ciudad

Teléfono

En _____, a _____ de _____ de _____

Fdo.: _____

Novedades Técnicas

NUEVO COLECTOR DE DATOS DE TRIMBLE CON PANTALLA TÁCTIL Y AVISOS DE VOZ

Trimble ha lanzado al mercado el controlador TSCe, la incorporación más reciente al Trimble Toolbox, como parte de las soluciones de topografía integrada Integrated Surveying. El TSCe es un colector de mano potente, que usa la vista, el sonido y el tacto para permitir que los topógrafos realicen diversas tareas de forma rápida y precisa.

El controlador TSCe funciona con los sistemas topográficos GPS de Trimble, así como con las Estaciones Totales de Trimble y de otros fabricantes. El controlador funciona de forma más eficiente usando el nuevo software Trimble Survey Controller versión 10 o Tripod Data Systems (TDS) Survey Pro.

Esta solución revolucionaria, totalmente integrada, permite realizar diversas tareas sencillamente tocando la pantalla. Con una pantalla gráfica de gran tamaño y memoria, se pueden ver los datos topográficos en un mapa en tiempo real. También se pueden llevar datos de diseño y cartográficos al campo y verlos como referencia de fondo a medida que se trabaja. Utilizando el software Trimble Controller versión 10, se puede tomar la información directamente del mapa en pantalla y almacenarla en el mismo archivo de trabajo, lo que proporciona un acceso inmediato y un control total de los datos del proyecto en todo momento. Además, con el controlador TSCe de Trimble se puede acceder a Internet y al correo electrónico desde el sitio de trabajo, usando un módem externo o conectándose a una red.

La capacidad innovadora del software Trimble Survey Controller de registrar sonido, permite detectar los problemas tan pronto como se producen, mediante avisos de voz y selecciones en el menú intuitivo que agiliza la captura de datos y el replanteo. El potente colector también conmuta entre el GPS y las Estaciones Totales de forma ininterrumpida, incluyendo un soporte completo para el funcionamiento con Estaciones Totales robotizadas.

“Esta nueva función se traduce en un incremento de productividad para nuestros clientes, puesto que el control total está ahora prácticamente a su alcance” dijo Bryn Fosburgh, Vicepresidente de la División de Topografía aplicada a la Ingeniería y la Construcción de Trimble. *“A medida que aprovechemos la combinación de los conocimientos sobre el GPS de Trimble con la experiencia sobre instrumentos convencionales de Spectra Precision, la línea de productos en expansión de Trimble ofrecerá continuamente caracte-*



ísticas mejoradas, que permitirán a los topógrafos trabajar de forma más rápida y eficiente”.

Basado en el sistema operativo Windows CE, el nuevo TSCe no sólo funciona con el software Trimble Survey Controller y TDS Survey Pro, sino que también utiliza muchas otras aplicaciones bajo Microsoft Windows CE.

El controlador TSCe de Trimble se encuentra ya disponible en su red de distribuidores, pudiendo obtener más información sobre él en la dirección www.trimble.com.

GRAFINTA INSTALA UN SISTEMA DE CONTROL DE MAQUINARIA CON GPS

El pasado mes de agosto, en Abrantes (Portugal), Grafinta S.A. instaló con éxito un sistema de control de maquinaria con GPS sobre una Cat-16H. El sistema fue probado y puesto en marcha en el tramo de la autopista IP6 Mouriscas-Macao.

La Cat-16H es una motoniveladora que realiza trabajos de extendido y nivelación de las distintas capas de zahorra que componen un vial. El trabajo de esta máquina, sin automatización, requería el replanteo de numerosas estacas a ambos lados de la plataforma, es decir, la colocación de estacas guías a las distintas cotas de nivelación, y personal a pie indicando al maquinista la regulación de la altura de la hoja, mediante las estacas guías previamente instaladas.

Esta manera de trabajar ("cabeza-estaca") tiene varios inconvenientes:

- Es costosa y se presta a cometer errores, debidos a la falta de fiabilidad topográfica inicial (colocación de estacas a cota) y a la falta de precisión del maquinista y del personal de apoyo que indica los ajustes de la hoja.
- El personal que ayuda al maquinista está constantemente dentro del radio de acción de la máquina, con el consiguiente riesgo de accidentes laborales.
- Es muy lenta. Todos nos podemos imaginar los numerosos ajustes que hay que realizar en una curva de transición con peralte, en donde la pendiente transversal va cambiando constantemente.

El sistema implantado por Grafinta S.A. soluciona con creces todas estas limitaciones en el trabajo de nivelación y consigue:

- La automatización del trabajo, con el consiguiente ahorro en mano de obra.
- La disminución del riesgo de accidentes laborales, al desaparecer la necesidad de que el personal esté cerca del área de trabajo de la máquina.
- El aumento, en gran medida, de rendimiento de la maquinaria.
- La gran precisión del sistema.

Precisión de nivelación:	+/-15 mm
Eficiencia (respecto al método manual):	4 X ¹



¹ Un tramo de 100 metros de autopista de 12 metros de ancho exigió aproximadamente 4 horas por el método manual. Con el sistema automatizado el mismo trabajo se realizó en 1 hora.

¿En que consiste el Sistema integrado de control de maquinaria?

El sistema de control de maquinaria es un conjunto de elementos que interactúan entre ellos para conseguir la inclinación y elevación adecuada de la hoja en la niveladora para cumplir con el trazado proyectado.

Está compuesto por:

- **Sistema Mikrofyn:** Calcula la inclinación de la hoja necesaria, para una pendiente transversal impuesta, a partir de:
 - Rotación de la hoja (Sensor RS4).
 - Inclinación de la propia niveladora (Sensor JB4)
 - Inclinación actual de la hoja (Sensor XIS1)



El control de la inclinación es modificable mediante los controles (MS1), y se visualiza en la caja de control (CB4).



- **Sistema Geo-Rog:** Es un ordenador táctil de a bordo, en el cual se introducen los archivos necesarios para realizar un proyecto (planta, alzado, peraltes, etc.). Para conocer la posición tridimensional de la



motoniveladora se coloca un mástil sobre la hoja, en el cual se sitúa la antena GPS.

Geo-Rog envía la información necesaria (pendiente transversal y cota) al sistema *Microfin*, el cual ajusta la inclinación de la hoja para conseguir la cota y pendiente transversal del proyecto.

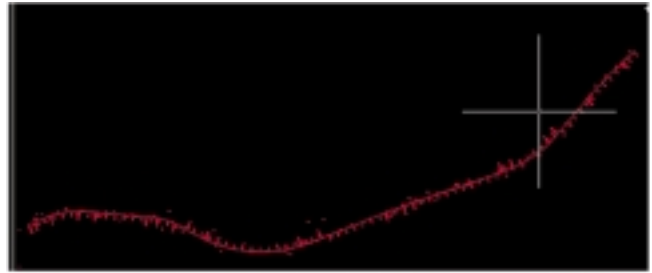
- **Sistema RTK de Ashtech:** Requiere dos receptores bifrecuencia (L1, L2) de última generación Z-Xtreme. Uno se coloca en una base de replanteo (base) y otro, funcionando como móvil, instalado en la motoniveladora.

Con los receptores GPS Ashtech Z-Xtreme se consigue obtener posiciones precisas cada décima de segundo en un radio de alcance medio de 9 km.

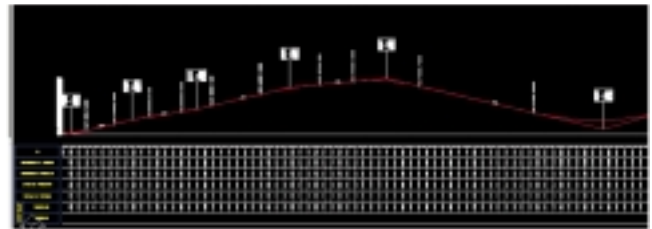


Componentes clásicos de un sistema GPS Astech doble frecuencia RTK instantáneo

Esquema del tramo de autopista IP6 (Mouriscas-Macao):



Planta



Alzado



Sección tipo

LEICA LANZA UN NUEVO RECEPTOR DE DATOS GPS/SIG DE ALTA PRECISIÓN

Leica Geosystems acaba de lanzar al mercado un nuevo receptor GPS de alta precisión, diseñado para proporcionar una herramienta de fácil uso para la adquisición de datos para SIG.



Leica ha ampliado significativamente su gama de productos GS5 con la incorporación de un receptor GPS de nueva tecnología, desarrollado conjuntamente con IBM. El diseño revolucionario de este receptor, basado en tecnología de silicio-germanio de IBM, es el primero en proporcionar el ajuste directo de los datos GPS mediante señales de radio, sin

necesidad de utilizar circuitos para frecuencias intermedias. El resultado es un equipo pequeño y de bajo consumo, con una mejora notable de las características del sistema.

El nuevo receptor Leica está disponible en dos modelos, para trabajar en modo autónomo o diferencial. El GS5 básico proporciona una precisión de 3-4 metros en modo no diferencial. El GS5+, que utiliza señales diferenciales de corrección de errores emitidas por las balizas del Servicio de Guardacostas de EE.UU., proporciona precisiones del orden de 1-2 metros.

Los modelos GS5 están diseñados para trabajar con el colector de datos ArcPad de ESRI o con cualquier otro sistema colector de datos SIG estándar. Los datos proporcionados por estos modelos tienen el formato NMEA-0813 V2.01, con un índice de actualización de una vez por segundo.

El equipo completo GS5 incluye una antena receptora GPS/DGPS ligera montada en un bastón telescópico y una mochila con las baterías y el cargador. Se puede obtener más información en www.leica-geosystems.com.

Vida Profesional

“LA IMAGEN DE MÁLAGA: EVOLUCIÓN CARTOGRÁFICA Y ESTADÍSTICA”



Con el nombre “La Imagen de Málaga: Evolución Cartográfica y Estadística”, se inauguró, el pasado 10 de agosto en el Archivo Municipal de la ciudad de Málaga, una exposición de cartografía, tanto antigua como actual, de esta provincia andaluza, que permaneció abierta hasta el 21 de septiembre.

Dicha exposición, organizada por las áreas de Cultura y Urbanismo del Ayuntamiento de Málaga, el CNIG y el Instituto Nacional de Estadística (INE) con motivo de la apertura en Málaga de una nueva tienda de Índice-La Casa del Mapa, tuvo un gran éxito de público, a lo que contribuyó notablemente su inauguración en coincidencia con la Feria de dicha ciudad, así como una gran cobertura informativa por parte de la prensa local.

En dicha exposición se pudieron ver los censos de Campoflorido (1712), el Conde de Aranda (1768) y Godoy (1797), los mapas de Torelli (1693), Verboom (1722) y Emilio de la Cerda (1897), entre otros documentos estadísticos y cartográficos históricos de la provincia, así como cartografía actual, tanto topográfica como temática, mapas en relieve, ortoimágenes espaciales y fotografías aéreas.

De forma paralela a la citada exposición, se celebró un ciclo de conferencias durante los días 19, 20 y 21 de septiembre, con el siguiente programa:

- *La Cartografía de la Administración General del estado.*
D. Agustín Cabria (CNIG)
- *Arte y Ciencia: Un recorrido por los planos históricos de Málaga.*
D. Manuel Olmedo Checa (Real Academia de Bellas Artes de San Telmo).



Vistas de la Exposición “La Imagen de Málaga: Evolución Cartográfica y Estadística”.



Interior de la librería Índice-La Casa del Mapa de Málaga.

- *El devenir histórico de lo Estadístico y lo Geográfico.*
D. Fernando Celestino Rey (INE).
- *Del ciclo demográfico antiguo al crecimiento cero. Un siglo del Movimiento Natural de la Población en la provincia de Málaga (1901-2000).*
D. Damián López Cano (Univ. de Málaga).

- *Málaga vista por viajeros extranjeros. Siglo XIX.*
D. Andrés García Maldonado (Univ. de Málaga).
- *De los recuentos poblacionales de ayer a los Censos de la Era Internet.*
D. Antonio Damián Requena Segovia (INE).

Igualmente, el día 10 de agosto abrió sus puertas la librería Índice-La Casa del Mapa de Málaga, que se encuentra situada en el número 2 de la céntrica calle de Panaderos. Esta nueva tienda, además de los diversos productos del IGN, CNIG e INE que comercializa, dispone de un servicio de biblioteca y cartoteca dotado con fondos en papel y en soporte informático, estos últimos accesibles desde varios puestos de consulta.

Su inauguración oficial se celebró el día 18 de septiembre, con la asistencia del Alcalde de Málaga, D. Francisco de la Torre, el Director General del IGN y Presidente del CNIG, D. José Antonio Canas Torres, y la Presidenta del INE, Dña. Carmen Alcaide. Los actos comenzaron con una visita guiada al Jardín Botánico de la Concepción, que cuenta con especímenes únicos del mundo vegetal en un entorno paradisíaco. Posteriormente, se celebró una rueda de prensa, seguida de la inauguración oficial de la librería Índice-La Casa del Mapa. Los actos se clausuraron con un concierto de canciones populares de los siglos XVI al XX.

HOMENAJE A D. MIGUEL MOLINA CAMPUZANO

Organizado por los Amigos de la Cartografía Madrileña (Fundación Villa y Corte) y con la asistencia de numerosos miembros del Instituto de Estudios Madrileños, del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, investigadores, familiares y amigos, se rindió, el pasado 21 de junio en el Centro Mesonero Romanos de la Plaza Mayor de Madrid, un merecido homenaje, cargado de afecto y gratitud, a D. Miguel Molina Campuzano, que fue, hasta su jubilación, Director de la Hemeroteca Municipal de Madrid y Decano del Cuerpo de Archiveros y Bibliotecarios.

D. Miguel Molina Campuzano es además autor del libro *Planos de Madrid de los siglos XVII y XVIII*, una exhaustiva recopilación y profundo estudio que, publicado por el Instituto de Estudios de la Administración Local en el año 1960, supuso diez años de investigación, recogidos en 804 páginas, y cuya aparición se hizo coincidir con una magna exposición de los planos en él recogidos. En el prólogo del libro, el Conde de Mayalde (Alcalde de Madrid por entonces) apuntaba que "Es una obra definitiva y de incalculable valor para la historia de Madrid". Cuarenta años después esta frase sigue plenamente vigente, pues en este período no ha aparecido ninguna obra que la haya superado y sí muchas en las que se desarrollan parcialmente muchos de los caminos en ella indicados. "El Molina", como ha sido denominado por todos los estudiosos de la cartografía

madrileña, sigue siendo de obligada referencia para todos los investigadores y estudiosos del Madrid de estos siglos.

Enhorabuena, D. Miguel. Esperamos impacientes la reedición de su trabajo, hace años agotada.



D. Alfonso Mora, de Amigos de la Cartografía Madrileña, haciendo entrega de un recuerdo del acto a D. Miguel Molina Campuzano

NECROLÓGICA

El pasado 23 de septiembre falleció nuestro compañero D. Enrique Oltra Pla.

Jubilado desde 1995, hasta esa fecha y durante casi cincuenta años desarrolló su labor profesional como Topógrafo en diversas empresas del sector privado, tales como Agromán, la Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera o ENSIDESA, entre otras, en el Principado de Asturias.

Tras su colegiación en la Delegación Territorial de Asturias del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, se convirtió en uno de los miembros más activos no sólo de dicha Delegación, en la que ocupó diversos cargos electos desde 1976, sino de todo el COITT, siendo miembro de la Junta de Gobierno durante dos mandatos, desde 1987 hasta 1995. Su labor en los diversos puestos que ocupó fue siempre encomiable, por la gran dedicación y esmero que en ella ponía, pudiéndose afirmar que su ausencia de la labor colegial tras su jubilación fue muy sentida por todos aquellos que le conocían y trataban.

Desde estas páginas transmitimos a sus familiares, en nombre de todos los Ingenieros Técnicos en Topografía colegiados, nuestras condolencias por la pérdida de una persona que tanto hizo por su profesión, que es la nuestra.

JORNADAS TÉCNICAS SOBRE TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA, FOTOGRAMETRÍA, GEODESIA Y TELEDETECCIÓN

Durante los días 29 y 30 del próximo mes de noviembre se van a celebrar en la Universidad de Alcalá de Henares una Jornadas Técnicas sobre Topografía, Cartografía, Fotogrametría, Geodesia y Teledetección, organizadas por la E. U. de Arquitectura Técnica, el Departamento de Arquitectura y las Áreas de Expresión Gráfica Arquitectónica y de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Universidad de Alcalá.

Dichas Jornadas se celebrarán en el Salón de Actos del Edificio Multidepartamental del Campus Universitario de Guadalajara (calle Cifuentes, 28), según el siguiente programa:

Jueves, 29 de Noviembre

MAÑANA

- 10:00 **Acto de inauguración** a cargo del Excmo. Sr. Vicerrector de Infraestructuras, Dr. D. Manuel Mazo Quintas, y del Ilmo. Sr. Director de la E.U. de Arquitectura Técnica, Dr. D. Antonio Miguel Trallero Sanz.
- 11:00 **Desarrollo de la profesión de Ingeniero Técnico en Topografía y campos de Actividad**
Ilmo. Sr. D. Miguel Ángel Muñoz Gracia,
Decano del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- 11:30 **La Expresión Gráfica como lenguaje de la técnica**
D. Felipe del Álamo Martín,
Presidente de la Agrupación Regional del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Castilla-La Mancha.
- 12:00 Descanso y Café
- 12:30 **La Ciencia de la Información Geográfica**
Dr. D. Joaquín Bosque Sendra, Catedrático de Geografía, UA.
- 13:00 **La gestión informatizada de las bases de datos corporativas y su integración en un SIG. Proyecto de publicación en WEB**
D. Agustín Lanero Parrado,
Ingeniero Técnico en Topografía
Jefe de Sección de Unidad de Integración Corporativa del Ayuntamiento de Gijón.

TARDE

- 16:30 **Las Ciencias Cartográficas y la investigación: del plano al espacio**
Dña. Mercedes Farjas Abadía,
Catedrático de la E.U. de Ingeniería Técnica Topográfica. UPM.
- 17:00 **Teledetección Aeroportada y Espacial**
D. Juan Gregorio Rejas Ayuga, Ingeniero en Geodesia y Cartografía. INTA.
- 17:30 **Estado actual y perspectivas de la teledetección en la investigación ambiental**
Dr. D. Emilio Chuvieco Salinero, Catedrático de Geografía. UA.
- 18:00 **Aerotriangulación en el Instituto Geográfico Nacional. Presente y futuro**
D. Francisco Papi Montanel,
Jefe de Servicio de Levantamiento Topográfico del IGN.
Profesor de Fotogrametría de la UA.

- 18:30 **El Mapa Topográfico Nacional a escala 1/25.000**
D. Agustín Cabria Ramos,
Ingeniero Geógrafo,
Jefe de Área de Productos Cartográficos del CNIG.

Viernes, 30 de Noviembre

MAÑANA

- 10:00 **Posibles aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Fotogrametría**
Dr. D. José Antonio Malpica Velasco, Profesor Titular de Universidad, Subdirector Estudios de Ing. en Geodesia y Cartografía UA.
- 10:30 **Aplicaciones de la Fotogrametría en levantamientos**
D. Alfonso Marín Pérez,
Ing.Téc. en Topografía, MicroCheck SL
D. Roberto Gómez Jara, Ing. Téc. en Topografía,
Dirección del Patrimonio Arquitectónico e Inmuebles del Patrimonio Nacional.
- 11:00 **Sistemas de referencia. Proyecciones cartográficas y transformaciones de datum**
D. Adolfo Dalda Mourón, Ingeniero Geógrafo, IGN.
- 11:30 **Proyectos geodésicos en el Instituto Geográfico Nacional**
D. Francisco Javier González Matesanz, Ingeniero Geógrafo, IGN.
- 12:00 Descanso y Café
- 12:30 **Atlas temáticos entre la difusión científica y cultural y el apoyo a la gestión territorial**
Dr. D. José Sancho Comins,
Catedrático de Análisis Geográfico Regional, Director del Dpto. de Geografía, UA.
- 13:00 **Sistema de Información Geográfica Catastral (SIGCA)**
D. Miguel Ángel Sánchez Mayoral,
Arquitecto, Gerente Teritorial de Catastro, Delegación de Hacienda de Guadalajara.
- 13:30 **La Cartografía y las Bases de Datos Georreferenciadas (BDG)**
D. Ignacio Alonso Barragán,
Consejero-Delegado de ISIG, SL.
- 14:00 **El Cielo de Otoño**
Dr. D. Fernando Martín Asín,
Ingeniero Geógrafo, Catedrático de Astronomía, UPM.
- 14:30 **CLAUSURA** a cargo del Ilmo. Sr. Director del Departamento de Arquitectura UA,
Dr. D. Fernando da Casa Martín

TOPOGRAFIA y CARTOGRAFIA



TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA

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

El precio de la suscripción para el año 2001 es de:

	Correo ordinario	Correo certificado	
España	5.500 Pta. <input type="checkbox"/>	7.150 Pta. <input type="checkbox"/>	
Países C.E.E.	7.700 Pta. <input type="checkbox"/>	10.275 Pta. <input type="checkbox"/>	
América.....	7.700 Pta. <input type="checkbox"/>	11.490 Pta. <input type="checkbox"/>	(con suplemento aéreo)
Otros países.....	8.000 Pta. <input type="checkbox"/>	11.650 Pta. <input type="checkbox"/>	(con suplemento aéreo)
Estudiantes (remitir justificante de estar matriculado en el curso 1999-2000)	4.500 Pta. <input type="checkbox"/>		

NOMBRE Y APELLIDOS.....

DIRECCIÓN, POBLACIÓN

PROVINCIA, CÓDIGO POSTAL, PAÍS, TEL. CONTACTO,

Adjunto cheque o justificante de giro transferencia para la suscripción del año 2000.

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

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

Indice Comercial de Firmas



AL-TOP
TOPOGRAFIA, S.A.
TOPO CENTER®

ALQUILER Y VENTA DE INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS EQUIPOS Y SISTEMAS PARA TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

SERVICIO TECNICO OFICIAL PARA ESPAÑA DE:



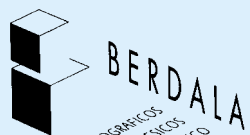

C/ BOFARULL, 14, BAJOS 1ª
TEL. 93 340 05 73 - FAX 93 351 95 18
08027 BARCELONA

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: rodofo.berge@upcnet.es

INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS Y GEODESICOS
SERVICIO TECNICO

Balmes, 6 08007 BARCELONA
Tel. 93 301 80 49 Fax 93 302 57 89



Instrumentos Topográficos
Casa Sueca: +46.8.622.1000

Distribuidores:
ALTOP-Barcelona: 93 340.05.73
CYT-Santiago: 981 581.678
DATUM-Madrid: 91 535.33.72

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



MADRID 913 801 823
ANDALUCIA 958 451 403
LEVANTE 963 775 116
GALICIA 981 330 031

<http://www.geocenter.es>

DISTRIBUIDOR OFICIAL VENTA Y ALQUILER





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: scintra@mad.servicom.es

TOPCON ESPAÑA, S.A.

Instrumentos Topográficos

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

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

ATICSA

— Distribuidor Oficial —



Leica 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



DATUM

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



Cristóbal Bordiú, 35
Tel. 91 535 33 72
Fax 91 535 33 84
28003 Madrid

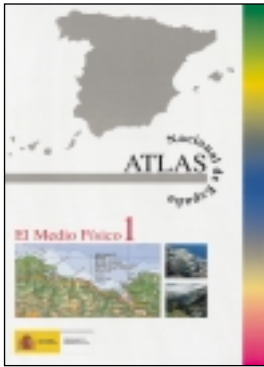
SISTEMAS DE MEDIDA

GRAFINTA, S.A.

Topografía, Geodesia, Dibujo

Avda. Filipinas, 46 - 28003 MADRID
Tel. 91 553 72 07 - Fax 91 533 62 82

Libros Técnicos



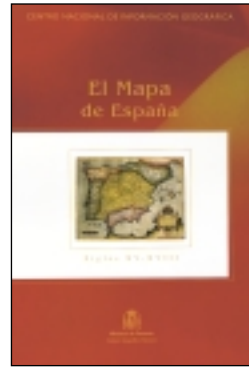
Título: Atlas Nacional de España. El medio Físico I
IGN

Pesetas: 6.000. Ref.: 022



Título: Francisco Coello, su vida y obra
Autor: José Martín López

Pesetas: 2.000. Ref.: 032



Título: El Mapa de España (siglos XV-XVIII)
Autor: Agustín Hernando

Pesetas: 4.000. Ref. 014



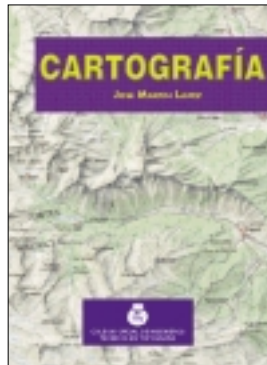
Título: Fondos Cartográficos del Instituto Geográfico Nacional (Siglos XVI al XIX)
IGN - CNIG

Pesetas: 9.000. Ref. 020



Título: Lectura de mapas
Autores: F. Vázquez Maure y J. Martín López

Pesetas: 2.600. Ref.: 4001



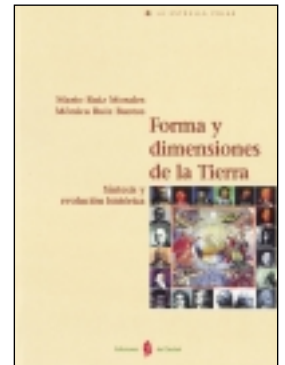
Título: Cartografía
Autor: José Martín López

Pesetas: 5.500. Ref. 701
(4.000 colegiados y alumnos E.U.I.T.T.)



Título: Cartógrafos Españoles
Autor: José Martín López

Pesetas: 4.500. Ref.: 021



Título: Forma y Dimensiones de la Tierra
Autores: M. Ruiz Morales y M. Ruiz Bustos

Pesetas: 4.900. Ref.: 7001



Título: Problemas de Fotogrametría I
Autor: José Lerma García

Pesetas: 1.605. Ref.: 5001



Título: Problemas de Fotogrametría II
Autor: José Lerma García

Pesetas: 1.845. Ref.: 5003



Título: Problemas de Fotogrametría III
Autor: José Lerma García

Pesetas: 1.365. Ref.: 5002



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

Pesetas: 3.800. Ref.: 5004



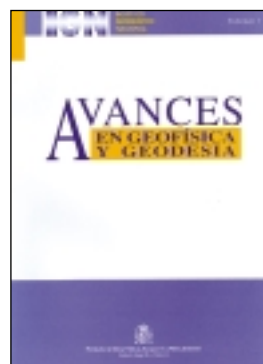
Título: Geodesia (Geométrica, Física y por Satélites)
Autores: R. Cid Palacios y S. Ferrer Múnez.

Pesetas: 4.000. Ref.: 030



Título: Geodesia y Cartografía Matemática
Autor: Fernando Martín Asín

Pesetas: 5.315. Ref. 205



Título: Avances en Geodesia y Geofísica (vol. I)
Autor: MOPTMA-IGN

Pesetas: 3.000. Ref.: 016



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

Pesetas: 4.195. Ref. 5005



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

Pesetas: 2.000. Ref. 801



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

Pesetas: 4.000. Ref. 802



Título: **Fundamentos Teóricos de los Métodos Topográficos**
Autor: **Alonso Sánchez Ríos**

Pesetas: 2.600. Ref. 6002



Título: **Problemas de Métodos Topográficos (Planteados y Resueltos)**
Autor: **Alonso Sánchez Ríos**

Pesetas: 2.600. Ref. 6003



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

Pesetas: 5.000. Ref. 6001



Título: **Tratado de Topografía 1**
Autores: **M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné**

Pesetas: 7.000 (6.000 coleg.). Ref. 2001



Título: **Tratado de Topografía 2**
Autores: **M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné**

Pesetas: 8.500 (7.000 coleg.). Ref. 2002



Título: **Tratado de Topografía 3**
Autores: **M. Chueca, J. Herráez, J. L. Berné**

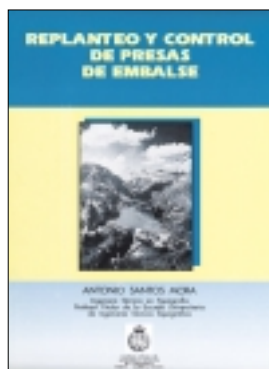
Pesetas: 6.000 (5.000 coleg.). Ref. 2003

Los tres volúmenes: **Pesetas 21.500 (15.000 colegiados)**



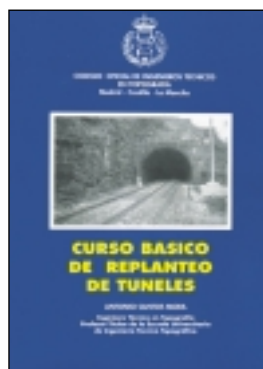
Título: **Topografía y Replanteo de Obras de Ingeniería**
Autor: **Antonio Santos Mora**

Pesetas: 5.500. Ref. 301



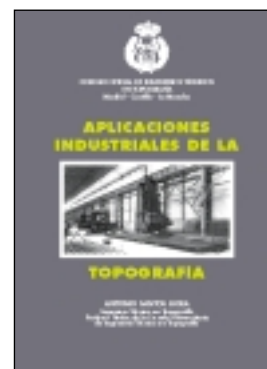
Título: **Replanteo y control de presas de embalse**
Autor: **Antonio Santos Mora**

Pesetas: 2.000. Ref. 302



Título: **Curso básico de replanteo de túneles**
Autor: **Antonio Santos Mora**

Pesetas: 1.500. Ref. 303



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

Pesetas: 3.200. Ref. 305

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

N.º Ref.	Cantidad	Título	Precio unitario	Total
Gastos de envío (500 Ptas. Europa, para otros países consultar)				
Nombre				
Dirección				
Ciudad..... Provincia C.P.				
Forma de pago: <input type="checkbox"/> talón nominativo <input type="checkbox"/> giro <input type="checkbox"/> transferencia				
Remitir justificante de giro o transferencia.				

NOTA: Estos precios son con IVA incluido.