

# MAPPPING

VOL. 22 • Nº 157 • ENERO - FEBRERO 2013 • ISSN: 1.131-9.100

**TOPOMETRÍA LÁSER 3D  
Y CARTOGRAFÍA INVERSA  
en el tómbolo de Gijón**

**PROCESAMIENTO DE  
ESTACIONES PERMANENTES  
GNSS EN EL ÁREA IBÉRICA  
Proyecto IBERRED  
Algunos casos particulares**

**GEOMETRÍA Y CONTROL  
DE CALIDAD  
DE INFRAESTRUCTURA  
VIARIA DE ALTA VELOCIDAD:  
Revisión de métodos  
y procedimientos  
constructivos**

**LA GEOLOCALIZACIÓN  
al servicio  
de la sociedad**

**IMPLEMENTACIÓN  
DE HERRAMIENTAS WEB  
PARA LA FUSIÓN DE  
IMÁGENES SATELITALES  
Usando la transformada rápida  
de WAVELETHAAR (TRWH)**

**FONDOS DOCUMENTALES  
PARA LA HISTORIA  
del Instituto Geográfico  
Nacional (España)**



# MAPPING

VOL.22 Nº157 ENERO-FEBRERO 2013 ISSN: 1.131-9.100

## **PRESIDENTE**

Benjamín Piña Patón

## **DIRECTOR**

Miguel Ángel Ruiz Tejada  
[maruiz@geomapping.com](mailto:maruiz@geomapping.com)

## **REDACTORA JEFA**

Marta Criado Valdés  
[mcriado@geomapping.com](mailto:mcriado@geomapping.com)

## **CONSEJO DE REDACCIÓN**

Julián Aguirre de Mata  
Manuel Alcázar Molina  
Marina A. Álvarez Alonso  
Carlos Javier Broncano Mateos  
Mercedes Farjas Abadía  
M<sup>a</sup> Teresa Fernández Pareja  
Florentino García González

Francisco Javier González Matesanz

Luis Joyanes Aguilar  
Julio Mezcua Rodríguez  
Ricardo Rodríguez Cielos  
Antonio Federico Rodríguez Pascual  
Roberto Rodríguez-Solano Suárez  
Andrés Seco Meneses  
Antonio Vázquez Hoehne

## **CONSEJO ASESOR**

Maximiliano Arenas García  
Andrés Díez Galilea  
Ignacio Durán Boo  
Ourania Mavrantza  
Javier Peñafiel de Pedro  
Jesús Velasco Gómez

## **DISTRIBUCIÓN, SUSCRIPCIÓN Y VENTA**

eGeoMapping S.L.  
C/ Linneo 37. 1<sup>a</sup>B. Escalera Central  
28005. Madrid. España  
Teléfono: 913010564  
[info@mappinginteractivo.es](mailto:info@mappinginteractivo.es)  
[www.mappinginteractivo.es](http://www.mappinginteractivo.es)

## **DISEÑO Y MAQUETACIÓN**

La Otra Idea Comunicación  
[www.laotraidea.es](http://www.laotraidea.es)

## **IMPRESIÓN**

Impresiones S.L.

*Los artículos publicados expresan sólo la opinión de los autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación.*

*Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen al archivo del autor o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos. Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen. Esta revista ha sido impresa en papel ecológico.*



### **FOTO DE PORTADA:**

Estatua Cristo Rey - Cali - Colombia

Autor: Jimmy Celis

Empresa: CELIS Servicios Topográficos S.A.S

Medio Técnicos:

Zepelin cautivo, con una cámara Canon G10 asistida de servomotores a control remoto.

Depósito Legal: B-4.987-92

ISSN: 1.131-9.100

## Sumario



Pág. 05

Editorial: Nueva etapa



Pág. 06

Fondos documentales para la historia del Instituto Geográfico Nacional (España)



Pág. 20

Topometría láser 3D y cartografía inversa en el tómbolo de Gijón



Pág. 34

Implementación de herramientas web para la fusión de imágenes satelitales usando la transformada rápida de Wavelet Haar (TRWH)



Pág. 46

Geometría y control de calidad de infraestructura viaria de alta velocidad: Revisión de métodos y procedimientos constructivos



Pág. 62

La Geolocalización al servicio de la sociedad



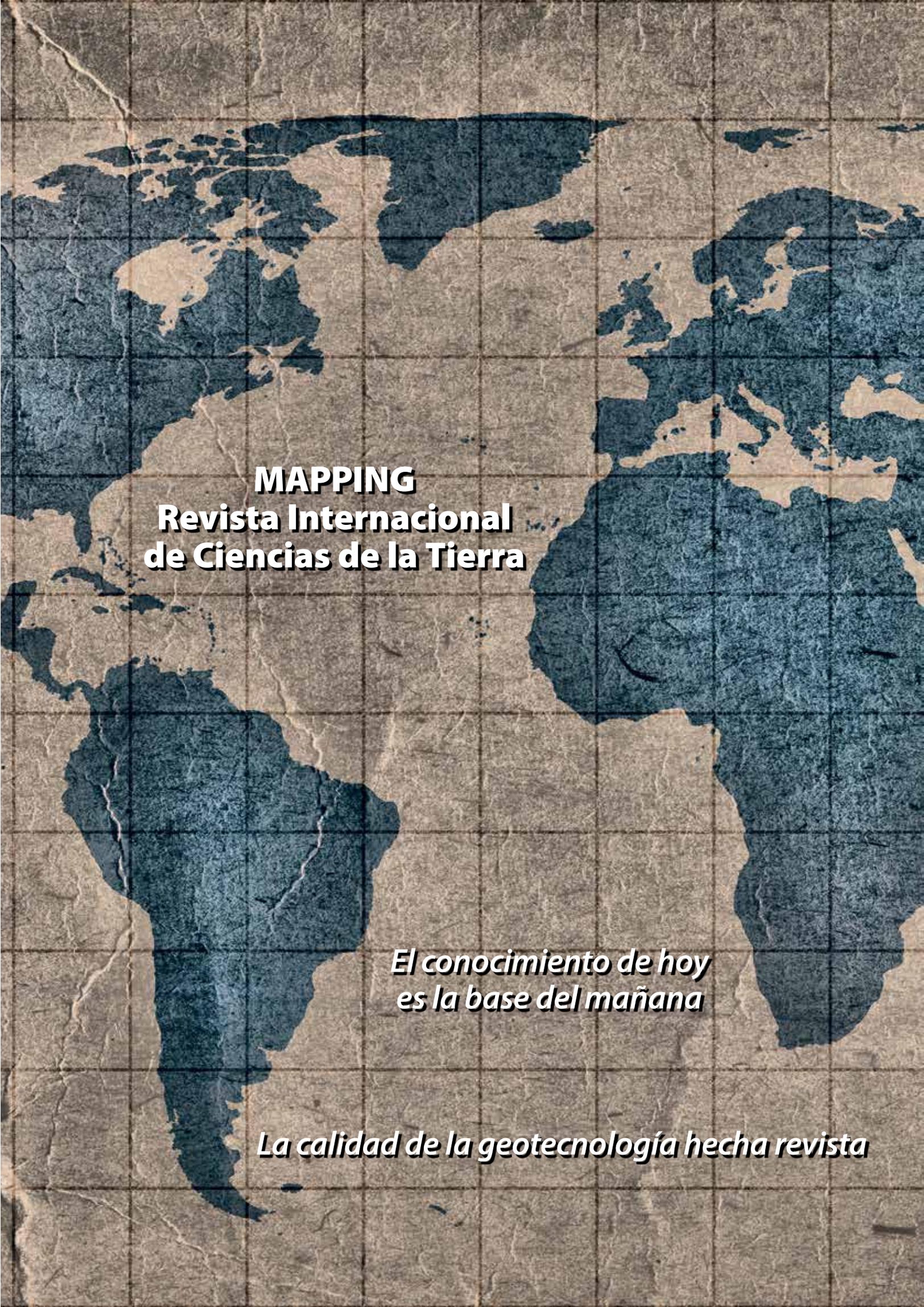
Pág. 70

Procesamiento de estaciones permanentes GNSS en el área Ibérica. Proyecto IBERRED. Algunos casos particulares.



Pág. 82

Noticias



**MAPPING**  
**Revista Internacional  
de Ciencias de la Tierra**

*El conocimiento de hoy  
es la base del mañana*

*La calidad de la geotecnología hecha revista*

## Nueva etapa

Tras 22 años de gestión de la revista por la empresa Revista Mapping, recogemos el testigo con la misma ilusión que en su día empezaron sus creadores. Con la responsabilidad de saber que Mapping trae consigo a un lector fiel y exigente ganado durante estos años y, conocedores de que es el medio de comunicación por excelencia en el mundo de las Ciencias de la Tierra tanto en España como en Iberoamérica. Nos planteamos desde este mismo número las directrices a seguir en las próximas temporadas.

Como principales objetivos nos hemos marcado indexar nuestra revista cumpliendo con todos los estándares de calidad requeridos y, elevar el índice de impacto de la misma. A tal fin, el sistema de selección y evaluación de los artículos presentados por los autores, se realizará por dos revisores externos adoptando los protocolos habituales de edición para publicaciones científicas seriadas. El Consejo de Redacción y el Consejo Asesor con los que cuenta actualmente Mapping, indican la importante apuesta y compromiso que adquiere esta dirección, tanto con el lector como con la comunidad científica. Estamos orgullosos de que todos ellos confíen en este nuevo proyecto.

Y ahora bien, ¿qué queremos que sea la revista Mapping y a quién va dirigida?

La revista se implementa dentro de un gran proyecto y es su carta de presentación. A su recorrido en solitario durante estos 22 años se le añade ahora la plataforma de divulgación científica; eGeoMapping. Dirigida por profesionales del mundo empresarial, universitario y asociativo de elevado prestigio, que desarrollan su actividad en el mundo de la Geomática y Ciencias de la Tierra. Y son, precisamente estas palabras, las que configuran el "abstract" de todo nuestro proyecto.

En un mundo cada vez más cambiante, más globalizado, más tecnológico, Mapping intentará ser el punto de encuentro de todos aquellos profesionales que se dedican al ámbito GEO. No obstante, abrir las puertas al inmenso mundo de la geotecnología no implica generalizar, sino conectar técnicas y profesionales capacitados para realizar y difundir una determinada actividad. Tan importante es para nosotros el entorno empresarial como el universitario y, conjugarlos con éxito para el beneficio del lector será uno de nuestros mayores retos. Profesionales del ámbito de la Geomática, de las Ciencias de la Información, de la Ingeniería Civil, empresarial, investigadores, doctorandos, alumnado, etc., encontrarán en Mapping Revista y Mapping Interactivo una publicación científica de calidad, con rigor, sin complejos y de elevada actualidad y abierta a dar a conocer al profesional que trabaja en un entorno geográfico, que irá mejorando y perfeccionando en cada número publicado.

Queremos aprovechar esta primera presentación para agradecer a todas las personas que hacen realidad esta publicación, los autores y autoras, el Consejo de Redacción, Consejo Asesor, suscriptores, empresas publicitarias y organismos oficiales como son el Instituto Geográfico Nacional y el Centro Nacional de Información Geográfica del Ministerio de Fomento de España, que nos han animado a continuar con el proyecto que hace años inició la empresa Revista Mapping.

Nuestra primera revista la queremos dedicar al profesor José Antonio Malpica Velasco, que desgraciadamente no ha podido incorporarse con sus compañeros del Consejo de Redacción, aunque siempre estará en nuestro recuerdo. Su sonrisa, ilusión, bondad y profesionalidad siempre nos guiará.

La Dirección

# Fondos documentales para la historia del Instituto Geográfico Nacional (España)

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 157, 06-19  
enero-febrero 2013  
ISSN: 1.131-9.100

Jesús Sastre Domingo (\*)

## Resumen:

Se describen documentos de archivo, algunos de nueva aparición, para darlos a conocer a los investigadores y al público en general:

- 1818-71 Reseñas de vértices geodésicos (Pirineos) para el enlace de España con Francia.
- 1850-70 "Legajos amarillos" con información administrativa.
- 1864-1970 Actas de la "Junta General de Estadística"
- 1875 Piedras litográficas para la impresión del "Mapa Topográfico Nacional" a escala 1:50.000 (MTN-50)
- 1902 Ensayo del método fotogramétrico en el término municipal de Otero de Herreros (Segovia)
- 1910-40 "Telones" y "Limpios", minutas y separación de colores para la realización de planchas de impresión del MTN-50
- 1913-27 Memorias y fotografías de los enlaces geodésicos Islas Canarias y Canarias-África

## Abstract:

Archives documents, some of them new, are described for the use of researchers and general public:

- 1818-71 Reports of geodetic points for the link between Spain and France
- 1850-1870 "Yellow bundles" with administrative information.
- 1864-1970 Minutes of the "Junta General de Estadística"
- 1875 Lithographic stones for the printing of the "Mapa Topográfico Nacional" scale 1:50.000 (MTN-50).
- 1902 Method test of the photogrammetric in Otero de Herreros borough (Segovia).
- 1910-40 "Telones" y "Limpios", original plots and colour splits to produce print plates of the MTN-50
- 1913-1927 Records and photographs of the geodesic links Canary Islands and Canary Islands-Africa.

## Résumé:

Des documents d'archives sont décrits, quelques-uns récemment découverts, afin que les chercheurs et le grand public les connaissent.

- 1818-71 Données des signaux géodésiques (Pyrénées) pour la connexion Espagne-France.
- 1850-70 "Legajos amarillos" (Anciennes dossiers jaunes) avec des renseignements administratifs.
- 1864-1970 Procès-verbal de la "Junta General de Estadística"
- 1875 Pierres lithographiques pour imprimer le "Mapa Topográfico Nacional" à l'échelle 1:50.000 (MTN-50)
- 1902 Essai de la méthode photogramétrique dans la municipalité Otero de Herreros (Segovia)
- 1910-40 "Telones" et "Limpios", minutes topographiques et couleurs séparées pour la réalisation des planches d'impression du MTN-50
- 1913-27 Mémoire et photographies pour les connexions géodésiques Îles Canarias et Canarias-Afrique.

Palabras clave: Archivo Histórico, Geodesia, Actas, Litografía, Fotogrametría, Minutas topográficas, Enlace geodésico.

Keywords: Historic archive, Geodesy, Records, Litography, Photogrammetry, Topographic original plots, International geodetic link.

Mots clés: Archive historique, Géodesie, Procès-verbal, lithographie, photogramétrie, minutes topographiques, connexion géodésique.

(\*) *Instituto Geográfico Nacional*  
Jefe de Sección del Registro Central de Cartografía  
[jsastre@fomento.es](mailto:jsastre@fomento.es)

Recepción 20/08/2012  
Aprobación 13/09/2012

## Reseñas de vértices geodésicos franceses

Entre los numerosos documentos notables que se custodian en los archivos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), han aparecido recientemente reseñas de vértices geodésicos del año 1825. ¿Cómo es posible, si hasta los años 50 no se empezaron a realizar las medidas de la base de Madrudejos? Se trata de reseñas de vértices de la cadena de los Pirineos franceses, necesarios para el enlace de la red geodésica de España con Francia.

De Zea en 1863 a su vuelta de Paris (Francia) y Southampton (Inglaterra) Pedro de Zea y de la Guerra junto con otros 3 capitanes de Estado Mayor, uno de Artillería y otros 2 del cuerpo de Ingenieros, entre los que se encontraba Carlos Ibáñez de Ibero, habían sido seleccionados en 1854, para iniciar los trabajos geodésicos, participando en la medida de la base fundamental de Madrudejos, y posteriormente en la sección norte de la cadena de triángulos del meridiano de Madrid. En la segunda campaña de 1855 estuvo al mando de la cuarta brigada junto a Félix Hurtado de Corcuera, Joaquín Castro Soler y Antonio Enrique Ten Ros.

Entre los numerosos documentos notables que se custodian en los archivos del **Instituto Geográfico Nacional (IGN)**, han aparecido recientemente reseñas de vértices geodésicos del año 1825

En el expediente personal de Pedro de Zea (signatura T-II-xyz) hay un resumen de los documentos que trajo de Paris y Southampton que no coincide con la relación que acompaña a los documentos encontrados, y hay otros no reseñados. Todos en el archivo histórico del IGN (sig. P-I-3). En la primavera de 1862 la Junta General de Estadística está pendiente de la construcción en París de teodolitos de 2º orden, un catetómetro por al artista Mr. Brunner que completa el gran barómetro que posee empacado y otros instrumentos encargados por la antigua Comisión del Mapa de España, y se piensa en el Comandante de Estado Mayor D. Pedro de Zea, a la que pertenece desde hace 6

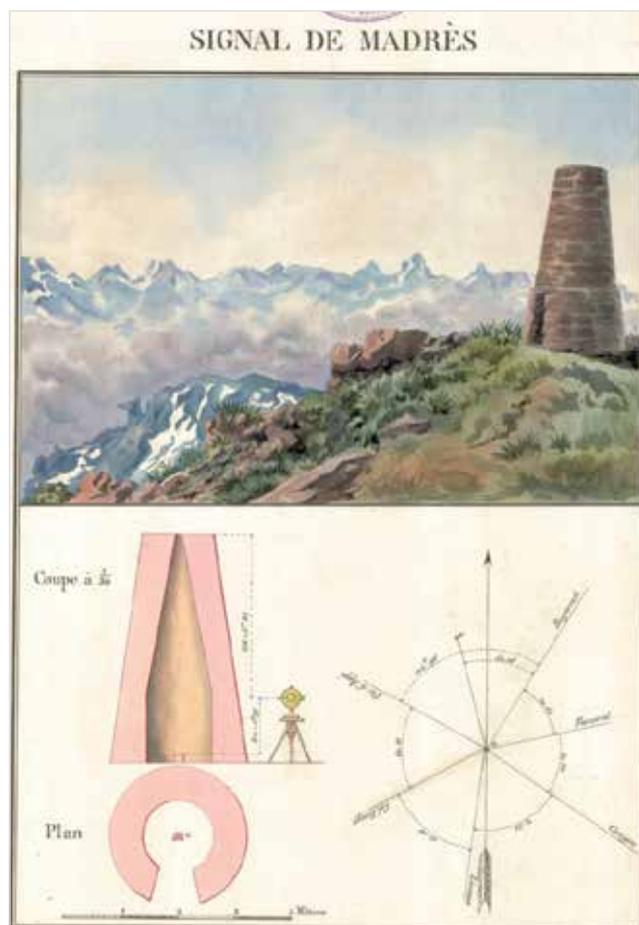


Figura 1. Reseña geodésica en acuarela. Cadena de los Pirineos. Signal de Madrès.

años, que está comisionado en París, para que agilice las labores de construcción de instrumentos y para obtener copias de planos y datos del Depósito de Guerra de Francia, necesarios para esclarecer la marcha de los nuevos trabajos de triangulación interior que van a emprender en el año actual.

La Presidencia del Consejo de Ministros aprueba los trabajos siempre que no le distraiga de su principal cometido y se dota de 4.000 escudos. Se le piden las descripciones de las señales y los vértices de la cadena de triángulos de los pirineos franceses: Biarritz, La Rhune, Lisserateca y Fort de Socoa, junto con el dibujo de un cuadrilátero y su enlace con la red de primer orden. Las copias importan 125 francos según tarifas, más gastos de correo, carruaje y gratificaciones moderadas a los empleados copistas, al bibliotecario Bessac por la descripción de los sistemas de grabado empleados, y se envían por la casa de comisión de París Boix y Cía. y por Legación de España los cuadernos:

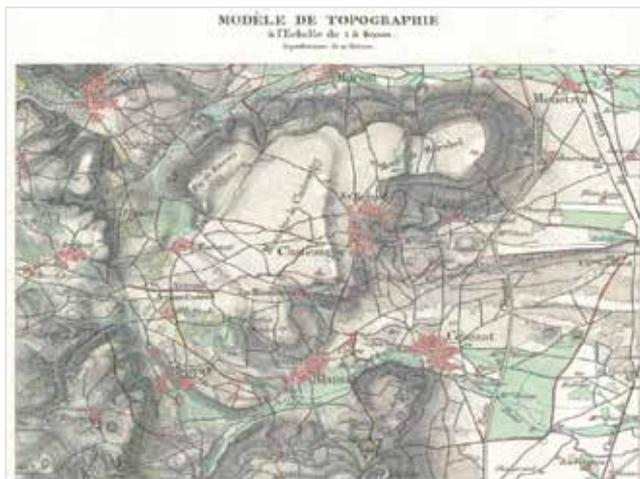


Figura 2. Dibujo de una parte de la hoja de Clermont a escala 1:40.000 con representación del relieve con el sistema de normales.

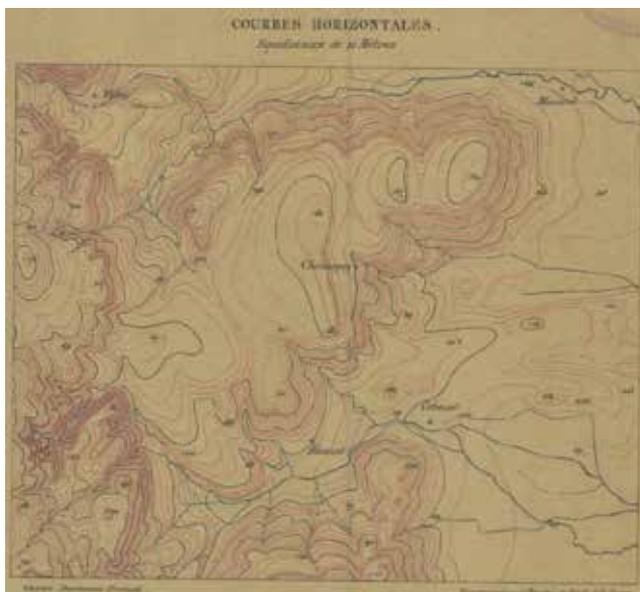


Figura 3. Dibujo de la misma parte de la hoja de Clermont 1:40.000, con la altimetría por curvas de nivel.

- Instrucción para el servicio de los ingenieros geógrafos. 1818.
- Formulario de la memoria que han de redactar los oficiales encargados del levantamiento de la Carta de Francia. Litografiado.
- Instrucción para los trabajos topográficos de la Carta de Francia. Litografiado.
- Noticias acerca de la gran Carta de Francia por el General Blondel, actual Director del Depósito de la Guerra. 1853.
- Noticia del servicio de la Carta de Francia en el Depósito de la Guerra. Manuscrito.



Figura 4. Reseña geodésica de 1er orden en acuarela. Meridiano de Sedan. Station de Langres. Fachada catedral. 1:200

En agosto se resuelven los pagos extras pendientes y entrega además:

- Procedimientos empleados para el grabado y reproducción de los mapas geográficos y topográficos. Con una fecha que contradice lo señalado en el expediente personal, 1 de enero de 1863.
- Informe del Mariscal Vaillant, Ministro de la Guerra a la Academia de las Ciencias "Sobre un nuevo procedimiento de grabado". Extracto del Monitor Universal con detalle de los trabajos de la Carta de Francia. 1 de agosto de 1962.

Se traslada en verano a Southampton (Inglaterra) para recopilar información del Ordnance Survey, y consigue, aunque de momento no ha aparecido:

Trabajo producido con el presupuesto de gastos y ahorros con el auxilio de la fotografía y estampación de ciertos signos.

Organización del trabajo, triangulación, topografía, nivelación y escalas.

Litografía zincográfica y procedimiento anastático.

Grabado impresión en talla dulce y electrotipia.

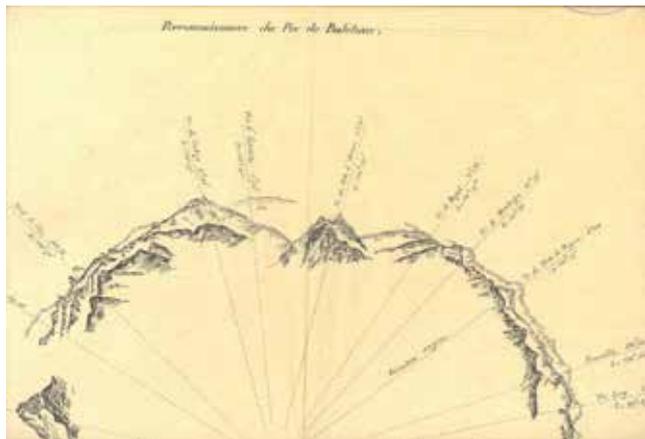


Figura 5. Reconnaissance du Pic de Baletous. Vuelta de horizonte con identificación de las visuales. Observadores: Peytier et Hossard. 1826.

En la sesión de 20 de febrero de 1863 de la Junta General de Estadística, con los siguientes participantes: Olivan, Caveda, Conde de Ripalda, Pascual, Coello, Magaz y Blake se da cuenta de la entrega de la comunicación del Comandante de Estado mayor Don Pedro de Zea, que firma el Secretario General Santos.

Hay muestras de dibujo de mapa a escala 40.000 y 80.000, con representación del relieve con normales y con curvas de nivel, de las que adjuntamos un ejemplo en las figuras 2 y 3.

Todos los documentos están sellados con un tampón en color azul y forma oval que dice: "Dirección Gral del Instituto Geográfico y Estadístico. Nº\_Archivo Geodésico"

Hay copias fotográficas de señales francesas (52 ejemplares en papel fotográfico por quintuplicado y con diferentes intensidades). 23x31 cm.

Y lo más vistoso son 51 reseñas geodésicas de vértices de 1er orden del Meridiano de Sedan (3), del Paralelo de Rodez (6), del Cuadrilátero de Melun-Vassy-Dijon-Bourges (18), Cadena de los Pirineos (19) y 4 mas de 2º orden, dibujados en acuarela, en su origen por los ingenieros franceses Peytier, Houssard, Coraboeuf y Testu, que de 1825 a 1827 hicieron el trabajo de reconocimiento y medida en estos vértices, como detalla Michel Rodes [ROD 01]

De la notas manuscritas por Pedro de Zea, fechadas a 1 de enero de 1863, sobre los procedimientos empleados en el Depósito de la Guerra de Francia y Ordenance Survey de Inglaterra para el grabado y reproducción de los mapas geográficos y topográficos, podemos sacar esta síntesis.

De París dice que antes los mapas se grababan con buril solamente, hoy es una mezcla de buril, agua fuerte y punta seca, en un proceso de 5 operaciones: Trazado, escritura, montañas, aguas y conclusión.

Francisco Termenón tiene previsto publicar en septiembre de 2012 "Las desconocidas campañas geodésicas españolas en los Pirineos en el siglo XIX" en la revista francesa "Pyrénéé" dice que son los mismos documentos que consultó a principios del siglo XX Henri Beraldi y que describe en su obra "Balaitous et Pelvoux" de 1907. Claro que él debió ver los originales archivados en el "Service Géographique de l'Armée", y de los que disponemos en Madrid son copias, pero tan originales como los de Paris. La reseña en acuarela no se realizaba "in situ", normalmente tomaban notas, bocetaban y en la tranquilidad del gabinete se expresaban, sin temer el viento ni el frío de las cumbres.

Descripción de los vértices geodésicos españoles de 1er orden en 1872.

El primer volumen (A-MON), de los dos libros manuscritos, comienza con un exordio del autor, José Coello y Quesada (1830-1906).

El inicio del exordio transcrito dice:

"Encomendado ha tiempo al q. suscribe el presente trabajo, causas ajenas á su voluntad le han impedido terminarlo antes. Desde luego la obra – y lo atestigua su volumen – era larga, y por otra parte los datos que era preciso compulsar se encontraban diseminados en diversas secciones del archivo geodésico, habiendo sido necesario reconectar todas con detenimiento para anotar

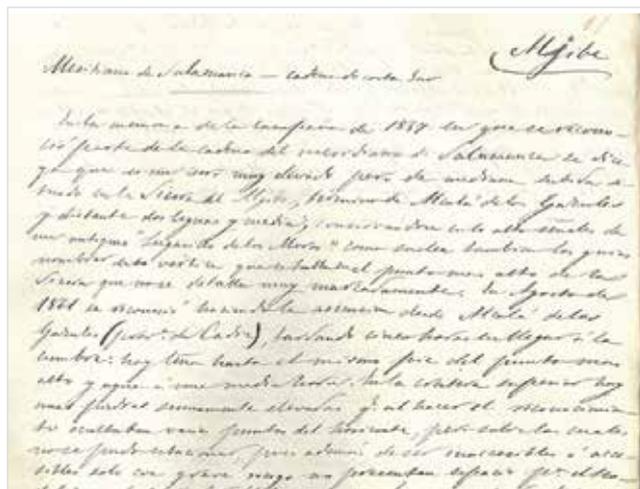


Figura 6. Hoja nº 11 con la descripción del vértice Algive del meridiano de Salamanca. Cadena Costa Sur.



Figura 7. Primera página de la sección II.

lo que fuese pertinente al objeto.”

En cada hoja se describe un vértice, ordenados alfabéticamente, hay 510 vértices, en los que se indica en el encabezamiento a que cadena, capital, cuadrilátero, frontera, meridiano o paralelo pertenece.

Por el tipo de letra y la forma de escritura se puede asegurar que está escrito en su totalidad por el autor. Se compone de 285 hojas sueltas pegadas mediante solapilla lateral en cuadernillos de 10 hojas. Hay unos 28 cuadernillos en encuadernación cosida, en mal estado por el gran uso que ha tenido y por el paso del tiempo. Por estar compuesto de hojas sueltas, los bordes de las que más sobresalen han sufrido un grave deterioro. Hay una transcripción de los 2 volúmenes realizada a máquina de escribir y en mejor estado de conservación. Posiblemente sea de 1960.

Estas reseñas fotocopiadas forman parte de la colección de las reseñas históricas de los vértices geodésicos de 1er orden. Un armario completo que es una mina de información y que sirvió para la revisión y actualización de la red geodésica española. El Ingeniero Técnico en Topografía Carlos Ramón Lafourcade se dedicó con detalle y minuciosidad para que no faltara ni una foto, ni un documento del historial de cada vértice geodésico.

## Legajos amarillos

Las bibliotecas guardan y proporcionan palabra impresa que normalmente está en múltiples ejemplares y puede encontrarse en otras bibliotecas.

Los archivos custodian y ofrecen documentos escritos originales, únicos y exclusivos. La convergencia del archivo con la biblioteca se hace a través de la tinta. La tinta ha servido para plasmar lo escrito con la pluma en los pergaminos, con la estilográfica en el papel y con las planchas

en las rotativas de las imprentas. Pero eso es otra historia. Una biblioteca y un archivo convergen en la escritura, que de día en día se convierte en digital y sin soporte físico. Pero eso también es otra historia, que se está escribiendo en el presente.

En el último tercio del siglo XIX se archivaron una serie de legajos con tapas amarillas y cinta de baldique, lo clásico en la época, que contienen los documentos de la Comisión, Junta y Dirección General de Estadística desde 1850 a 1870. La uniformidad y el tener un índice descriptor, ha salvado los legajos de la diseminación como ha ocurrido con otros documentos de similares características. En esa época la producción documental de las oficinas no era tan voluminosa como en la actualidad y se valoraba cada escrito, cada carta. De este modo nos ha llegado la correspondencia y todos los expedientes, relaciones, listados... de los años anteriores a la creación del Instituto Geográfico, que como se sabe, fue el heredero de una estructura engrasada desde años atrás con personal cualificado, cometidos muy claros, instrumentación a la última y locales donde desarrollar dicha actividad. Se pueden consultar en la Biblioteca del IGN.

## Este fondo documental está agrupado en IX secciones

- La sección I: Comisión Estadística General del Reino, dispone de un índice elaborado por Joaquín Castro y Juan Pro Ruíz el 26-XI-1988, que desglosa 9 documentos en el legajo nº 1, 25 en el 2º, 6 en el tercero, 17 en el 4º, 2 en el 5º y 3 en el 6º, que les sirvió para la tesis [PRO92] y artículo de Joaquín Castro Soler y Antonio Enrique Ten Ros [CAS93], en el que se lamenta en la página 545, y no sin falta de razón: “Al parecer, diferentes traslados del archivo han provocado la pérdida para siempre de una parte considerable de estas fuentes”
- La sección II: Escuela especial de topografía catastral, índice borrador original, al igual que en el resto de secciones, siempre y cuando no se especifique otra cosa, en el que se reseñan 47 documentos.
- La sección III: Documentos referentes a trabajos geodésicos con 268 reseñas en 35 pag.
- La sección IIII: Trabajos astronómicos que reseñan 17

documentos.

- La sección V: Documentos topográfico-catastrales, con índice efectuado por Juan Pro Ruíz, fechado el 2-11-1988 con 70 expedientes en 5 legajos.
- La sección VI: Documentos referentes a trabajos geológicos que reseña 93 documentos.
- La sección VIII: Documentos forestales con reseñas de 63 documentos.
- La sección IX: Documentos referentes a instrumentos empleados en la medida del territorio con 39 documentos.
- Una última relación efectuada por Juan Pro Ruíz con fecha 2-11-1988 con "Legajos fuera de serie" con 20 legajos, 4 libros: Registros de personal y 2 expedientes sueltos.

También, hay al menos otros 25 legajos con fecha anterior a la creación del IGN en 1870, que contienen información complementaria a la descrita anteriormente, entre las 777 cajas del archivo histórico del IGN.

## Actas de la Junta General de Estadística

En la Biblioteca del IGN contaban con las actas de las sesiones de la "Comisión de Estadística General del Reino" de 1856 a 1863, encuadradas de dos en dos años, con signatura A-142. La primera vez que entré en el depósito del archivo histórico, en el verano de 1999, me saltaron a la vista unos libros grandes, muy grandes.

Eran los libros de actas manuscritas que faltaban de la "Junta Estadística General del Reino", mas tarde "Junta General de Estadística". Estos dos libros se habían traspapelado, quizás por no contar con tapas y se recuperaron para la Biblioteca. Las actas están escritas a plumilla con tinta china negra, sobre renglones de centímetro y medio, en papel sellado (51 x 36 cm.) y habilitado por la Nación, de 1864 a 1866 y de 1867 a 1870, además de 5 borradores de actas y un resumen de las sesiones celebradas por la "Junta General de Estadística" desde su creación.

La primera sesión tiene lugar el 14 de noviembre y la última el 29 de diciembre 1869, con indicación de los Sres. Vocales que han asistido a las mismas. Donde se ve que Coello se incorpora el 24 de abril de 1858 y está presente

en la reuniones en 173 ocasiones, tras Pascual (175) y el presidente Olivan que dirige 216 sesiones. Ibañez participa en sólo 5 sesiones a partir del 23 de marzo de 1869

El 27 de noviembre de 1864 se desestima hacer un censo en 1865, para renovar el de 1860, y hacerlo cada década en vez de por quinquenios, ahorrando así 41.500 escudos. El Vicepresidente Castro "expuso que el Catastro de España ha de ser una obra que no se verá realizada en muchos años, y que ocasionará además inmensos gastos y sacrificios al Tesoro, los cuales no se halla hoy en estado de sufragar.

El 16 de diciembre de 1868 hubo una reunión con lamentaciones de todos y el acta más larga de su historia: "por la falta de recursos para finalizar los trabajos topo-catastrales, y resulta no decoroso autorizar a que los empleados topográficos cobren el sueldo en Madrid sin trabajar". Se plantea "establecer con urgencia un sistema para la conservación del catastro".

Año	Número sesiones
1856	8
1857	55
1858	39
1859	34
1860	33
1861	30
1862	26
1863	19
1864	10
1865	11
1866	9
1867	6
1868	4
1869	7
1870	2

Tabla I. Nº de sesiones de la Junta General de Estadística

## Piedras litográficas

Es la primera vez en mi vida de archivero que me enfrento a unos documentos con unas características tan especiales. El grosor del soporte calcáreo, entre 6 y 9 cm., y su tamaño, de 40 x 30 cm. convierten su manipulación en algo difícil por pesado y frágil. Son necesarias dos personas para mover cada una de las piedras.

El 23 de noviembre de 2011, con la ayuda de dos operarios se catalogaron con unas operaciones simples: medir, especificar el dibujo plasmado (hasta donde ha sido posible), y anotar la numeración en rojo y/o negro que disponían en un lateral.

De las 40 piedras que se han catalogado, 36 estaban apiladas en dos torres sobre un pale de madera, las 4 restantes se encontraban verticalmente apoyadas sobre la pila o sobre los muros del recinto interior de la sala B1 S 29.

Dicen las malas o buena lenguas que muchas piedras se fueron al cenador de un ingeniero geógrafo en Las Rozas de Madrid, para servir de pavimento. Y no es de extrañar porque también cuentan que en los años 60 estaban expuestas al aire libre en los jardines del IGN. La hoja del MTN-50 nº 947 de nombre Jaén está completa con las cinco piedras, una por cada color: negro, rojo, siena, azul y verde. A la hoja de Porcuna (Jaén) nº 925 le falta la piedra de la vegetación (color verde), y a la hoja de Palma del Río de Córdoba con parte del territorio en Sevilla le falta para estar completa el color azul de la hidrografía, grabada por E.

Fernández Peñas. Y de las hojas 988 Puente-Genil y 989 Lucena, ambas de la provincia de Córdoba solo contamos con las piedras de los colores rojo y verde respectivamente. Todas en su primera edición de los años 1903 a 1909.

En "Cartografía y Estado" de Francesc Nadal y Luis Urteaga [NAD 90] se dice: "Entre 1875 y 1908 contaron en

el Instituto Geográfico con un corto número de artistas grabadores. Como era tradicional en la época, se reconocía la importancia de los grabadores permitiendo que su nombre figurase en las hojas estampadas, privilegio del que no gozaban ni geodestas ni topógrafos. Ello nos permite conocer con seguridad a los grabadores de la primera etapa del Mapa Topográfico. Entre ellos figura Pedro Peñas grabador de las primeras hojas publicadas y Miguel Díaz Hernández, E. Fernández Peñas, J. Llopis, R. Marín, J. Méndez, F. Noriega y E. Voyer. El trabajo realizado por estos grabadores fue ingente" Tardaban 6 meses en grabar las piedras y al menos 5 para estampar o imprimir una hoja. A partir de 1904 se inicia el proceso de reproducción fotomecánica, con las ideas de Luis Cubillo que introdujo la rotativa offset. A partir de 1915 y hasta 1950 se reproducían con heliograbado en cobre, con una producción

de 25 hojas anuales, en lugar de las 2 hojas de la anterior época litográfica.

4.1 Piedra de impresión del color negro de la hoja 559 Madrid.

La piedra con el dibujo del color negro de la hoja nº 559 del MTN-50 titulada Madrid, es la piedra original de la primera edición de la primera hoja editada por el IGN en 1875. Mide 70,4 x 54,4 x 6,4 cm y pesa 66,5 kg. Y está marcada en un lateral con los números 196 en negro y 508 en rojo.

Se observa alguna ralladura, producto de la mala manipulación, posiblemente, al arrastrarla sobre otra piedra, gotas de pintura añadidas en alguna ocasión, en la que sin protección, se vio implicada en un embellecimiento de los

muros de su alrededor, manchas oscuras atrapadas por la suciedad del entorno y un color diferente más oscuro en el lateral izquierdo, con forma abombada de unos 15 cm. en su parte más álgida, pudiera ser producida por un embebido de humedad, al haber estado apoyada sobre ese borde, en el suelo durante mucho tiempo.



Figura 8. Piedras litográficas apiladas.

Datos obtenidos (*)								
Propiedad y unidades	Valores obtenidos (media)	Fecha de ensayo	Condiciones ambientales		Desviación Típica	Incertid. medida U=+/-	Normas aplicables	Procedimientos Internos
			T(°C)	HR(%)				
3.1 GRAMAJE (g/m <sup>2</sup> )	365	27-10-11	23	49.3	3.0	1.9	UNE-EN-ISO536/97	IGN-MPE-06
3.2 ESPESOR (mm)	0.054	27-10-11	22.6	48.6	0.0010	0.007	UNE-EN-ISO 534/05	IGN-MPE-03
3.2 DENSIDAD APARENTE (g/cc)	6.80	27-10-11	22.6	48.6	0.014	0.035	UNE-EN-ISO 534/05	IGN-MPE-03
3.2 VOLUMEN ESPECÍFICO (cc/g)	0.15	27-10-11	22.6	48.6	0.0	0.01	UNE-EN-ISO 534/05	IGN-MPE-03
3.3 GRADO DE BLANQUEO (A) (%)	-----	-----	----	----	-----	-----	UNE-57062/03	IGN-MPE-19
3.3 GRADO DE BLANQUEO (B) (%)	-----	-----	----	----	-----	-----	UNE-57062/03	IGN-MPE-19
3.4 OPACIDAD (%)	100.6	27-10-11	23.0	49.7	0.21	1.0	UNE-57063/03	IGN-MPE-20

(\*) FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 16-11-11 IGN-ENTELADO-11-41

Tabla II. Resumen datos obtenidos en el análisis del papel entelado "Schoellershammer".



Figura 9. Piedra litográfica del color negro de la hoja 559 Madrid, en el momento de obtener su peso.

Pienso que debería ser exhibida al público en la "Casa del Mapa", como muestra del procedimiento de impresión litográfica que se utilizó desde el principio en 1875 hasta 1910 que se sustituyó por la impresión calcográfica con planchas de cobre.

## Ensayo fotogramétrico

El hallazgo de las placas fotográficas originales tomadas en 1902 para realizar un ensayo del método fotogramétrico por el ingeniero geógrafo y comandante de Estado Mayor José Galbis (1868-1952) en el término municipal de Otero de Herreros de la provincia de Segovia, ha supuesto una enorme alegría y un gran estímulo para continuar con la búsqueda de documentación antigua entre las

innumerables estanterías, las misteriosas buhardillas y chiscones que posee el IGN.

La Memoria de los trabajos salió a la luz en forma impresa 6 años más tarde, editada por la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico. Tiene por título "Ensayo de los Métodos Fotogramétricos en el término municipal de Otero de Herreros (Provincia de Segovia)" [GAL08]. El levantamiento fotogramétrico se realizó con un fototeo-



Figura 10. Ejemplo de foto iluminada desde la estación 68.

dolito Bridges-Lee, con objetivo Dallmeyer 16 y formato 4 x 5 pulgadas inglesas (10 x 12,5 cm) para placas de cristal, y una foto-brújula construida expresamente para la prueba fotogramétrica. Sobre una brújula nivelante, sistema Aquino, se fijó la cámara para película en rollo de formato 10 x 12,5 cm y con objetivo Zeiss gran angular de la serie V. En total se dispone de más de 200 negativos en placa de cristal y 300 en película de acetato, además de una docena de transportadores fotográficos que servían para calcular coordenadas de la imagen y una serie de los nuevos instrumentos utilizados que reflejan la forma de uso de los aparatos fotográficos y su disposición en los instrumentos topográficos... Signaturas C-1003 a C-1006. La consulta de las imágenes fotográficas se puede hacer directamente sobre las copias de contacto originales, que en algunos casos están enmarcadas sobre cartulina, iluminadas con puntos numerados y con detalle de la toma, del itinerario y de su situación descrita literalmente.

Hay negativos de fotos de instrumentos y paisajes que no salieron publicadas en el libro, y que se pueden presentar como primicia en una futura publicación.

## Telones y limpios del MTN-50

Los "telones" y "limpios" son espectaculares, por su tamaño y por su acabado perfecto de dibujo, rayando el dibujo artístico y por su calidad técnica de representación geográfica fidedigna. Si sumamos a esto la componente emocional de ver reflejada tu localidad y sus alrededores, estos documentos originales se postulan como "joyas" a exhibir en exposiciones cartográficas.

Es más, el IGN cuenta con suficiente documentación para organizar exposiciones interesantes en todas las localidades urbanas de España.

Se denomina "telón" a la minuta del mapa dibujado a escala 1:25.000. La mayor parte de los "telones" están en soporte papel de fuerte gramaje y entelado en lino de la



Figura 11. "Telón" de la hoja 261, Tuy (A Coruña) del MTN-50, a escala 1:25.000 de 1940 firmada por la colocación y el dibujo por el Topógrafo Luis Paredes.

marca "Schoellershammer". Este documento de tamaño 126 x 91 cm. ha sido formado y dibujado por un ingeniero técnico topógrafo y contiene toda la información para realizar la separación de colores, paso previo para la impresión de la hoja del mapa.

Desde 1875, año de la primera edición de la hoja nº 559 de Madrid hasta la década de 1950 se utilizó el método de "reducción a la cuarta" para obtener los originales de impresión. Se dibujaba a escala 1:25.000 y se imprimía reducido a escala 1:50.000.

La colección de "telones" se ha conservado en la Cartoteca. Se fotografiaron por contacto con película pancromática en blanco y negro, y han sido ampliamente utilizados como base cartográfica para la actualización de las nue-



Figura 12. Etiqueta del tipo de papel entelado utilizado en el dibujo de los "telones".

vas ediciones. Los "limpios" son los dibujos resultado de la separación de colores: uno por cada color, negro, rojo, azul, siena y verde (5 documentos sobre papel de gran gramaje del mismo tamaño que el "telón" en papel "kastrostron"). Incluso se llegaron a utilizar papeles con alma



Figura 13. Etiqueta del papel en rollos marca "Kastrostron" usado en el dibujo de los "limpios".

de aluminio, mucho más estables dimensionalmente. Si el mapa llevaba sombreado con aguada o aerógrafo, el uso de cartulina con alma de aluminio era imprescindible para evitar las deformaciones producidas por el exceso de agua.

Se encontraron rollos de papel de los utilizados en la época y se encargaron análisis al Laboratorio de Control de la Calidad del IGN, acreditado por la "Entidad Nacional de Acreditación" (ENAC) desde el año 2004. Se muestran en la tabla II un resumen de los datos obtenidos en el análisis.

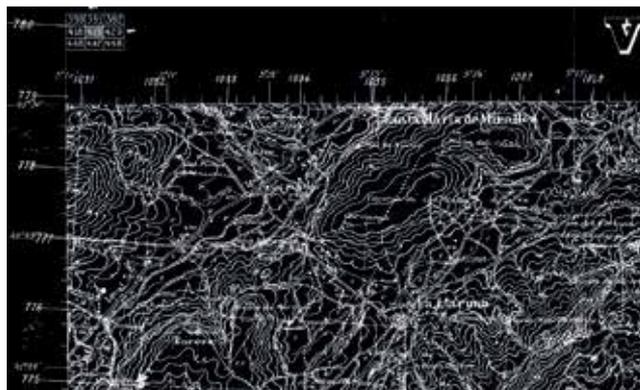


Figura 14. Detalle de la esquina noroeste del negativo fotográfico del "telón" de la hoja 419 Villafranca del Panadés (Barcelona).

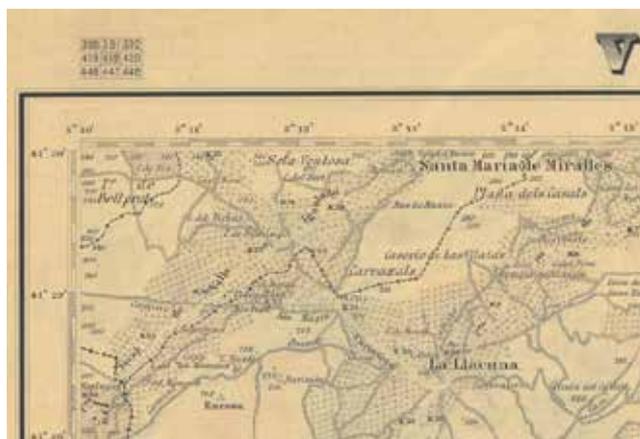


Figura 15. Detalle de la esquina noroeste del "limpio" del color negro de la hoja 419 Villafranca del Panadés (Barcelona).

#### EQUIPO INSTRUMENTAL DE MEDIDA

- 2.1.- E01.01 BALANZA ANALÍTICA (Mettler Toledo)
- 2.2.- E 11.01 ESPECTROFOTÓMETRO.(Data Color )
- 2.3.- E 14.01 MICRÓMETRO.(Messmer-Büchel )
- 2.4.- E 20.02 PLANTILLA GRAMAJE.(TMI)
- 2.5.- E23.01 TERMOHIDRÓGRAFO
- 2.6.- E24.01 ANALIZADOR-REGISTRADOR
- 2.7.- T 01a1 03 TROQUELES

El dibujo cartográfico. Los instrumentos de dibujo eran entre otros: tiralíneas fijo o giratorio simple y doble, plantillas de curvas de radio fijo... Utilizaban unas mesas grandes, proporcionales al original, en ocasiones con el tablero casi vertical, para tener acceso a la parte central o con tablero horizontal usando una especie de puente de madera para no apoyar sobre el dibujo ni el codo ni el antebrazo y así evitar el roce con el dibujo ya realizado. La rotulación, roquedos y otros signos convencionales se ejecutaba a mano alzada con plumillas de distintos cali-



Figura 16. Detalles de los "Limpios" de la esquina noroeste de los colores siena y verde de la hoja 419 Villafranca del Panadés (Barcelona).

bres. Debido al enorme tamaño del soporte del dibujo, se veían en la necesidad de rotular al revés los nombres y números de los rótulos situados en la parte superior del mapa

La tinta china era auténtica de China, llegaba en barras que era menester disolver con ayuda de agua y mucho frotamiento sobre un pocillo de cerámica

Ángel Arévalo Mateos nacido en 1932 es un representante de los últimos delineantes cartográficos que utilizaron las técnicas tradicionales de dibujo, ingresa en el "cuerpo" en 1953, dice que no usaba el tiralíneas giratorio o "loco", que incluso las isohipsas las dibujaba con el tiralíneas fijo. Sustituyó a su padre Ángel Arévalo Moreno, también delineante cartográfico, que recibió en 1924 del Director General un oficio con "agrado y satisfacción... por el celo y gran laboriosidad... en la pronta ejecución de los progra-

mas oficiales... de la visita a España de SS.MM. los reyes de Italia" Ángel, delineante de segunda generación llegó a dibujar dos hojas del MTN-50 con el procedimiento de separación de colores por "limpios". A los pocos años de su ingreso vino un experto del IGN suizo para explicar el sistema de esgrafiado en planchas de cristal emulsionada, impartió los métodos de grabado o esgrafiado con agujas de acero montadas sobre carros metálicos.

A finales de los 60 se comenzó a esgrafiar en plásticos estadounidenses, hasta que los sistemas informatizados se impusieron en 1994.

El dibujo cartográfico con tinta o esgrafiado, es el más artístico de los dibujos técnicos, comparado con el dibujo industrial o arquitectónico, ya que intervienen en más de un 95 % las formas curvas no geométricas. Se trata de plasmar la realidad del terreno y la naturaleza crea formas complejas y curvas. La naturaleza es sabia pero deforme. Sólo cuando la mano del hombre actúa aparecen las líneas rectas y las curvas geométricas. Los delineantes cartográ-



Figura 18. Ángel Arévalo Moreno (1901-1961), delineante cartográfico

ficos deben recurrir en la mayoría de sus ejecuciones a la mano alzada al igual que los artistas que reproducen a su libre albedrío las formas que surgen de su imaginación; en el caso del dibujo topográfico y cartográfico hay que ceñirse técnicamente a reproducir el relieve, la hidrografía. Recuperación del archivo de originales.

A finales de la década de 1960 el ingeniero técnico en topografía José Tadeo Lozano se hizo cargo del "Archivo de Originales", que era un almacén donde se había acumulado documentación auxiliar para la impresión, que una vez utilizada, no se atrevían a tirar, porque podían ser útiles para una segunda edición. El caos era tan mayúsculo, que



Figura 20. Estantería matricial que contiene los "limpios" del MTN-50 en B.1501

se pasó una semana sentado pensando ¿Por dónde empiezo? Una tarea ardua de hormiguita para catalogar de todo un poco y mucho de todo. 100 años de documentos, originales de impresión en papel y en película de formatos impresionantes, colecciones de mapas impresos, esgrafiados en cristal, alguna piedra litográfica y libros, folletos, archivadores, legajos...

Con paciencia y decisión, la cartografía y los libros impresos se enviaron a la Cartoteca y la Biblioteca respectivamente. Los "limpios" enrollados, que estaban al descubierto se preservaron de dos en dos en cajas paralelepípedicas de 1 metro de largo. En una estantería matricial de 12 filas por 4 columnas entraban 12 cajas, en definitiva cada fila podía albergar los "limpios" de 100 hojas del MTN-50, que multiplicado por 12, son 1.200 hojas. Una solución geométrica perfecta para una distribución de hojas en cuadrícula

cartográfica de España. Las películas negativas o positivas se almacenaron en planeros horizontales. Y todos con sus correspondientes fichas en los que se indicaron las características y nombre o número de hoja de cada trabajo.

## Enlaces geodésicos

Otra de las nuevas incorporaciones documentales al archivo histórico del IGN con signatura C-770, ha sido la donación de Isabel Socias Gil-Montaner, a primeros de 2012, de memorias y fotografías pertenecientes a su abuelo Fernando Gil Montaner, ambos del "Cuerpo Nacional de Ingenieros Geógrafos".

Memoria mecanografiada sobre los trabajos geodésicos realizados en Canarias y Cabo-Juby en 1923 con el ingeniero geógrafo Félix Campo Martínez para el enlace Islas Canarias con el continente africano.

---

Una tarea ardua de hormiguita para catalogar de todo un poco y mucho de todo. **100 años de documentos, originales de impresión en papel y en película** de formatos impresionantes, colecciones de mapas impresos, esgrafiados en cristal, alguna piedra litográfica y libros, folletos, archivadores, legajos...

---

Otra Memoria sobre los trabajos geodésicos realizados en Canarias en 1925 por dos grupos de ingenieros geógrafos Fernando Gil Montaner (1887-1954), Arturo Revoltós y Gregorio Iriarte para las determinaciones geodésicas y Miguel de la Colina y Ildefonso Moreno para las determinaciones astronómicas. Mecanografiada de 52 páginas con 29 de texto y 91 fotografías.

Una decena de fotos, algunas iluminadas, de los vértices Tetica (Almería), Canarias y Cabo Juby. La nº 2 dice: "Puente de las ratas con la vista de pájaro, y subida al cortijo del "Terrible", personaje célebre por sus fechorías. La pendiente tan extraordinaria del camino indica bien las dificultades que tendrían que vencerse para subir a brazo con una caldera de 20 cenitales, expuesta la gente

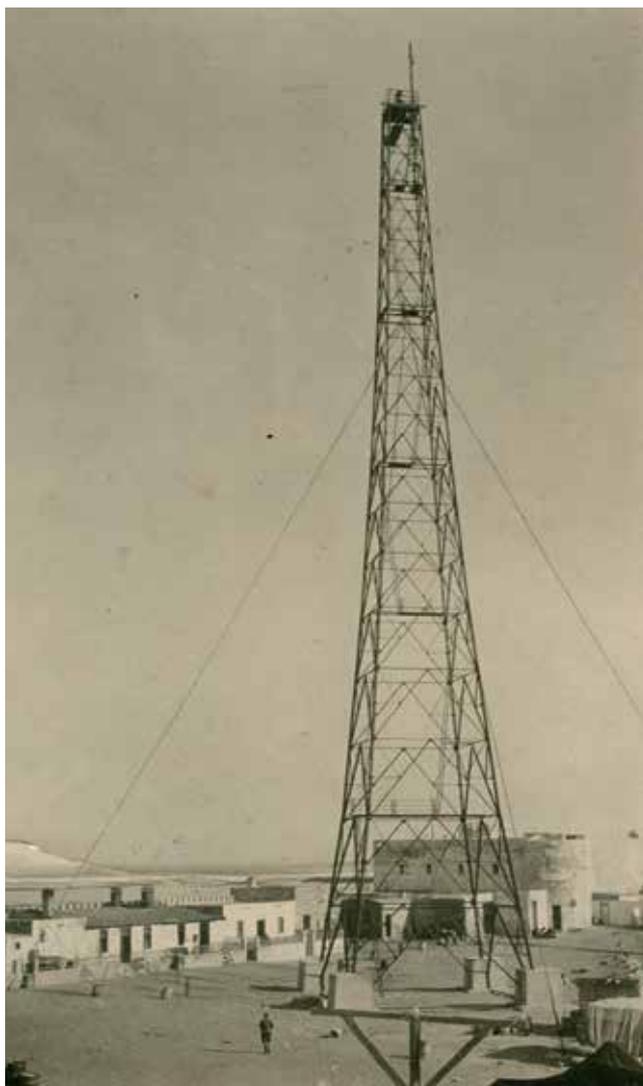


Figura 21. Torre metálica de 60 metros construida en Cabo Juby para el enlace geodésico de Canarias con Marruecos.



Figura 22. Estación geodésica de Tetica (Almería).



Figura 23. Retratos de arriba abajo e izquierda a derecha: Goitian, Eugenio, Cabello, Sanchíz, Barraquer y Solares

a despeñarse al menor descuido de todas aquellas elevadísimas sierras.

El cortijo del "Terrible" está marcado con la letra "t". Desde dicho cortijo hay que subir otro tanto, para llegar a descubrir la bajada a Capileiras".

Y por último 12 fotos de retratos ilustres de colegas y amigos geodestas que incluso pudieran ser heredadas de su bisabuelo, dado que algunos ya estaban fallecidos cuando Fernando Gil alcanzó la mayoría de edad, a saber:

Joaquín Ahumada, (T-II-B-6) Joaquín M. Barraquer y Rovira (1834-1906), (T-II-C-2) F. Javier Cabello y Echenique, coronel desde 1876, (T-I-E) Eugenio de Eugenio y Martínez, Andrés Goitian, J. Manuel Ibarreta y Ferrer (1823-1886), Enrique Lasarte, Francisco Martínez, Pedro Peñaredonda, (T-II-S-1) Joaquín Sanchíz Plazuelo, José M. Solares o Solans y Gregorio Sunien. Se indica entre paréntesis la signatura del expediente personal, en caso de haber estado vinculado al IGN.

**En el archivo histórico del IGN hay miles de documentos**, de los que se han entresacado unos pocos, por ser de reciente hallazgo y por tanto desconocidos o por tener alguna particularidad que los convierte en singulares. En este “cajón de sastre” de 7 fondos documentales tan variopintos, el nexo de unión es que todos forman parte del patrimonio documental del IGN

## Conclusiones

1. En el archivo histórico del IGN hay miles de documentos, de los que se han entresacado unos pocos, por ser de reciente hallazgo y por tanto desconocidos o por tener alguna particularidad que los convierte en singulares. En este “cajón de sastre” de 7 fondos documentales tan variopintos, el nexo de unión es que todos forman parte del patrimonio documental del IGN.
2. Es necesario continuar con los trabajos de sacar a la luz toda la documentación abandonada, desperdigada, sin catalogar y preservarla para el futuro.
3. El IGN es un organismo centenario con una amplia historia aún por escribir, debemos facilitar la documentación original para que los historiadores escriban sobre nuestro pasado. De este modo podremos aprender de los errores y aprovechar los aciertos.
4. Hay que escanear los documentos singulares, así se logran dos de los principales principios archivísticos que parecen contradictorios: preservar y difundir.

## Referencias

- [CAS93] Joaquín Castro Soler y Antonio Enrique Ten Ros, “El proyecto del mapa de España: Los primeros trabajos (1853-1857)”. *Revista de Estudios Geográficos*, tomo LIV, nº 213, octubre-diciembre 1993, pp 543-574.
- [GAL08] José Galbís y Rodríguez, “Ensayo de los Métodos Fotogramétricos en el término municipal de Otero de Herreros (Provincia de Segovia)”. *Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico*. Madrid. 1908, 106 pag.
- [NAD90] Francesc Nadal y Luis Urteaga, *Cartografía y Estado. Los mapas topográficos nacionales y la estética territorial en el siglo XIX*, Geo-Crítica, Barcelona, nº 88, 1990, pp. 7-93

- [PRO92] Juan Pro Ruiz, *Estado, geometría y propiedad. Los orígenes del catastro en España (1715-1941)*. Ministerio de Economía y Hacienda. Madrid. 1992. 420 pag.
- [ROD01] Michel Rodes, *Les Officiers géodésiens aux Pyrénées: 1825-1827 et 1848-1851*, “Les feuilles du pin à crochets”. revista nº 2 “Vues d’en haut, les pyrénées”. Pau (Francia). 2001. pp 5-26

## Sobre el autor

### Jesus Sastre Domingo:

1974.- *Delineante Cartográfico en IGN*

1981.- *Diploma de Ingeniero Técnico en Topografía.*

1984.- *Encarvado de Curso en la Escuela Universitaria Politécnica de Las Palmas: Métodos Topográficos.*

*Oficina Técnica Topográfica. Catastro y Legislación.*

*Diploma de “Certificado de Aptitud Pedagógica” en el Instituto de Ciencias de la Educación. Las Palmas de Gran Canaria.*

1986.- *Funcionario del Cuerpo Nacional de Ingenieros Técnicos de Topografía. IGN. Madrid.*

1989.- *Jefe de Sección en Fototeca del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)*

2001.- *Jefe de Sección del Archivo Histórico-Administrativo.*

2003.- *“Especialista Universitario en Archivística” de la UNED- Fundación Carlos de Amberes*

2006.- *Jefe de Sección en el Registro Central de Cartografía.*

*Artículos publicados destacados: 1998.-“Recuperación de documentos cartográficos”. 2003.- “Hojas kilométricas. Catastro inacabado de Madrid”. 2004.- “La memoria en los Archivos del Instituto Geográfico Nacional”*

# Topometría láser 3D y cartografía inversa en el tómbolo de Gijón

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 157, 20-32  
enero-febrero 2013  
ISSN: 1.131-9.100

José Antonio Suárez García  
Pelayo González-Pumariiega Solís  
Ramón Jesús Argüelles Fraga  
Beatriz Rodríguez Fernández (\*)

## Resumen:

Los trabajos presentados se insertan en el marco de un convenio de actuaciones sobre patrimonio y arqueología que el Equipo Investigador en Geomática, Topografía y Cartografía de la Universidad de Oviedo (Gtc) desarrolló con el Ayuntamiento de Gijón (Asturias), a través de su Fundación Municipal de Cultura, entre 2007 y 2011. Consisten en la elaboración y tratamiento de información métrica con el objetivo de permitir la prospección arqueológica de una parte del tómbolo de Cimadevilla y servir de base fehaciente para el Proyecto Internacional de Remodelación de la Antigua Fábrica de Tabacos de Gijón, ubicada en un convento del siglo XVII desamortizado. Los principios que rigen esta actuación son la búsqueda de precisión y el establecimiento de un protocolo de autenticación. Es por ello que, frente a las masivas capturas de puntos que proporcionan los láser-scanner, se ha optado por aplicar una "Topometría discreta láser 3D", fundamentada en la captura de datos mediante estación total, distanciómetro láser portátil y cámara fotográfica digital. En conjunto, las actuaciones geomáticas desarrolladas han dotado a la corporación municipal gijonesa de un material cartográfico singular que permite documentar estados originales de poblamiento, ayuda a la comprensión de su evolución temporal y propiciará una mejor implantación de nuevas realidades espaciales.

**Palabras clave:** Topometría láser; Fotogrametría; Cartografía histórica; Cartografía jerarquizada; Prospección, documentación y restauración arquitectónica; Urbanismo; Análisis de la evolución territorial.

## Abstract:

The works presented are inserted in the framework of a Convention of performances on heritage and archaeology that the Research Team in Geomatics, Topography and Cartography of the University of Oviedo (Gtc) developed with the City of Gijón (Asturias), through its Municipal Foundation of Culture between 2007 and 2011. They consist of the development and treatment of metric information with the aim of allowing the archaeological prospection in the tombolo of Cimadevilla and serve as a reliable basis for the international project of remodeling the ancient factory of tobaccos of Gijón, located in a 17TH century reconverted convent. The principles underlying this performance are the search for precision and the establishment of an authentication protocol. That is why, rather than massive catches of points which provide the laser-scanner, we chose to implement a "Discrete 3D laser survey", based on the capture of data using total station, portable laser EDM and digital camera. Overall, the Geomatic performances developed have endowed the Gijon municipal corporation a unique cartographic material that allows document original states of occupation, helps the understanding of its temporal evolution and will lead to a better implementation of new spatial realities.

**Keywords:** Laser survey; Photogrammetry; Historical cartography; Hierarchical cartography; Prospecting, documentation and architectural restoration; Urbanism; Analysis of the territorial evolution.

José Antonio Suárez García  
Universidad de Oviedo.  
Equipo Investigador en Geomática,  
Topografía y Cartografía (Gtc)  
jsuarez@uniovi.es

Ramón Jesús Argüelles Fraga  
Universidad de Oviedo.  
Equipo Investigador en Geomática,  
Topografía y Cartografía (Gtc)  
mon@uniovi.es

Pelayo González-Pumariiega Solís  
Universidad de Oviedo.  
Equipo Investigador en Geomática,  
Topografía y Cartografía (Gtc)  
pelayogs@uniovi.es

Beatriz Rodríguez Fernández  
Equipo Investigador en Geomática,  
Topografía y Cartografía (Gtc)  
beatopo@gmail.com

Recepción 19/02/2012  
Aprobación 30/06/2012

## Introducción

La información georreferenciada, precisa y veraz de bienes y servicios municipales, ya sean rústicos o urbanos, es una realidad consolidada desde hace tiempo en países como Suiza o Alemania y representa un objetivo pendiente de lograr aún en el conjunto de España. Además de proporcionar la necesaria garantía jurídica, constituye un elemento economizador del gasto público, pero también un método eficaz para salvaguardar lo irremplazable cuando su aplicación se extiende a elementos del patrimonio histórico.

La ciudad de Gijón es el mayor núcleo urbano del Principado de Asturias. Situada en el centro de la rasa costera asturiana, entre los cabos Torres y San Lorenzo, ocupa un espacio geográfico singular que atesora vestigios de ocupación humana desde tiempos paleolíticos. Un lugar privilegiado que merced a su puerto natural, a su geomorfología y a su clima ha propiciado tanto el tráfico marítimo

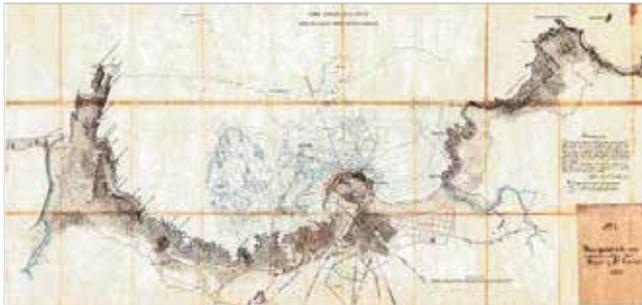


Figura 1. Plano Hidrográfico y Topográfico de la Costa entre los Cabos de Torres y San Lorenzo por Fernando García Arenal, 1886. Autoridad Portuaria de Gijón.



Figura 2. Ortofotomapa de Gijón. PNOA, 2006.

como la permanente ocupación de su litoral. (Figuras 1 y 2) Afortunadamente, estas condiciones han sido tenidas en cuenta desde antaño por las autoridades municipales gijonesas. Ello ha propiciado que en las últimas décadas

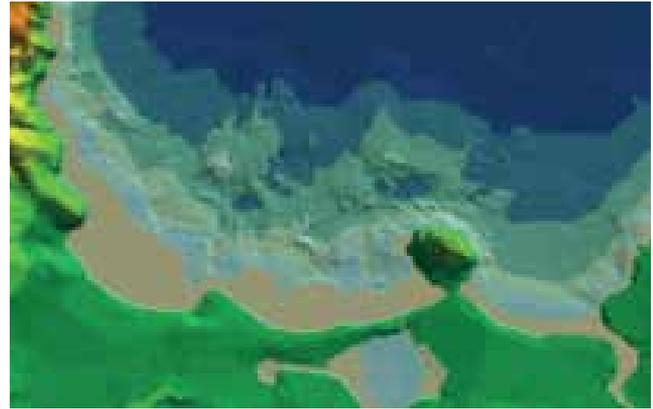


Figura 3. Reconstrucción 3D del estado originario de la Bahía de Gijón. Elaboración propia.

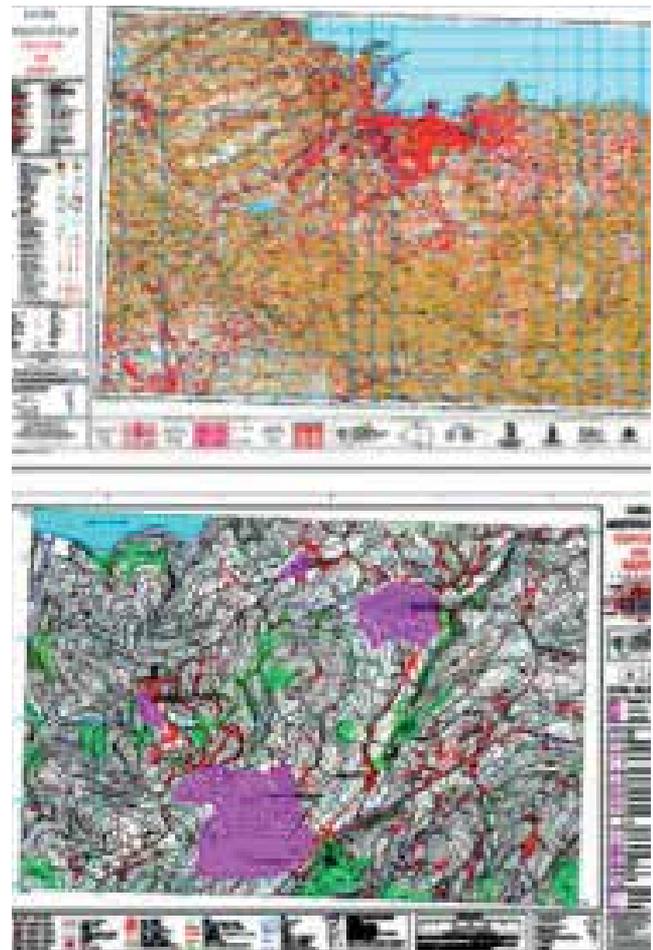


Figura 4. Carta arqueológica de Gijón. Hoja 1:5.000 y Planta General del Inventario a escala 1:25.000. Elaboración propia.

se hayan desarrollado en todo el término municipal, y de manera especial en el tómbolo de Cimadevilla, una amplia serie de intervenciones arqueológicas. Estas actuaciones han permitido desvelar la existencia de concheros asturianos, ocupaciones castreñas, restos romanos, medievales, barrocos...; hallazgos que cuentan historias

de religiosidad, de fortificación, de expansión urbana, de recios procesos desamortizadores, de influencias coloniales, de pragmatismo mercantil e industrial...

En este contexto, el Grupo Investigador en Geomática, Topografía y Cartografía de la Universidad de Oviedo (Gtc) ha desarrollado entre los años 1997 y 2011 un convenio de actuaciones sobre patrimonio y arqueología con el Ayuntamiento de Gijón, a través de su Fundación Municipal de Cultura. Se trata de actuaciones geomáticas que procuran reproducir topografías del pasado (Figura3).

En conjunción con la Carta Arqueológica Digital de Gijón, (Figura 4) pretenden dotar a la corporación gijonesa de un material cartográfico singular que haga posible documentar estados originales de poblamiento y ayude a la comprensión de la evolución temporal de su territorio.



Figura 5. Estado de la bahía gijonesa tras la ampliación del Puerto de El Musel. Fuente: Autoridad Portuaria de Gijón, 2011.



Figura 6. Plano perspectivo, a vista de pájaro, de la Bahía de Gijón con su tómbolo por Fernando Valdés, 1635. AGS. MDP.XXIX-24

Se han podido llevar a cabo aprovechando las sinergias de los más recientes planes de ordenación, de la obra pública, de acciones prospectivas asociadas a la edificación, a la ampliación portuaria, (Figura 5) etc., y se espera de ellas que propicien una mejor implantación de nuevas realidades espaciales.

---

Los trabajos descritos a continuación consisten en la elaboración y tratamiento de información métrica con el objetivo de permitir la prospección arqueológica de una parte del **tómbolo de Cimadevilla** y servir de base fehaciente para el Proyecto Internacional de Remodelación de la Antigua Fábrica de Tabacos de Gijón, ubicada en un convento de monjas agustinas recoletas del siglo XVII desamortizado

---

Los principios que rigen esta actuación son la búsqueda de precisión y el establecimiento de un protocolo de autenticación.

Es por ello que, frente a las masivas capturas de puntos que proporcionan los láser-scanner, se ha optado por aplicar una "Topometría discreta láser 3D", fundamentada en la captura de datos mediante estación total, distanciómetro láser portátil y cámara fotográfica digital. Nuestro trabajo, una solutio problematis ad geometriam situs pertinentis, se inspira, pues, en las premisas expuestas con la intención de producir información gráfica georreferenciada, precisa y veraz. En definitiva, pretende documentar, proteger y compartir un PATRIMONIUM, entendido como conjunto de bienes heredados.

En las siguientes secciones se describe el espacio de intervención y los fines a los que está destinado; la red de control métrico establecida como soporte de todas las actuaciones topográficas desarrolladas; la instrumentación empleada y el modus operandi; las peculiaridades de las representaciones gráficas obtenidas; el análisis metrológico de los resultados, así como unas conclusiones y recomendaciones a modo de epílogo.

## Espacio de intervención y fines a los que está destinado

La actuación desarrollada por el Gtc tuvo por objeto la obtención de un levantamiento topográfico 3D integral del antiguo convento de monjas agustinas recoletas. Emplazado en el histórico barrio de Cimadevilla de la ciudad de Gijón, el vasto edificio –uno de los referentes de la arquitectura conventual barroca asturiana– ocupa un solar de 7.500 m2 en la vertiente sur del Cerro de Santa Catalina, o de La Atalaya (Figuras 6,7 y 8).

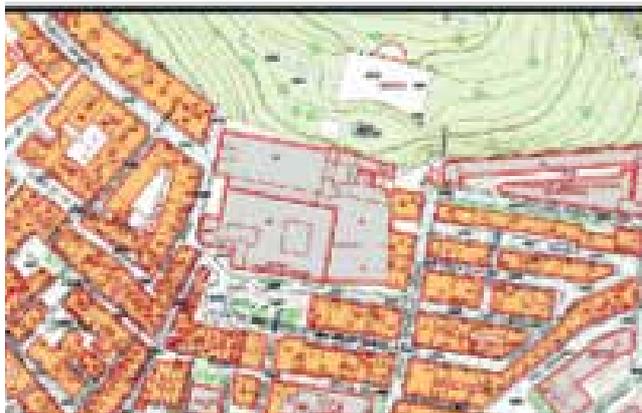


Figura 7. Estado del ámbito de intervención previo a las labores de evaluación y demolición de los añadidos de Tabacalera S.A. Ortofoto B y N y Planta 1:5.000.

El inicio de su construcción data de 1670, siendo rematada en 1679 la parte correspondiente al convento y cinco años después la iglesia. Las obras se realizaron bajo la dirección de los maestros de cantería Ignacio de Palacio y Juan San Miguel. En 1733 se llevó a cabo la ampliación de una planta, completándose así las tres con las que cuenta en la actualidad. Tras la desamortización de los bienes

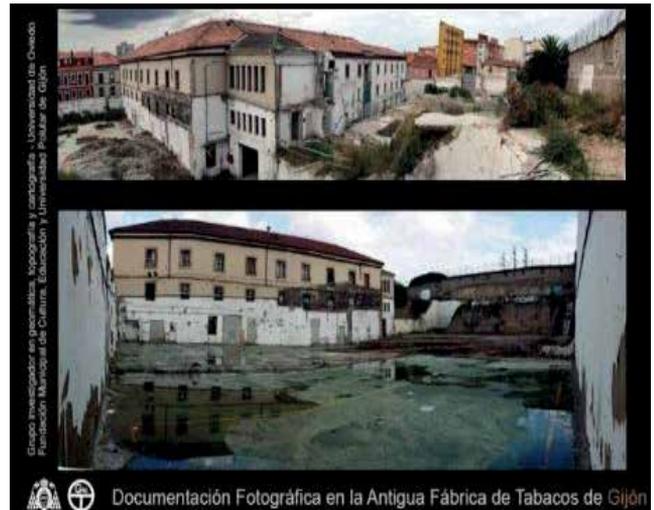


Figura 8. Fotopanoramas. Aspecto de la zona de intervención tras las labores de demolición parcial ejecutadas. Elaboración propia.

eclésiásticos decretada por Mendizábal, las instalaciones fueron acondicionadas para acoger la Fábrica estatal de Tabacos, que se puso en marcha en 1837 y mantuvo su actividad durante 165 años. Esta reconversión alteró bastante la traza original del conjunto arquitectónico, lo que sin embargo no impidió su declaración como Bien de Interés Cultural.

La información cartográfica obtenida por el Gtc debería servir como documentación de partida en el concurso para la redacción del proyecto y dirección de obra de la rehabilitación del Convento/Fábrica de Tabacalera, con el que se pretende su conversión en Museo de Gijón; el acondicionamiento exterior de la parcela y la construcción de un edificio anexo, que formará parte del complejo museístico albergando la sede del Museo Nicanor Piñole.



Figura 9. Red de Control Métrico (RCM).

Esta intervención está considerada como una de las grandes operaciones urbanísticas de Gijón, por los cambios que introducirá en el paisaje y en los hábitos del barrio alto. Los objetivos perseguidos por esta reforma son preservar la identidad de la edificación, reordenar las colecciones artísticas municipales, interpretar la historia social y cultural de la ciudad y recuperar su memoria industrial y obrera.

Pero los trabajos topográficos también deberían proporcionar soporte a la campaña de prospección arqueológica que se desarrolló simultáneamente para tratar de localizar restos del pasado romano de Gijón, dada la ubicación de este espacio en el centro de lo que fue la ciudad original, y cuyos resultados determinarían las actuaciones urbanísticas que se podrían acometer dentro del futuro plan de usos.

Esta intervención está considerada como una de las grandes operaciones urbanísticas de Gijón, por los cambios que introducirá en el paisaje y en los hábitos del barrio alto

Finalmente se documentaron las 27 catas arqueológicas realizadas, con las que se prospectó una superficie de 770 m2. Estas excavaciones dieron buenos frutos, ya que bajo el patio del claustro se descubrió un depósito de agua, o cisterna, de 36 m2 de planta y 4 m de altura, formado por muros de argamasa y piedras de unos 60 cm de ancho,

Figura 10. Listados de coordenadas y parámetros de transformación de la RCM.

que los expertos datan entre los siglos II y IV d.C. También se sacó a la luz un trozo de calle empedrada, monedas y abundantes muestras de cerámica vidriada del siglo XVIII,

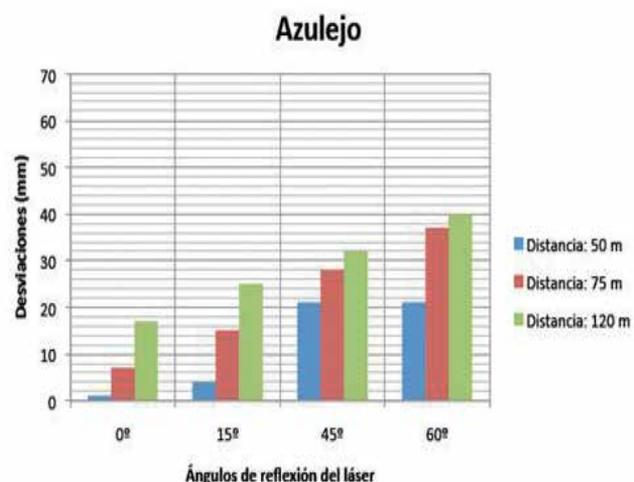
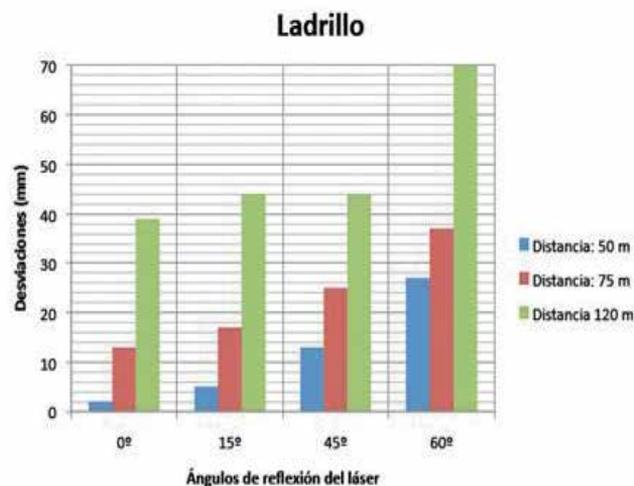


Figura 11 y 12. Resultados obtenidos en el análisis de precisiones del distanciómetro láser sobre diferentes materiales. Gráficos de respuesta del azulejo y del ladrillo.

así como restos óseos humanos en una tumba reutilizada en distintos momentos.

## Red de control métrico (RCM)

Para georreferenciar con precisión la Antigua Fábrica de Tabacos de Gijón y su entorno inmediato se ha establecido una Red de Control Métrico –en adelante RCM–. Dicha red está constituida por un total de 74 bases topográficas materializadas en suelos y paredes mediante clavos de acero especiales, mojonos prefabricados o pintura. Se ubican tanto dentro del inmueble –en todas sus plantas–,



Geolocaliza  
a los  
profesionales  
más  
cercaños  
a ti



## ⚙️ ¿Cómo funciona?



**Desde nuestra web**  
Puedes buscar a cualquier profesional o darte de alta en sencillos pasos.



**Desde tu terminal móvil**  
Busca e instala en tu terminal la app Professionals, es gratis.



**Red GeoSocial Móvil**  
La Geolocalización al servicio de la Sociedad y sus Profesionales.

[www.geoprofesionales.com](http://www.geoprofesionales.com)



como fuera de él –solar y calles adyacentes–, permitiendo así la toma de datos interna y externa de los paramentos que lo integran y facilitando ulteriores replanteos (Figuras 9 y 10).

En color azul las bases y altitudes de la planta baja, en marrón las de la primera y en verde las de la segunda.

De todas ellas se han obtenido sus coordenadas X, Y y Z con precisión subcentimétrica. Las coordenadas planimétricas (X,Y) están referidas a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) utilizando, al igual que la cartografía catastral urbana de Gijón, el datum astrogeodésico ED50 sobre el huso 30. Al objeto de no limitar la precisión interna de la RCM, en el ajuste por mínimos cuadrados de su estricto ámbito de aplicación se ha prescindido de la anamorfosis

longitudinal. Por tanto, y a diferencia del resto de la base cartográfica numérica gijonesa (BCNG) que opera con un factor de escala (k) de 17 cm/km, en nuestro caso  $k=1$ . Es por ello que las distancias que se miden en campo son exactamente iguales a las que se obtienen en el modelo digital confeccionado e, inversamente, lo proyectado sobre él podrá ser, sin más, replanteado.

La Z no es una cota arbitraria, sino la altitud que, en este caso, indica la distancia vertical en la dirección de la gravedad –cota ortométrica– al cero hidrográfico, o de máxima bajamar escorada, que utiliza la Autoridad Portuaria de Gijón.

## Instrumentación empleada y modus operandi

Atendiendo a las precisiones requeridas, así como al tipo de destinatarios que habrían de hacer uso de la documentación cartográfica generada –técnicos municipales, arquitectos y arqueólogos–, se optó por prescindir de las masivas e indiscriminadas capturas de puntos que proporcionan los modernos láser-scanner, para aplicar una “Topometría discreta láser 3D”, fundamentada en la captura de datos mediante estación total provista de

distanciómetro de reflexión directa, distanciómetro láser portátil y cámara fotográfica digital, complementando ocasionalmente las medidas con un flexómetro de clase II. Previamente a los trabajos de documentación, se evaluó la capacidad de medición de las estaciones totales disponibles con el fin de determinar los errores esperables en función

de la distancia al punto a determinar y del ángulo de incidencia del haz láser sobre la superficie de medición. Asimismo, se analizó la respuesta del distanciómetro láser sobre diferentes materiales empleados habitualmente en construcción (cemento, granito, ladrillo, madera, azulejo, etc). Las Figuras 11 y 12 muestran los resultados obtenidos para los casos del azulejo y el ladrillo y la Figura 13 el croquizado de la toma de datos en fachada. Como conclusión de este

estudio previo, se establecieron dos recomendaciones a seguir en la captura de datos coordenados 3D:

- La distancia máxima de medición debe ser inferior a 50 m
- El ángulo de incidencia máximo debe ser inferior a 45°

Los equipos finalmente elegidos para llevar a cabo las operaciones fueron:

- Una estación total computerizada Leica TPS 700, de 10cc de precisión en la medida de ángulos y  $\pm 2$  mm  $\pm 2$  ppm en la de distancias. La altura del instrumento en cada punto se obtuvo con el accesorio específico GMH007. Se utilizaron prismas retrorreflectantes GPR121 y miniprismas GMP101 y GMP111 sustentados por trípode para la medición infrarroja de distancias en la observación de las poligonales, y láser de reflexión directa para las medidas sobre paramentos, techos y puntos no accesibles tales como aleros, limatesas y limahoyas de las cubiertas, etc. La toma de datos y su volcado se realizó por medios electrónicos, mediante el programa Leica Geo Office, para evitar errores de anotación.
- Un distanciómetro láser portátil Leica Disto PRO-4a, de  $\pm 1,5$  mm de precisión, rango de medida de 0,3 a 100 m y capacidad para calcular áreas y volúmenes, realizar medición continua –tracking– y función Pitá-

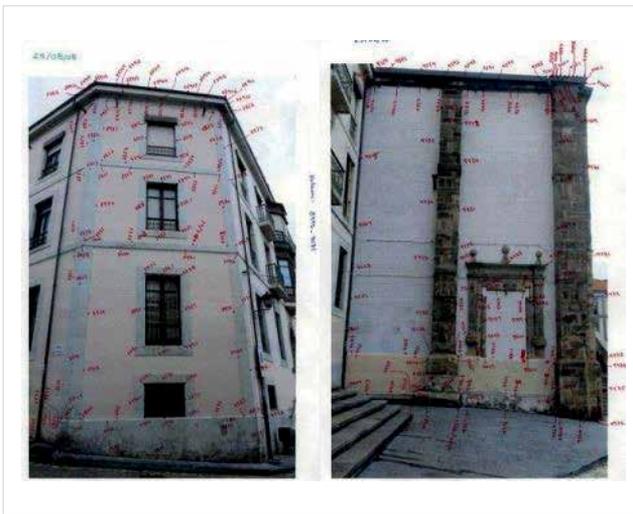


Figura13. Croquización: puntos singulares en alzado.



Figura 14. Vista parcial del interior de la iglesia (después almacén de hoja tabaco) y diana de control métrico. de la RCM.

goras, entre otras.

- Una cámara fotográfica profesional Nikon D-700 dotada de objetivos 17-35 mm y 28-80 mm.

La infraestructura topográfica básica consistió en una red poligonal compuesta por varias poligonales cerradas y encuadradas, itinerarios dobles y verificaciones de bondad mediante puntos multirradiados.

## Todos los ejes se observaron reiteradamente aplicando la maniobra de Bessel –círculo directo e inverso–

Desde los vértices de la red poligonal se llevó a cabo la radiación de los puntos de detalle y de relleno, en una única posición del anteojo –círculo directo– pero auxiliándose siempre de la compensación automática de doble eje.

Dada la imposibilidad de materializar puntos en el suelo de la iglesia, ya que éste fue levantado para la realización de prospecciones arqueológicas en área abierta, la toma de datos en el interior de la nave se llevó a cabo desde puntos cuyas coordenadas se obtuvieron por estacionamiento libre a partir de medidas angulares y distanciométricas sobre varias dianas de control convenientemente ubicadas en las juntas de sillería de las paredes (Figura 14). Las distancias parciales, fondos de edificación, secciones y algunos detalles particulares fueron medidas con el dis-

tanciómetro láser portátil.

Todos los cálculos y ajustes por mínimos cuadrados se ejecutaron utilizando el programa Galitop de la casa Galileo. Como complemento a la toma de datos puntual, se realizó un barrido fotográfico del edificio, tanto por el exterior como por el interior de todas sus dependencias.

## Representaciones gráficas obtenidas

La información gráfica se ha organizado para obtener una cartografía jerarquizada de manera multiescalar que permita alcanzar diferentes niveles de interpretación, cubriendo así un amplio abanico de objetivos y necesidades. Las pautas seguidas para su construcción se detallan seguidamente, poniendo así de manifiesto tanto las precisiones internas esperables de cada documento como las claves de interpretación de algunas formas consignadas en los planos, especialmente en las secciones, que pudieran resultar chocantes.

### Planta General 1/200 en 3D

Desde la RCM se radió una nube de puntos que describe las calles, las edificaciones, los servicios y el mobiliario urbano existente en el entorno de la zona de intervención, cubriendo una zona aproximadamente rectangular de unos 160 x 125 m, lo que representa 2 ha de extensión superficial. La toma de datos se realizó utilizando prismas sobre jalón y también por medio de reflexión directa sobre paramentos. La escala de desarrollo de este plano es 1/200, si bien su precisión interna corresponde a 1/100.

En lo referente a dicha captura y a su codificación ulterior se ha de tener en cuenta que:

- Las aceras se describen a partir de la cota superior del bordillo.
- La cotas de los registros se refieren a su centro, en el caso de figuras regulares, o a su esquina, según dibujo, representándose los tamaños de las tapas y arquetas en su verdadera magnitud.
- Las cotas de portal están tomadas sobre el propio portal, no sobre la acera, es decir, que si el portal tiene un peldaño, la cota es la de la parte superior del peldaño.
- Los edificios se definen por la intersección de la caja de muros con el suelo y los muros a partir de su arranque.
- En el plano figuran los números de policía y las alturas de las edificaciones.

- El programa informático utilizado para el dibujo y la gestión cartográfica ha sido Microstation J + con las aplicaciones Terramodeler y Descartes rodando sobre él.
- Los puntos capturados en campo se han vertido en las capas 1 (identificador de punto), 2 (nº de punto), 3 (altura) y 4 (altura acotada). El resto de la información ocupa niveles diferenciados y se codifica en 3D siguiendo criterios de color, tipo de línea y peso o grosor.
- Los registros, arquetas, mobiliario urbano, etc. se representan mediante células gráficas planas –bloques en Autocad– y se insertan también en 3D.
- La radiación y las líneas estructurales de calles y edificios sirven de base para la creación de una base detallada de información tridimensional que se malla y curva por interpolación con una equidistancia de 0,5 metros.

Esta planta (Figura 15) no incorpora ni formato de plano ni información marginal alguna ya que su único cometido es servir de base para ulteriores operaciones.

### Modelo alámbrico 1/200 en 3D y Sec. por plantas 1/100

Sobre la Planta General 1/200 en 3D se volcaron las nubes discretas de puntos correspondientes a los alzados del edificio. A partir de ellos se dibujaron en 3D las líneas estructurantes del mismo –esquinas, huecos de ventana, molduras, escaleras, etc.–.

El modelo alámbrico generado se intersectó mediante planos horizontales dando lugar a secciones que conformaron la cara exterior de las Plantas de Pisos a escala 1/100. Los planos horizontales de corte elegidos corresponden a las altitudes 26

m, 29,50 m y 32,50 m que permiten describir pormenorizadamente los huecos de puertas y ventanas. Figuras 16 y 17. La sección interior de las respectivas plantas se obtuvo de forma independiente, midiendo con estación total desde las bases de la RCM interior sobre los paramentos verticales. Se tomaron además las cotas de suelos y techos así como otros puntos notables.



Figura 15. Planta general 3D del ámbito de intervención.

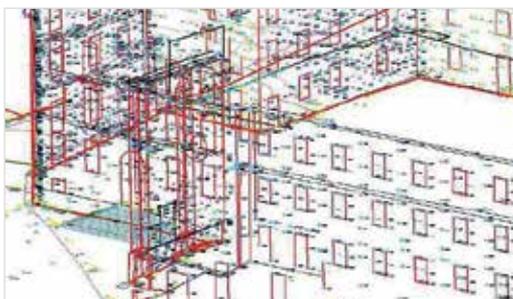


Figura 16. Modelo alámbrico exterior.

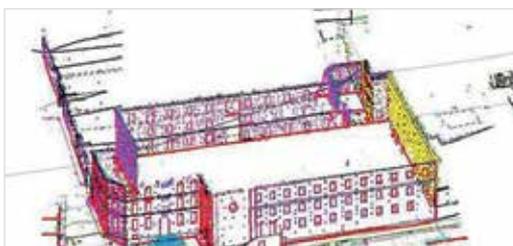


Figura 17. Modelo alámbrico exterior seccionado en la parte superior a cota 32,50.

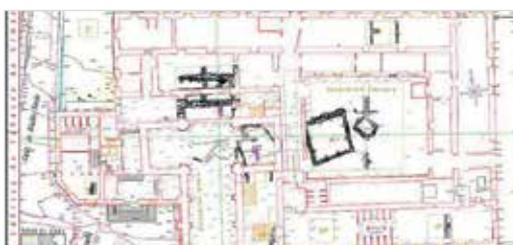


Figura 18. Planta baja a escala 1:100.

Para la descripción de la planta de cubiertas se midieron las cotas de los aleros, limatesas y limahoyas visibles desde las bases de la RCM, completándose el resto de los elementos a partir de la información proporcionada por la ortofotografía aérea del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Las Plantas exteriores e interiores se proyectaron en 2D y se superpusieron para generar los Planos de Planta 1/100 (Plantas nº 3, 4, 5 y 6 de 6). Figura 18. El formato de dibujo elegido para estas representaciones fue el DIN A-1.

La vista se rotó en MS para adaptarse a los márgenes de la página y a los ejes originales del convento, pero el fichero mantiene la integridad de las coordenadas originales X, Y.

### Planta 1/200 en 2D

A partir de la Planta General 3D y del interior de Planta Baja 3D se realizó una exportación ortogonal conjunta a 2D, obteniéndose así la Planta General 2D (Planta nº 2 de 6). La información detallada se completó mediante la adición de los sondeos arqueológicos, la compartimentación interna de la planta –tabiques, muros de carga, escaleras, etc.–, una selección de puntos acotados y de textos, así como la leyenda y la carátula correspondientes. Figura 19.



Figura 19. Planta General 2D a escala 1:200.

### Planta del entorno 1/1.000 en 2D

Comprende la información georreferenciada de las excavaciones realizadas en el tómbolo de Cimadevilla y la Planta 1/200 de Tabacalera (Planta nº 1 de 6).

Las coordenadas mantienen la integridad de las cifras UTM. Se reseña la convergencia de meridianos y la cuidada orientación a la estrella polar de la cisterna romana hallada en las excavaciones arqueológicas. Figura 20.

### Alzados 1/100

Partiendo del modelo alámbrico general 3D se crearon cuatro ficheros independientes. En todos ellos se eliminó la información vectorial que no iba a formar

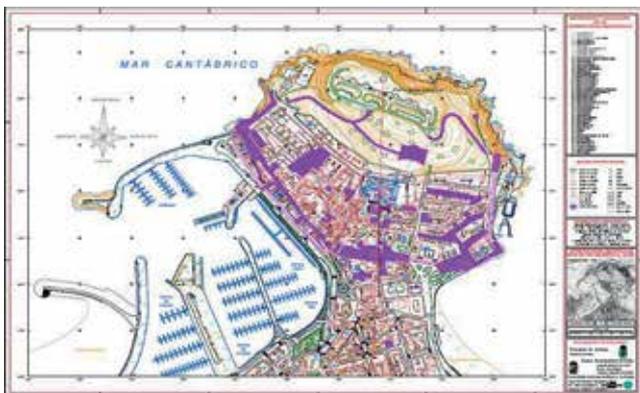


Figura 20. Planta de entorno a escala 1/1.000. Reseñados en magenta los lugares prospectados siguiendo el método arqueológico, la muralla, las termas, etc.

parte del alzado correspondiente y se definió un plano de proyección vertical que contuviera los extremos de la fachada correspondiente. Cada fichero se proyectó ortogonalmente sobre dicho plano, creándose un nuevo fichero en 2D. La coordenada Y de estos nuevos ficheros coincide exactamente con la coordenada Z, o altitud oficial del Puerto de Gijón. La coordenada X se estableció

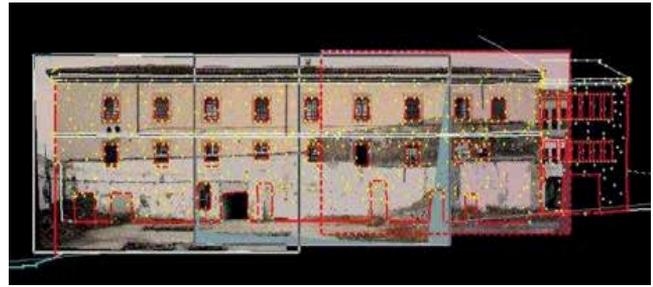


Figura 21. Foto alzado de la fachada este del monasterio.

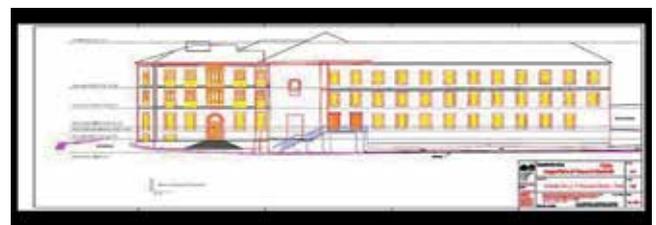


Figura 22. Alzados Norte y Este.

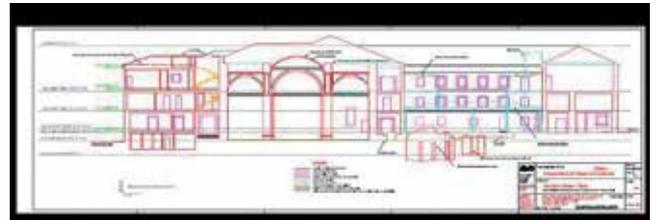


Figura 23. Secciones transversales.

a partir de la esquina izquierda del inmueble, a la que se asignó el valor 100. La información detallada se completó mediante la vinculación de fotografías rectificadas monoscópicamente y las medidas parciales realizadas con el distanciómetro láser portátil. Figura 21

De esta forma se obtuvieron cuatro planos a escala 1/100 (Alzados 1 a 4) que comprenden el alzado propiamente dicho más una sección significativa del terreno y de las calles inmediatas. Figura 22.

### Secciones 1/100

A instancias del Servicio de Arquitectura Municipal, y partiendo de cuatro pares de puntos coordenados, se definieron dos planos verticales que seccionan el modelo 3D. Al igual que en el caso de los alzados, se crearon dos nuevos ficheros 3D, que se depuraron y proyectaron ortogonalmente para crear ficheros 2D. En cada uno de ellos se establece un origen coordenado X=100 en su esquina lateral izquierda.

Mediante vinculación como "ficheros de referencia" en MicroStation, se extrajo de las plantas y de los alzados la información métrica relativa a muros, huecos de ventana, suelos, etc. Esta información se complementó y verificó con datos tomados in situ mediante el distanciómetro láser portátil. El resultado son dos planos de sección (Secciones 1 a 2) en los que se discriminan por capas y colores: la sección propiamente dicha, los elementos huecos y proyectados, los suelos originales, las estructuras metálicas y de madera, etc. Figura 23.

### Otros documentos generados

Como complemento a los trabajos descritos, se obtuvieron los siguientes documentos:

- Planta detallada a escala 1/100 de los restos arqueológicos aparecidos.
- Alzados y fotoalzados a escala 1/40 de la cisterna romana. Figura 24.
- Reportaje fotográfico del estado actual del inmueble.
- Planta detallada de los suelos de la iglesia a escala 1/50. Figura 25.
- Planta de las cubiertas interiores y exteriores de la iglesia a escala 1/100 y detalles de cubiertas, de pechinas, columnas, etc. Figuras 26 y 27.

### Formatos

Todos los planos han sido generados en formato v7 de

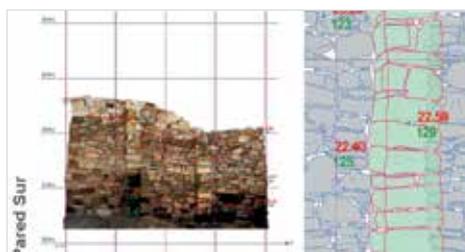


Figura 24 Fotoalzado y dibujo proyectado mediante transparencias sustractivas.



Figura 25 Planta detallada de los suelos de la iglesia mediante rectificación monoscópica de fotografías.

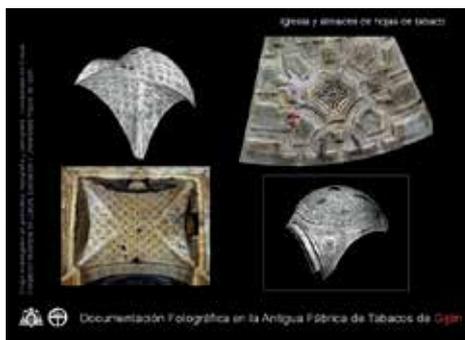


Figura 26. Modelización 3D de techos y elementos decorativos de la iglesia.



Figura 27 Planta de cubiertas sobre distribución de muros y espacios de la segunda planta.

MicroStation y desde éste se han exportado a .dwg de AutoCad, .cdr de Corel y .pdf de Adobe.

## Análisis metrológicos de los resultados

La determinación precisa de las plantas de los elementos arquitectónicos históricos y su vinculación con las unidades de medida empleadas en la época correspondiente a su construcción, permite en muchos casos obtener la modulación que emplearon los diseñadores para llevar a cabo su proyecto. Asimismo, un riguroso posicionamiento absoluto de las estructuras permite comprobar si estas se encuentran orientadas, o no, conforme a alguna de las direcciones cardinales.

Por último, las desalineaciones entre distintos elementos o la utilización de diferentes patrones de medida proporcionan a menudo indicios sólidos para diferenciar etapas co

### Dimensiones

En el caso que nos ocupa, y asumiendo un valor para el pie romano comprendido entre 295 y 300 mm, las dimensiones de la cisterna romana descubierta bajo el patio del claustro barroco son las siguientes:

- Exterior cuadrado de 24 x 24 pes romanos.
- Interior de 20 x 20 pies, o también de 4 x 4 passus romanos.
- Modulación interior: 6, 1, 6, 1, 6 pies.
- Pilarillos o contrafuertes de 1 x 1,5 pies.

La cisterna, por tanto, mide de ancho tantos pies como horas tiene el día, se asienta sobre roca y permite el almacenamiento de 108 metros cúbicos de agua –unas 4.114 ánforas–. Figura 26.

Por su parte, el convento se organiza modularmente en relación a una vara corregida de 83 cm –muy próxima a la unificada de Burgos– y a una proporción formal de 2 x 3, que indirectamente vuelve a subrayar valores duodecimales. Dado que una vara equivale a tres pies, resulta que el pie empleado en la construcción del edificio religioso es de unos 27,6 cm, sensiblemente más pequeño que el de los restos romanos, y por ello ambos pueden constituirse en una buena herramienta para la diferenciación de elementos constructivos. El resto de añadidos que se acumulan en el tiempo, en aras de un irreverente utilitarismo industrializador, son métricos y decimales en su mayoría.

### Orientación

Mientras que el antiguo convento de la Madres Agustinas Recoletas huyó de la característica disposición Oeste-Este de las iglesias medievales para acostarse, utilitariamente,



Figura 29. Planta general con indicación del norte verdadero y de los restos arqueológicos excavados.

máximo originario<sup>2</sup>. Figura 29.

La prolongación de éste eje en dirección Norte coincide –¿casual y afortunadamente? – con la ubicación del Elogio del Horizonte, emplazamiento singular del Cerro de Santa



Figura 30. Ubicación de las direcciones apreciadas en los restos arqueológicos analizados ¿cardo y decumanus originarios? sobre el Plano de Diego Cayón de 1819.



Figura 28. Aspecto y ubicación de la cisterna romana.

sobre la ladera sur del tómbolo de Cimadevilla, las paredes de la cisterna romana se orientaron en su momento siguiendo los cuatro vientos clásicos principales. El Norte utilizado coincidiría con la dirección de la Stella Maris en época romana<sup>1</sup>. Figura 28.

Fue interesante constatar el hecho de que una paralela trazada en dirección Norte-Sur desde los restos del pavimento del pasillo adyacente al claustro por el Oeste, conducía a los restos de la puerta romana de la ciudad, pudiendo constituir, con toda probabilidad, el cardo

<sup>1</sup> Se debe recordar que tanto la posición de la Polar como del resto de los astros de la esfera de las fijas varían periódicamente a consecuencia de los movimientos de precesión y nutación terrestres.

Catalina en el que con anterioridad a dicho monumento está datada la existencia de una capilla puesta bajo la advocación de la venerable mártir y, posteriormente, un faro construido en 1853<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> La expansión del imperio romano se sustentó en el establecimiento de colonias en los territorios conquistados, en los que se fundaba una nueva ciudad –civitas–, como en su momento fue Gijón, o Gigia. La planta de éstas era tradicionalmente ortogonal y se articulaba en torno a dos grandes ejes: el decumanus maximus orientado en sentido Este-Oeste, y el kardus maximus en dirección Norte-Sur.

<sup>3</sup> Santa Catalina de Alejandría fue martirizada en la ciudad que constituyó el principal puerto de Egipto y donde se encontraba el mítico faro que durante siglos fue identificado como una de las Siete Maravillas del Mundo. Asimismo, con el nombre de Santa Catalina se conoce el macizo montañoso situado al Sur del Sinaí, cuyo punto culminante constituye la montaña sagrada de la Biblia, en la que Moisés recibió la revelación del nombre de Yahvé y recibió las tablas de la ley. El monasterio de Santa Catalina, en el que supuestamente se encuentra su tumba, fue mandado construir en el siglo VI por Justiniano al pie de la montaña sagrada y subsiste en la actualidad.

## Conclusiones y recomendaciones

A modo de colofón y a la luz de lo descrito con anterioridad, nos gustaría subrayar finalmente la importancia del trabajo coordinado en Arqueología y Arquitectura sobre las sólidas bases georreferenciadas, precisas y fidedignas que proporciona hoy la Geomática.

### La moderna tecnología nos permite conocer, crear y recrear virtualmente espacios y lugares de modo impensable hace tan sólo dos décadas

Y la cuestión de conservar o destruir edificios del pasado no es algo de simple oportunidad o pensamiento pues no son nuestros, pertenecen en parte a quienes los construyeron, en parte a todas las generaciones que nos seguirán<sup>4</sup>. Accedamos a esos espacios mediante Redes de Control Métrico precisas, materialicemos la información de lo existente siguiendo principios geomáticos contrastados y llevemos al terreno nuestros proyectos apoyados en esas mismas redes.

*Nihil nimirum falsum pro vero supponere  
et ad omnium cognitionem pervenire.*

DISCOURS DE LA MÉTHODE. René Descartes.



<sup>4</sup> Se debe recordar que tanto la posición de la Polar como del resto de los astros de la esfera de las fijas varían periódicamente a consecuencia de los movimientos de precesión y nutación terrestres.

## Sobre los autores

### **José Antonio Suárez García:**

*Ingeniero Técnico en Topografía. Diplomado en SIG. Licenciado en Geografía. Master en técnicas avanzadas de investigación histórica, artística y geográfica. Profesor Titular de Escuela Universitaria del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Oviedo. Miembro del Equipo Investigador en Geomática, Topografía y Cartografía (Gtc).*

### **Pelayo González-Pumariega Solís:**

*Ingeniero Técnico en Topografía. Doctor en Geografía. Profesor Titular de Escuela Universitaria del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Oviedo. Miembro del Equipo Investigador en Geomática, Topografía y Cartografía (Gtc).*

### **Ramón Jesús Argüelles Fraga:**

*Ingeniero de Minas. Profesor Asociado del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Oviedo. Miembro del Equipo Investigador en Geomática, Topografía y Cartografía (Gtc).*

### **Beatriz Rodríguez Fernández:**

*Ingeniera Técnica en Topografía. Becaria del Equipo Investigador en Geomática, Topografía y Cartografía (Gtc) de la Universidad de Oviedo.*



**campus virtual**

**eGeoMapping**  
pone a su disposición  
una **plataforma de formación**  
donde encontrarás las últimas  
novedades en cursos  
relacionados con  
las **Ciencias de la Tierra**

### **Cursos**

- Ingeniería Geomática
- Ingeniería Civil
- Ordenación del Territorio
- Catastro y Propiedad
- Geoinformación
- Innovación social
- Biblioteconomía

Gracias a la formación e-learning se eliminan las barreras espacio-temporales de su aprendizaje

ESTUDIE DONDE Y CUANDO QUIERA

El equipo docente de eGeoMapping le espera

# Implementación de herramientas web para la fusión de imágenes satelitales usando la transformada rápida de Wavelet Haar (TRWH)

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 157, 34-43  
enero-febrero 2013  
ISSN: 1.131-9.100

Rubén Javier Medina Daza, Luis Joyanes Aguilar, Carlos Pinilla Ruiz (\*)

## Resumen:

Este artículo presenta el desarrollo, la implementación y la creación de un nuevo servicio en la Web, que ofrece la posibilidad de fusionar imágenes satelitales, de diferentes sensores y diferente resolución espacial. La fusión de imágenes satelitales se realiza utilizando la transformada rápida de Wavelet Haar (TRWH), implementada en Matlab.

El artículo se organiza al alrededor de dos temáticas importantes: El servicio Web y la fusión de imágenes. En lo que corresponde al desarrollo e implementación en la Web, éste se realiza en software libre, con herramientas como MapServer, Apache, Drupal. Dichas herramientas fueron utilizadas para crear una interface sencilla donde el usuario participa e interactúa activamente. De la misma manera que permiten que el usuario: visualice la información de los procesos obtenidos para la fusión de imágenes; y realice una solicitud de fusión de imágenes. Además, en la implementación web se desarrolla un módulo para la obtención de datos georeferenciados en algunas fuentes externas para crear un nuevo servicio, implica una integración fácil y rápida, a través de APIs que ofrecen algunas herramientas en internet como OpenStreetMaps, estas básicamente son fuentes de datos que producen resultados que no eran la razón original de los datos crudos de la fuente. Un ejemplo es el empleo de datos (imágenes satelitales), para añadir la información de posición (ubicación). En cuanto la fusión de imágenes satelitales, se presentan los procesos del algoritmo matemático de la transformada rápida de Wavelet Haar (TRWH) para la fusión de imágenes. Finalmente, una imagen multiespectral y una pancromática Ikonos fueron fusionadas usando: la (TRWH) implementada con Matlab, igualmente cinco wavelet diferentes predefinidas en Matlab. Los mejores resultados fueron obtenidos con la fusión que utiliza la (TRWH) implementada con Matlab, por lo cual se utiliza la (TRWH) en el servicio Web para ofrecer la fusión de imágenes.

## Abstract:

This article presents the development, the implementation and the creation of a new service on the Web that offers the possibility for fusion of satellite images of different spatial resolutions and/or different remote sensors. The fusion of satellite images is performed using the fast haar wavelet transform (FHWT) that was implemented in Matlab. The article is organized around of two themes important: the Web service and the fusion of images. With regard to the development and implementation on the Web, this is done in free software with tools such as MapServer, Apache, Drupal. These tools were used to create a simple interface where the user takes part and interacts actively. In the same way that allows that user: displays the information on processes obtained for the fusion of images; and makes a request for fusion of image. In addition, the web implementation develops a module for obtaining georeferenced data from two or more external sources to create a new service. It involves a quick, and easy integration through APIs that offer some tools on the internet as OpenStreetMaps, these basically source data that produces results that were not the original reason for the raw data of the source. An example is the use of data (satellite images) to add location information (location). As for fusion of satellite images, it presents the mathematical algorithm for the fast haar wavelet transform (FHWT). As an alternative to the fusion implemented in Matlab (result of a previous study). The (FHWT) implemented with Matlab, and also using five different wavelets predefined in Matlab. The best results were obtained with the fusion that uses the (FHWT) method implemented in Matlab, so it is used (TRWH) in the Web service to provide the fusion of images.

Palabras clave: Imagen Satelital, Ikonos, Fusión de Imágenes, Transformación RGB a IHS, Transformada de Wavelet, Web, MapServer, Apache, Drupal, APIs.

Keywords: Satellite imagery, Ikonos, Image Fusion, RGB to IHS transformation, Wavelet Transform, Web, MapServer, Apache, Drupal, APIs.

Rubén Javier Medina Daza  
Universidad Distrital Francisco  
Bogotá D.C., Colombia.  
rmedina@udistrital.edu.co

Luis Joyanes Aguilar  
Universidad Pontificia de  
Salamanca, Madrid, España.  
luis.joyanes@upsam.net

Carlos Pinilla Ruiz  
Universidad de Jaén.  
Jaén, España.  
cpinilla@ujaen.es

Recepción 07/06/2012  
Aprobación 09/07/2012

## Introducción

El principal objetivo de las técnicas digitales es procesar una imagen de forma que resulte más adecuada que la original para una aplicación específica. El procesamiento de los datos digitales se enfoca a lograr tres objetivos básicos: corrección de los datos, realce de la información original y clasificación o extracción de información [CHU96]. En una alta proporción, los datos suministrados por la agencias distribuidoras de datos en forma digital, realizan las correcciones básicas tanto geométricas como radiométricas; no obstante, algunos procesos requieren datos brutos, para lo cual el usuario adquiere este tipo de producto, quedando a su cargo la corrección del mismo.

---

**La fusión de imágenes es una respuesta a la frecuente necesidad de tener en una sola imagen datos de alta resolución espectral y espacial a partir de imágenes multiespectrales y pancromáticas de diferente resolución espacial y diferentes sensores remotos**

---

La fusión permite obtener información detallada sobre el medio ambiente urbano y rural, útil para una aplicación específica en estudio. Los procedimientos convencionales de fusión de imágenes están basados en diferentes técnicas, tales como la transformación RGB a IHS, la transformación de Brovey, la transformación de componentes principales, entre otros.

Estos métodos no son completamente satisfactorios debido a que degradan la información espectral. En los últimos años se ha empezado a experimentar un procedimiento que usa la transformada de Wavelet en dos dimensiones conserva la riqueza espectral de las imágenes originales [NUÑ99] [MAL96][BUR98]. En este artículo se realiza la revisión de los fundamentos matemáticos de la descomposición de la Transformada rápida de Wavelet [NIE96]. Finalmente, se muestra la utilidad de las herramientas tecnológicas (Software

libre) [STA04] disponibles en el mundo de la informática, representando para los usuarios de la red el principal medio para la toma de decisiones. Con la información obtenida se realiza una aplicación web híbrida (mashup o remezcla) [YEE08], es un sitio web o aplicación web que usa contenido de otras aplicaciones web para crear un nuevo contenido completo, consumiendo servicios directamente, siempre a través de protocolo http.

El sitio mismo debe acceder información externa a él usando una API [BEN10] y procesar esos datos de modo de incrementar su valor para el usuario. Los mejores resultados fueron obtenidos con la (TRWH) implementada con Matlab, para la fusión de imágenes, por lo cual se utiliza la (TRWH) en el servicio Web para ofrecer la fusión de imágenes.

Objetivos

Evaluar la implementación del algoritmo matemático (TRWH) usando el software matemático MatLab y cinco Wavelet implementadas bior6.8, rbior6.8, db7, haar y dmey en MatLab, usando el método de coeficiente de correlación.

Generar una página web usando software libre que permita combinar datos, añadir información de posición (ubicación), así creando un servicio nuevo y distinto de Web, que en este caso ofrezca un servicio de fusión de imágenes satelitales usando (TRWH).

## Fusión de imágenes satelitales

La fusión de imágenes es un proceso que consiste en combinar imágenes digitales que tienen diferente resolución espacial y espectral con el fin de obtener una nueva imagen que integre lo mejor de las imágenes originales para uso en una aplicación específica. Los métodos convencionales de fusión de imágenes más usadas son:

Transformación RGB-IHS, Componentes Principales, Multiplicación y Transformada de Brovey. La transformación de componentes principales (ACP), entre otros. Estos métodos degradan la información espectral. En los últimos años se ha empezado a experimentar un procedimiento que usa la transformada de Wavelet en

dos dimensiones las investigaciones han demostrado que conserva la riqueza espectral de las imágenes originales.

## Transformada de Wavelet

El análisis multiresolución basado en la teoría de Wavelet [MAL96], permite la presentación de los conceptos de detalle entre niveles sucesivos de escala o resolución. La descomposición de Wavelet es usada para la descomposición de imágenes. El método está basado en la descomposición de la imagen en múltiples canales basados en su frecuencia local. La transformación de la Wavelet provee un esquema para descomponer una imagen en un nuevo número de imágenes, cada una de ellas con un grado de resolución diferente [MED10].

Representación de una imagen sintética 2x2 usando la transformada rápida Wavelet Haar (TRWH).

La transformada rápida de Wavelet Haar (TRWH) consiste en transformar una sucesión numérica en otra sucesión tal que la segunda tenga menos números distintos de cero y tal que la primera pueda recuperarse de la segunda mediante un proceso inverso, por ejemplo:

$$f = \begin{pmatrix} 165 & 151 & 130 & 0 \\ 156 & 156 & 156 & 156 \\ 160 & 169 & 160 & 147 \\ 151 & 156 & 156 & 156 \end{pmatrix} = \text{[Imagen sintética 2x2]}$$

Utilizando la matriz anterior como entrada para la siguiente iteración se genera el segundo nivel de descomposición que corresponde a la siguiente matriz, representa la matriz de segundo nivel de descomposición de la imagen sintética:

$$\begin{pmatrix} 165 & 151 & 130 & 0 \\ 156 & 156 & 156 & 156 \\ 160 & 169 & 160 & 147 \\ 151 & 156 & 156 & 156 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{(TRWH)}} \begin{pmatrix} 145.29 & 12.7 & 3.5 & 32.5 \\ -11.56 & 10.55 & -3.5 & 3.25 \\ 1 & -45.5 & 3.5 & 32.5 \\ 5.5 & -1.25 & -1 & 3.25 \end{pmatrix}$$

El resultado intermedio obtenido corresponde a una transformación básica de wavelet de dos dimensiones en cada una de los cuatro cuadros adyacente de 2x2

$$\begin{pmatrix} \bullet \\ \bullet \end{pmatrix}$$

Todos los coeficientes de las esquinas superiores izquierdas de cuatro bloques de 2x2 de entrada en la esquina superior izquierda, correspondiente a los coeficientes de aproximación de segundo nivel, que se denota como A2, donde se encuentran los coeficientes cH2, cV2 y cD2.

$$\begin{pmatrix} h \\ \bullet \end{pmatrix}$$

Todos los coeficientes de las esquinas superiores derecha de cuatro bloques de 2x2 de entrada en la esquina superior derecha, corresponde a los coeficientes de detalle horizontal de primer nivel de descomposición, que se denota como cH1.

$$\begin{pmatrix} \bullet \\ v \end{pmatrix}$$

Todos los coeficientes de las esquinas inferiores izquierdas de cuatro bloques de 2x2 de entrada en la esquina inferior izquierda, a los coeficientes de detalle vertical de primer nivel de descomposición, que se denota como cV1.

$$\begin{pmatrix} \bullet \\ d \end{pmatrix}$$

Todos los coeficientes de las esquinas inferiores de derecha de cuatro bloques de 2x2 de entrada en la esquina inferior derecha, a los coeficientes de detalle diagonal de primer nivel de descomposición, que se denota como cD2, Así surge la transformada completa de wavelet bidimensional rápida de Haar.

Implementación Herramientas Web usando software libre para la fusión de imágenes satelitales

## Linux como plataforma

GNU/Linux es un término el cual ha sido empleado para nombrar la combinación entre el sistema operativo GNU y el núcleo Linux, su código fuente puede ser utilizado, modificado, y redistribuido por cualquier desarrollador bajo los términos de la licencia GNU/GPL [STA04].

Para la investigación se usó una distribución de GNU/Linux en la cual se pueden implementar herramientas web para la fusión de imágenes satelitales haciendo uso de la

(TRWH). Lo cual hace posible que el código de la aplicación generada pueda quedar accesible a toda la comunidad y de este modo contribuir al desarrollo científico en cuanto a investigaciones posteriores haciendo uso de los resultados obtenidos en esta investigación.

## MapServer

Es una plataforma de código abierto para la publicación de datos espaciales y aplicaciones interactivas de cartografiado en la web. Este es multiplataforma, dentro sus principales características se encuentran:

- Dibujo de capas de información dependiendo de la escala.
- Dibujo de etiquetas para objetos evitando la colisión entre las mismas.
- Elementos de mapas automáticos tales como; escala gráfica, mapas de referencia y leyenda.

Además de lo anterior, es importante decir que MapServer permite programación de elementos cartográficos con lenguajes como PHP, Python, Perl, Ruby, Java, Java Scrip, etc., [GIL10].

---

### Es una plataforma de código abierto para la publicación de datos espaciales y aplicaciones interactivas de cartografiado en la web

---

MapServer crea imágenes de mapa a partir de la información espacial almacenada en formato digital. Se puede manejar datos vectoriales y de mapa de bits. MapServer puede leer más de 20 formatos vectoriales diferentes, incluyendo shapefiles, PostGIS y geometrías ArcSDE, OPeNDAP, Arc / Info Coverages y archivos del Census TIGGER. No toda la información mostrada por MapServer necesita estar en formato vectorial. Por ejemplo las fotografías aéreas y las imágenes satelitales pueden ser mostradas como si fueran un elemento vectorial, haciendo un renderizado a trozos el cual al final forma un todo con la imagen completa como resultado. MapServer lee dos formatos raster nativos: GeoTIFF y EPPL7, pero puede leer más de 20 formatos adicionales con el paquete de la librería GDAL [KRO05].

### Apache HTTP

Es un software para crear servidores web desarrollado por la Apache Software Foundation, este se ha convertido en el servidor web más utilizado en el mundo debido a sus altas prestaciones y desempeño. Este software es del tipo open source y esta licenciado por la Apache licencia versión 2.0 (Licencia Apache) [BOW00].

Para el caso de uso que se presenta en este artículo el servidor web Apache proporciono los servicios necesarios para la implementación del sitio web el cual se puede realizar haciendo uso de Drupal y de la información geográfica, esta se implementa con la ayuda del software MapServer [LAU99].

### Drupal

Es un sistema de gestión de contenidos libre, con licencia GNU/GPL escrito en php lleva más de 11 años en constante desarrollo, es mantenido por una comunidad. Se destaca por la calidad de su código, semántica, respecto de los estándares web, la seguridad, y la usabilidad.

Es usado para la aplicación web en la recolección de las solicitudes de fusión, básicamente los usuarios pueden solicitar fusiones de imágenes a través del sitio web, la plataforma analiza esos datos y los envía a un servidor el cual los procesa, es decir aplica el algoritmo de fusión y retorna una imagen fusionada.

Drupal como sistema modular permite integrar de una manera rápida y sencilla, esa recolección de datos a través de módulos como WebForm, el cual se encarga de generar los formularios necesarios para este proceso [BYR08].

Cabe destacar la importancia de módulos como CCK que se usa para construir los tipos de contenido dentro del sitio llamados fusión, además de VIEWS que permite al administrador del sitio, ver las solicitudes pendientes por procesar, así como las que ya se encuentran terminadas.

En su núcleo, esta plataforma cuenta con muchas herramientas para el control de los datos que se envían al servidor y es por eso que se usan varias validaciones antes de enviar las imágenes, es el caso de que una imagen diádica no puede ser procesada y gracias a funciones como "hook\_validate()" [VAN08], pueden controlarse este tipo de cosas, eso evita que el usuario tenga problemas a la hora de enviar sus posibles imágenes para una fusión. El objetivo fundamental de Drupal en este proyecto es ayudar con la recolección de los datos del usuario.

Esta plataforma tiene su propio framework para el desarrollo de módulos, está escrito en php y es de gran

ayuda en nuestra labor, ya que se puede solucionar un problema importante para la ejecución del algoritmo que fusiona las imágenes en el servidor.

En ese framework basado en php se desarrolló un módulo para Drupal que selecciona las 2 imágenes que el usuario envió y se ejecuta el algoritmo que está escrito en Matlab, genera los resultados, almacena los datos de ejecución y alerta a la persona que envió esa solicitud vía correo electrónico cuando el proceso se terminó y sus datos están disponibles. En el ejemplo cabe destacar que este módulo durante el proceso **busca más información georeferenciada dentro de Internet** y la agrega como metadatos en el resultado que es visible en el sitio web.

## Metodología

Se implemento los siguientes procesos para generar la fusión de imagen satelitales y para el análisis evaluación de los resultados de la fusión:

- Adquisición de las imágenes Ikonos Multiespectral y pancromática.
- Análisis de información existente sobre la zona de estudio (Bogotá D. C.- Colombia) Parque Simón Bolívar.
- Cálculos estadísticos correcciones y realces.
- Georeferenciación (Coordenadas)
- Recorte y remuestreo.
- Fusión de imágenes generadas con la familia de wavelet en MatLab
- Implementación de la Transformada rápida de Wavelet haar. (TRWH), Usando Matlab, para generar la imagen fusionada.
- Evaluación de las imágenes fusionada. (Coeficiente de Correlación)
- Implementación herramienta web para fusión de imágenes satelitales.
- Análisis y conclusiones

## Zona de estudio

En esta investigación se realizo utilizando una imagen Ikonos de la ciudad de Bogotá D. C. (Colombia). El área de estudio se localiza en Bogotá (Colombia), específicamente en el Parque Metropolitano "Simón Bolívar". Tenemos una sub imagen Ikonos. (Figura 2.) Pancromática Ikonos, de 1 metro de resolución espacial, del 6 de septiembre

de 2007, Georeferenciación (UTM / WGS 84). Imagen Multiespectral Ikonos, tres canales multiespectrales (R-rojo, G verde y azul-B) con una resolución espacial de 4 metros, del 6 de septiembre de 2007. Georeferenciación (UTM / WGS 84). Las dos imágenes fueron recortadas con un ancho de 2048 y de alto 2048. Se realizaron los cálculos estadísticos de las dos imágenes, de la multiespectral banba por banda, La imágenes se remuestraron al mismo tamaño del pixel de la imagen pancromática. Se realiza la implementación del algoritmo de la



Figura 2. Izq. Imagen pancromática. Der. Imagen multiespectral composición verdadero color.

transformada wavelet Haar rápida (TRWH), para generar la imagen fusionada con este método. Para generar las imágenes fusionadas usando la transformada de wavelet, se incluyeron las funciones wavelet implementadas en el software MatLab (tabla 1). Por último se evalúa el rendimiento de esta implementación (TRWH), con las imágenes fusionadas que se obtuvieron con las Wavelet incluidas en MatLabLa

tabla 1 muestra la familia de wavelet incluidas en el Toolbox para la descomposición de imágenes.

Nombre corto de la familia de wavelet	Nombre de la familia de wavelet
'Haar'	Haar wavelet.
'Db'	Daubechies wavelets.
'Sym'	Symlets.
'Coif'	Coiflets.
'Bior'	Biorthogonal wavelets.
'Rbio'	Reverse biorthogonal wavelets.
'Meyr'	Meyer wavelet.
'Dmey'	Discrete approximation of meyer wavelet.

Tabla 1. Familia wavelet 2D

### Metodología, e implementación de la transformada rápida de Wavelet Haar para la fusión de imágenes satelitales,

basado en el proceso descrito anteriormente, propuesto [NIE96], y el diagrama de flujo, como resultado de esta investigación se proponen los siguientes pasos:

Registrar una composición a color RGB de la imagen multiespectral con la imagen pancromática, usando el mismo tamaño de píxel de esta última.

Transformar los componentes RGB en componentes IHS.

Aplicar el concepto de la Transformación de Wavelet rápida de Haar al componente I, segundo nivel descomposición obteniendo de esta manera los coeficientes de aproximación y detalle,  $A1i$  coeficientes de aproximación que contiene la información espectral de la imagen,  $cV1i$ ,  $cH1i$  y  $cD1i$  coeficientes de detalle donde se almacena la información espacial de la imagen,  $A1p$  se descompone por segunda vez de esta manera se obtiene  $A2i$  coeficientes de aproximación que contiene la información espectral de la imagen y  $cV2i$ ,  $cH2i$  y  $cD2i$  además con  $cV1i$ ,  $cH1i$  y  $cD1i$  serán los coeficientes de detalle donde estará la información espacial de la imagen transformada,

Aplicar el concepto de la Transformación de Wavelet rápida de Haar a la imagen pancromática, segundo nivel descomposición obteniendo de esta manera los coeficientes de aproximación y detalle,  $A1p$  coeficientes de aproximación que contiene la información espectral de la imagen,  $cV1p$ ,  $cH1p$  y  $cD1p$  coeficientes de detalle donde se almacena la información espacial de la imagen,  $A1p$  se descompone por segunda vez, de esta manera se obtiene  $A2p$  coeficientes de aproximación de segundo nivel, que contiene la información espectral de la imagen y  $cV2p$ ,  $cH2p$  y  $cD2p$  además con  $cV1p$ ,  $cH1p$  y  $cD1p$  serán los coeficientes de detalle donde estará la información espacial de la imagen transformada.

Se genera una componente intensidad nueva (INT), de la siguiente forma con los coeficientes  $A2i$  que almacena la información de la imagen del componente I y los coeficientes de detalle de segundo nivel de la imagen pancromática  $cV2p$ ,  $cH2p$  y  $cD2p$ , y los coeficientes de detalles  $cV1p$ ,  $cH1p$  y  $cD1p$  de la descomposición de primer nivel.

Aplicar transformada inversa de la transformada rápida de Wavelet Haar para obtener la nueva componente intensidad. Con la nueva componente intensidad y las componentes originales matiz y saturación generar la

nueva IHS. Realizar la transformación inversa IHS a RGB. De esta manera se obtiene la nueva imagen multiespectral, que mantiene la resolución espectral ganando así la resolución espacial.

La figura 3 muestra el esquema metodológico, el flujo de procesos efectuados para evaluar los métodos de fusión satélite de imágenes utilizando la transformada rápida de Wavelet Haar (TRWH), en Matlab.

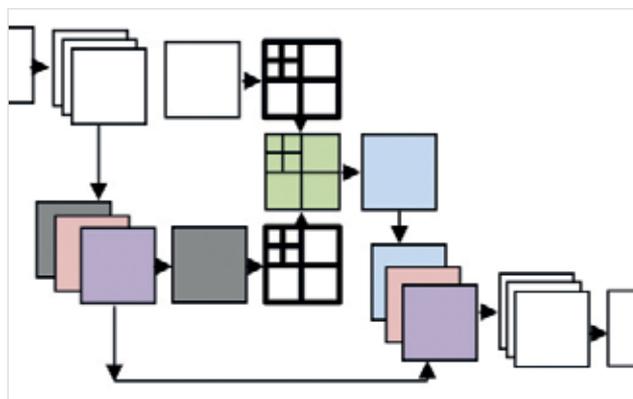


Figura 3. Proceso para obtener la imagen multiespectral fusionada usando (TRWH)

### Método alternativo usando la transformada de wavelet en MatLab

Se realizan los siguientes pasos para la fusión de imágenes satelitales usando Wavelet Toolbox y Image Processing Toolbox en Matlab [MIS96]:

- Paso 1. Registrar una composición a color RGB de la imagen multiespectral, para este caso de estudio se trabajo con la composición a color RGB (Verdadero Color).
- Paso 2. Se remuestrea la composición a color al mismo tamaño de píxel de la imagen pancromática.
- Paso 3. Transformar los componentes RGB en componentes IHS.
- Paso 4. Integrar mediante una transformación de Wavelet (Familia de Wavelet tabla 1) el componente I y la imagen pancromática, obteniendo así un nuevo componente NI.
- Paso 4. Realizar la transformación inversa NI-HS a NRGB. De esta manera se obtienen las nuevas imágenes fusionadas.

## Evaluación de las imágenes fusionadas

Para la evaluación y análisis de los resultados de las imágenes fusionadas obtenidas por los dos métodos anteriormente mencionados se tuvo en cuenta el método matemático estadístico (CC) coeficiente de correlación, que se describe a continuación:

Método matemático-estadístico. La correlación espacial y correlación espectral, de las imágenes fusionadas con las imágenes originales. Para cualificar el comportamiento del métodos usando la familia de Wavelet 2-D, en Matlab con de fusión de imágenes usando (FTWH), se calcula la correlación entre las diferentes imágenes fusionadas y la imagen multispectral original, para obtener un índice de conservación de la resolución espectral. Para analizar la conservación de la resolución espacial se obtienen las correlaciones de las diferentes imágenes fusionadas con los diferentes procesos y la Imagen Pancromática. Eq. (1) Donde A y B son los valores media de las imágenes

$$corr(A/B) = \frac{\sum_{j=1}^{npix} (A_j - \bar{A})(B_j - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{npix} (A_j - \bar{A})^2 \sum_{j=1}^{npix} (B_j - \bar{B})^2}}$$

correspondientes, *corr(A/B)* se llama coeficiente de correlación y varía entre -1 y +1. Se usan los signos + y - para las correlaciones positivas y negativas, respectivamente. Nótese que *corr(A/B)* es una cantidad adimensional, es decir no depende de las unidades empleadas [NUÑ99] [MUR99].

### Implementación de un servicio web para la fusión de imágenes.

Utilizando software libre específicamente las herramientas Apache MapServer y Drupal se desarrollo una interface que permite la visualización de la información de datos fusionados; igualmente la solicitud de fusión de imágenes. Dicha fusión se realiza con la (TRWH) la cual fue seleccionada dando los mejores resultados.

## Resultados

En la tabla 2 se muestra la correlación de la imagen original con las imágenes fusionadas (TRWH) implementadas en Matlab y cinco wavelet que están definidas en Matlab, para analizar la ganancia espectral

Image	R	G	B
RGB/bior6.8	0.9320	0.8718	0.6836
RGB/rbio6.8	0.9321	0.8717	0.6848
RGB/db7	0.9371	0.8773	0.7429
RGB/haar	0,9433	0,8919	0,7450
RGB/dmey	0,9393	0,8815	0,7600
RGB/FTWH	0,9412	0,9015	0,8756

Tabla 2. Correlación Espectral de la imagen Original con las Imágenes Fusionadas

En la tabla 3 se muestran los resultados cualitativos usando el método matemático-estadístico. La correlación espacial, de las imágenes fusionadas con la imagen original pancromática.

Imagen	R	G	B
PAN/bior6.8	0.4725	0.6275	0.3474
PAN/rbio6.8	0.5053	0.6498	0.3937
PAN/db7	0.5003	0.6479	0.3861
PAN/haar	0,5092	0,6585	0,3930
PAN/dmey	0,5055	0,6531	0,3918
PAN/TROH	0,5948	0,6670	0,5378

Tabla 3. Correlación Espacial de la Imagen Pancromática con las Imágenes fusionadas

## Comparación cualitativa

En la Figura 4, podemos ver, de izquierda a derecha, tres detalles de la imagen: elemento lineal, textura y color, y arriba a abajo de la imagen multiespectral la imagen pancromática, y la imagen que se fusionó con el (TRWH), haar, dmey, bior6.8 y rbio6.8.

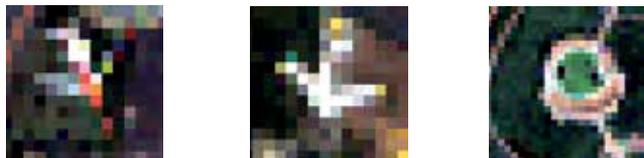


Imagen Ikonos RGB-Original



Imagen Ikonos PAN-Original



Imagen fusionada usando FTWH



Imagen fusionada usando la transformada de Wavelet Haar



Imagen fusionada usando la transformada de Wavelet Dmey



Imagen fusionada usando la transformada de Wavelet Bior6.8



Imagen fusionada usando la transformada de Wavelet Rbio6.8

Imagen 4. Tres ejemplos de comparación visual

## Aplicación web utilizando Drupal

Aplicación para la fusión de imágenes satelitales usando MapServer, Apache HTTP y Drupal. Las siguientes figuras ilustran la interface de la aplicación web para la fusión de imágenes satelitales.

Ejemplo de fusión de imágenes (TRWH).



Figura 5. INICIO <http://glud.udistrital.edu.co/proyctofusion/drupal//node/4>.



Figura 6. INICIO EJEMPLO DE FUSION (TRWH) <http://glud.udistrital.edu.co/proyctofusion/drupal//node/2>



Figura 7. Ejemplo de fusión (FTWH) <http://glud.udistrital.edu.co/mapserver/mapa.html>

Información asociada al ejemplo de fusión:  
Malla vial, visualización de la imagen multiespectral original, imagen pancromática, información de la zona.



Figura 8. Solicitud de fusión (TRWH) <http://glud.udistrital.edu.co/proyecto-fusion/drupal/node/add/solicitud-de-fusionv>

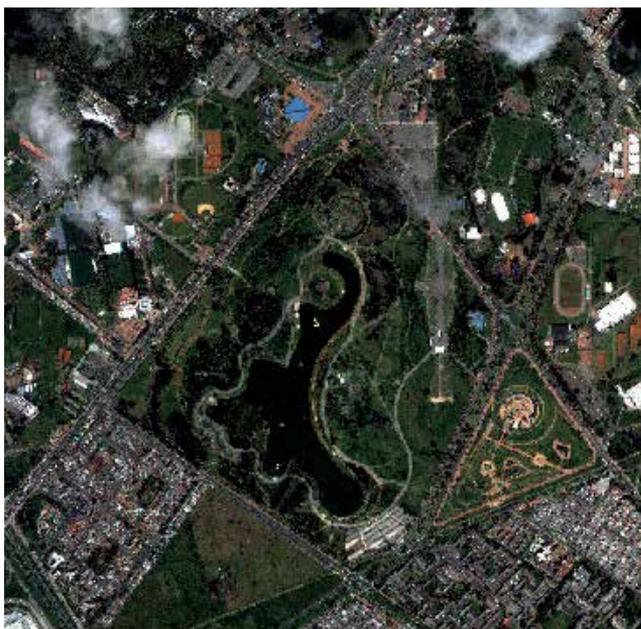


Figura 9. Imagen fusionada generada usando Matlab usando herramientas web, producto final para el usuario.

Servicio de la implementación de la herramienta web: Solicitud de la fusión de imágenes usando (TRWH).

## Conclusiones y recomendaciones

Los estudios anteriores habían demostrado que los métodos de fusión de imágenes basados en la transformada de Wavelet son más adecuados para la fusión de imágenes que los métodos convencionales [NUÑ99]. El método presentado en este artículo basado en la transformada rápida de haar (TRWH), permite obtener mejores resultados que los métodos anteriormente mencionados. El método consiste en transformar la composición RGB a IHS, de la Intensidad se extrae los coeficientes  $A_{2i}$ , estos coeficientes contienen la riqueza espectral extraída de la

imagen multiespectral de baja resolución, combinando estos coeficientes de aproximación con los coeficientes de detalle H2p, V2p, D2p, H1p, V1p y D1p de la imagen pancromática que contiene la riqueza espacial, se genera la nueva intensidad NI, se transforma N-IHS a N-RGB de esta manera se genera la imagen fusionada. Este método (TRWH) es capaz de mejorar la calidad espacial de la imagen multiespectral preservando al mismo tiempo su contenido espectral en mayor medida. En este estudio la (TRWH) se implementó en el software Matlab, con una imagen Ikonos multiespectral de 4 metros de resolución espacial y una imagen pancromática de 1 metro de resolución espacial del parque Simón Bolívar de la ciudad de Bogotá (Colombia).

Con el fin de validar los resultados obtenidos, las imágenes fusionadas por diferentes métodos y la fusionada con el método aquí propuesto (TRWH), se compararon a través de coeficiente de correlación de las imágenes fusionadas con las imágenes originales.

Este indicador la (TRWH) presenta los mejores resultados, mejora la resolución espacial y conserva la resolución espectral de la imagen multiespectral. El método (TRWH) se puede considerar como una mejora en la IHS en el sentido que la intensidad no está sustituida totalmente por la imagen pancromática, pero la alta resolución de la imagen pancromática se incluye en la intensidad mediante la sustitución de los coeficientes wavelet de la imagen pancromática a la intensidad.

## Los métodos de fusión de imágenes basados en la transformada de Wavelet son más adecuados para la fusión de imágenes que los métodos convencionales

Finalmente, se muestra la utilidad de las herramientas tecnológicas (Software libre) [STA04] disponibles en el mundo de la informática, representando para los usuarios de la red el principal medio para la toma de decisiones. Con la información obtenida se realiza una aplicación web híbrida (mashup o remezcla) [YEE08], es un sitio web o aplicación web que usa contenido de otras aplicaciones web para crear un nuevo contenido completo, consumiendo servicios directamente, siempre

a través de protocolo http. El sitio mismo se accede información externa a él usando una APIs [BEN10] y procesar esos datos de modo de incrementar su valor para el usuario. Los mejores resultados fueron obtenidos con la (TRHW) implementada con Matlab, para la fusión de imágenes, por lo cual se utiliza la (TRHW) en el servicio Web para ofrecer la fusión de imágenes.

## Referencias

- [BEN10] Jonathan Bennett., *OpenStreetMap: Packt Publishing* (September 22, 2010)
- [BRO00] R. Bowen. And K. Coar, *Servidor Apache al Descubierta*, Prentice-Hall, Edición 1, 2000.
- [BUR98] C. Burrus. Sindney., *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*. Prentice Hall. 1998.
- [BYR08] Angela Byron., Addison Berry, Nathan Haug, Jeff Eaton, James Walker, Jeff Robbins: *Using Drupal*, O'Reilly Media; 1 edition (December 23, 2008).
- [CHU96] Emilio. Chuvieco., *Fundamentos de Teledetección espacial*. 3ª Edición. Ed., Rialp. 1996
- [GIL10] W. Jason., Gilmore. *Beginning PHP and MySQL: From Novice to Professional* Apress; 4 edition (September 24, 2010).
- [KRO05] B. Kropla., *Beginning MapServer: Open Source GIS Development*, Editorial Apress, 2005.
- [LAU99] B. Laurie. And P. Laurie., *Apache The Guide* Definitive, O'REILLY & Associates, Second Edition, 1999.
- [NUÑ99] J. Nuñez., X. Otazu., O. FORS, A. PRADES, V. PALA, R. ARBIOL, 1999, « Multiresolution-Based Image fusion whit Additive Wavelet Descomposition », *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol 37, Nº. 3, pp 1204 -1211.
- [NIE99] Yves Nievergel., *Wavelets made easy*, 1999, Ed Birkhäuser, Boston, pp 297.
- [MIS96] Michel Misiti., *Wavelet Toolbox For Use whit MATLAB*. The Math Works Inc.
- [MAL96] Stéphane. Mallat., *Proceedings of the IEEE* Vol, 84, Nº 4 April 1996. *Wavelets for a vision*.
- [MED11] R. Medina, C. Pinilla. y L. Joyanes "Reconstrucción de una señal sinusoidal y de una imagen sintética usando la transformada de wavelet discreta" *Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development*, August 3-5, 2011, Medellin, Colombia.

- [MED10] R. J. Medina, L. Joyanes, C. Pinilla. "Algoritmos Matemático para la fusión de imágenes satelitales" *V Simposio Internacional de Sistemas de Información e Ingeniería de Software en la Sociedad del Conocimiento Octubre de 2010*.
- [MUR99] S. R. Murray. *Estadística*, Segunda edición Mc Graw Hill. 1999
- [STA004] Richard M. Stallman., *Software libre para una sociedad libre*, Editorial Traficantes de Sueños, Edición 1, 2004.v
- [YEE08] Raymond Yee., *Pro Web 2.0 Mashups: Remixing Data and Web Services*:Apress; 1 edition, March 7, 2008.

## Sobre los autores

### Rubén Javier Medina Daza.

Estudiante de doctorado en Informática con énfasis en Sistemas de Información Geográfica. Acreditado en la suficiencia investigadora (Diploma de estudios avanzados - DEA), en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Pontificia de Salamanca Madrid-España. Magíster en Teleinformática, Especialista en Ingeniería de Software, Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Licenciado en Matemáticas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor Asociado, tiempo completo adscrito a la Facultad de Ingeniería, Proyecto Curricular Ingeniería Catastral y Geodesia y de la Maestría en Ciencias de la Información.

### Carlos Pinilla Ruiz.

Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Córdoba. Mi actividad investigadora complementa a la docente y se desarrolla en el seno del grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica. Líneas de investigación: Caracterización radiométrica de cubiertas discontinuas, restauración de imágenes y aplicaciones de la teledetección al catastro y a la agricultura.

### Luis Joyanes Aguilar.

Doctor en Ingeniería Informática y Doctor en Sociología, (Licenciado en Ciencias Físicas y Licenciado de Enseñanza Superior Militar). Profesor Titular de la Cátedra de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Facultad de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca campus Madrid.

# MAPPING

## MAPPING INTERACTIVO



EN NUESTRA PAGINA WEB PODRÁ ENCONTRAR:

**Noticias** del sector

Artículos **técnicos**

Números anteriores de la **Revista Mapping**

Fotografía y noticias curiosas en **“Por fin es viernes”**

Y mucho **más.**

## Conectese a nuestros canales de las Redes Sociales



**Facebook**

<https://www.facebook.com/mapping.interactivo>



**LinkedIn**

<https://www.linkedin.com/nhome/>



**Twitter**

<https://twitter.com/MappingInteract>



**Youtube**

<http://www.youtube.com/>

## MAPPING INTERACTIVO



91 301 05 64



91 746 70 06



655 95 98 69 / 638 71 89 34



C/ Jerez de los Caballeros 2. Ofi. 8A  
Madrid 28042  
España



[www.mappinginteractivo.es](http://www.mappinginteractivo.es)

# Geometría y control de calidad de infraestructura viaria de alta velocidad: Revisión de métodos y procedimientos constructivos

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 157, 46-60  
enero-febrero 2013  
ISSN: 1.131-9.100

Alonso Sánchez Ríos, Abel González Ramiro(\*)

## Resumen:

La calidad de las vías permiten a los trenes circular a la velocidad para la que fueron diseñadas, además de garantizar el confort y lo que es más importante: la seguridad. Esta calidad va a depender de dos factores: los materiales que la forman (y su conservación) y por otro lado la calidad geométrica de la misma, siendo ésta nuestro objeto de estudio.

En esta comunicación, pretendemos exponer las diferentes fases y procesos constructivos que se emplean en la implantación de infraestructura viaria, haciendo una revisión de los principales instrumentos y métodos de trabajo que se han utilizado en los últimos 25 años en los proyectos de implantación de líneas de ferrocarril de alta velocidad en nuestro país.

El instrumental y metodología utilizadas en estos trabajos ha variado desde las primeras experiencias llevadas a cabo en la línea AVE Madrid-Sevilla hasta nuestros días, desde los trabajos basados en replanteos por coordenadas hasta las nuevas propuestas basadas en instrumentación ideada específicamente para estos trabajos, como son los denominados "carros de vía", donde el posicionamiento 3D se realiza mediante estación total o por tecnologías GNSS.

**Palabras clave:** Alta velocidad, Bateadoras, Carros de vía, Control de calidad, Superestructura viaria, Metodología 3D, Vías ferrocarril.

## Abstract:

The quality of the tracks allow trains to travel at the for speed they were designed, beside to ensure the comfort and the most important: safety. This quality will depend on two factors: the materials that form (and their preservation) and on the other hand the geometric quality of the same, being the object of our study.

In this paper, we pretend present the different phases and construction processes used in the implementation of railways, doing a review the main instruments and methods of work that is come used in the past 25 years in the implementation design of lines high-speed rail in our country. The instrumentation and methodology used in this work have changed since the first experience carried out in the Madrid-Seville AVE line until our days, from the works based on stakeout by coordinates to the new proposals based instrumentation on designed specifically for this work as they are called "track trolley survey" where the 3D positioning is performed using total station or GNSS technologies.

**Keywords:** High speed, tamping machine, track trolley, quality control, road superstructure, Methodology 3D rail routes..

Alonso Sánchez Ríos  
Universidad de Extremadura,  
Centro Universitario de Mérida CUM  
schezrio@unex.es

Abel González Ramiro  
Universidad de Extremadura,  
Centro Universitario de Mérida CUM  
agramiro@gmail.com

Recepción 19/06/2012  
Aprobación 18/09/2012

## Introducción

La INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC) define "alta velocidad" a la combinación de todos los elementos que constituyen el "sistema" formado por: infraestructura, material rodante, y condiciones de funcionamiento, que permiten alcanzar velocidades superiores a 250km/h (en el caso de nuevas líneas) o velocidades superiores a los 220Km/h (en el caso de líneas acondicionadas). Es considerado como uno de los medios de transporte más seguros del mundo.

Los antecedentes sobre implantación de este tipo de líneas en nuestro país se remontan al 14 de abril de 1992, cuando con motivos de la Exposición Universal de Sevilla (Expo92) fue inaugurada la primera línea de alta velocidad en España: la LAV Madrid-Sevilla, con una longitud de 471 Km de vía de ancho internacional (1,435 m); la velocidad de circulación de hasta 300 Km/h permitía conectar ambas ciudades en un tiempo de 2 horas y 55 minutos, lo que supuso un cambio del concepto de transporte ferroviario en nuestro país, tradicionalmente considerado como impuntual y lento. A esto habría que añadir que tanto en España como en otros países, los servicios de alta velocidad son las unidades de negocio más rentables para los operadores públicos, permitiéndoles recuperar con ellas sus costes operativos aunque no los de infraestructura [ANG09], por lo que desempeñan un papel complementario y especializado frente al transporte aéreo y por carretera.

### El primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la entonces provincia de Cuba, en el año 1837

Desde esta fecha, se han venido realizando grandes esfuerzos inversores<sup>1</sup> que han hecho posible que la red de alta velocidad española sea la más extensa de Europa

<sup>1</sup> En abril de 1987, el Gobierno aprobó el Plan de Transporte Ferroviario (PTF), que constituye el primer instrumento de modernización del ferrocarril español. Posteriormente, el Plan Director de Infraestructuras (PDI) centró la planificación para el período 1993-2007 en una clara apuesta por la especialización del ferrocarril en las modalidades de alta velocidad, cercanías y transporte combinado, con un volumen medio anual de inversión de 215.000 millones de pesetas. Fuente: Secretaría de Estado de la Comunicación. Ministerio de la Presidencia, 2000

y la segunda del mundo, por detrás de China, superando a países con alta tradición en esta tecnología, como Japón o Francia, y que cuenta con casi 2900km de vía que conectan 23 ciudades, manteniendo el tradicional carácter radial, con centro en Madrid, que permite ahorros en la construcción y economías de escala en la explotación.

La red española de alta velocidad está dentro del diseño de la Red Transeuropea del Transporte, ya que desde su dorsal principal, basada en el eje Sevilla-Madrid-Barcelona-Frontera francesa, se define otro enlace europeo por Francia a través de Irún y una conexión con Lisboa (Portugal), a través de Badajoz (Figura 1).



Figura 1 Fuente: ADIF. Noviembre 2011.

Como ocurriera en toda Europa, los ferrocarriles españoles tienen su origen en el siglo XIX: El primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la entonces provincia de Cuba, en el año 1837; aunque en la España peninsular, la primera concesión fue el tramo Jerez-El Portal, sobre el río Guadalete, en 1829, no es hasta 1848 cuando se inaugura la primera línea de ferrocarril construida en la península Ibérica: la línea Barcelona-Mataró [RAF99] y tres años más tarde, la línea Madrid-Aranjuez. A partir de aquí, se ha configurado una amplia red ferroviaria que ha permanecido hasta nuestros días y cuya construcción ha requerido de gran cantidad de recursos financieros y ha estado ligada a los desarrollos técnicos de cada época, que han condicionado la forma de realización de los trabajos propios que suelen desarrollarse en materia de líneas de ferrocarril, entre los que podemos citar tres tipos bien diferenciados:

- Los trabajos de control de calidad de la vía.
- Los trabajos de rectificación y remodelación de vías existentes.
- Los trabajos de implantación de nuevas líneas de ferrocarril.

Los dos primeros grupos constituyen las tareas cotidianas de las administraciones ferroviarias y de empresas especializadas, y con ellos, se pretende garantizar el mantenimiento de las condiciones de seguridad y comodidad para el viajero y mercancías en las vías ya existentes. Estos trabajos suelen ser periódicos y realizados por equipos especializados.

---

Por otra parte, los trabajos de implantación de nuevas líneas de ferrocarril, forman parte de proyectos nacionales o incluso internacionales de gran envergadura, tanto en sus aspectos constructivos, como en otros de índole económico, social y político, y dadas sus características particulares, suelen ser ejecutados por empresas y grupos especializados en este tipo de infraestructuras

---

En todos estos trabajos se utilizan procedimientos y métodos de trabajo específicos que han ido variando a lo largo del tiempo debido bien a la introducción de mejoras en los instrumentos de trabajo o a la propia aparición de otros nuevos, que han modificado la forma de trabajar, los rendimientos y los resultados que se obtienen.

Si bien los métodos e instrumentos tradicionales han podido ser suficientemente contrastados en los numerosos trabajos ejecutados en diferentes períodos, son los nuevos métodos, los que basados en la incorporación de nuevos instrumentos al mundo ferroviario están en fase de estudio por parte de instituciones e investigadores que intentan dar respuesta a cuestiones como en qué fases resulta conveniente utilizar unos u otros, así como

cuáles son las ventajas de su utilización, sobre todo, si tenemos en cuenta que los métodos tradicionales no han desaparecido, sino que coexisten con los de reciente implantación.

En esta comunicación, se expondrán las diferentes fases y procesos constructivos que se emplean en la implantación y control de calidad de infraestructura viaria, haciendo una revisión de los principales instrumentos y métodos de trabajo que se venido utilizado en los últimos 25 años en los proyectos de implantación de líneas de ferrocarril de alta velocidad en nuestro país, en la que describiremos desde los métodos tradicionales hasta los de reciente implantación; por último, se redactarán una serie de recomendaciones generales en cuanto al tipo de metodología (o combinación de ellas) a utilizar en cada fase de trabajo o según la actuación que se vaya a realizar. Con ello, pretendemos cumplir con dos objetivos: el primero, consistente en redactar un documento que sirva de base al profesional que en un momento dado tiene que abordar algún trabajo en el ámbito ferroviario y no tiene unos conocimientos previos en esta materia; el segundo, dirigido a otros profesionales más experimentado y consistente en describir los nuevos métodos de trabajo para que los pueda tener en cuenta a la hora de tomar determinadas decisiones en cuanto a la elección de la metodología adecuada para cada trabajo, que redundará en el consiguiente ahorro de costes y la mejora de operatividad.

## El Proyecto

Como en todas las obras de ingeniería, el proceso de implantación de una nueva línea de ferrocarril comienza con la realización de varios anteproyectos que pretenden dar solución a una serie de necesidades de la sociedad. De entre las distintas soluciones aportadas, se escogerá una, que una vez perfilada y estudiada en cada uno de sus aspectos relevantes, constituirá el proyecto definitivo de construcción.

Este documento gráfico-literal, describe e identifica sobre el papel cada uno de los elementos que deberán materializarse en el terreno para que lo proyectado tome forma en la realidad. El primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la entonces provincia de Cuba, en el año 1837.

Las diferentes fases de ejecución de la obra van desde la implantación de la cartografía base, incluyendo las redes topográficas de apoyo, hasta la recepción de la misma o puesta a punto [REN93].

Una de las fases más importantes en los grandes proyectos de ingeniería, como son las líneas de ferrocarril, es la implantación de un sistema de coordenadas adecuado, que no tenga saltos ni discontinuidades planimétricas ni altimétricas, debido principalmente a que suelen ser redes de gran longitud, que pueden alcanzar los 450km de longitud, como es el caso de la "LAV Madrid - Extremadura - Frontera Portuguesa", e incluso en un futuro podría llegar a discurrir por dos países distintos con diferentes "Sistemas de Referencia".

## Una de las fases más importantes en los grandes proyectos de ingeniería, como son las líneas de ferrocarril, es la implantación de un sistema de coordenadas adecuado

La bondad de las Bases de replanteo sobre las que nos apoyaremos para replantear y comprobar las vías (superestructura) va a depender en gran medida de la calidad de nuestra "Red Inicial". Para el caso concreto de la LAV Madrid - Extremadura - Frontera Portuguesa se ha procedido de la siguiente forma:

- **Planimetría:** La observación y cálculo de la red planimétrica se realiza por tecnologías GNSS, apoyándonos en vértices geodésicos pertenecientes a la "Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE), los cuales tienen una precisión absoluta igual o mejor que 5cm, además de tener una serie de características que la hacen idónea para este proyecto [FOM12-1]. Una de las vicisitudes que nos encontramos es que muchos de los proyectos anteriores a 2008 se redactaron en el sistema ED50 (European Datum 1950) y los actuales se redactan en el ETRS89 debido al "REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio de 2007, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España".
- **Altimetría:** La altimetría de las bases que conforman la

RED INICIAL O DE APOYO para toda la obra procede de la REDNAP (Red Española de Nivelación de Alta Precisión), Las líneas que conforman esta red arrojan un residuo promedio de 0,16 ppm [FOM12-2], proporcionando una garantía y seguridad en la asignación de altitudes ortométricas. Las observaciones de nuestra red se realizan con niveles automáticos de código de barras, con itinerarios dobles de ida y vuelta observados por el método del punto medio.

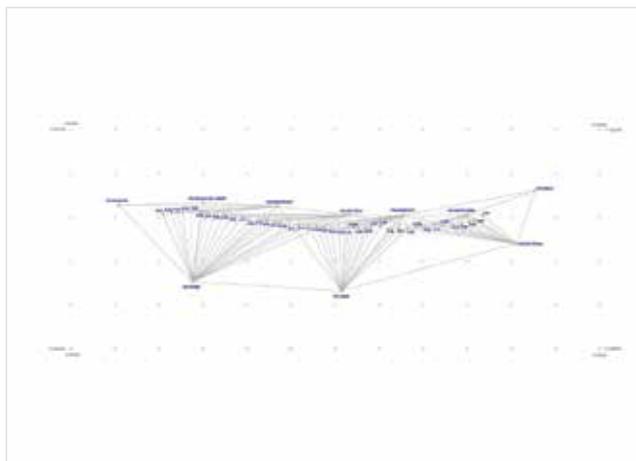


Figura 2. Red Planimétrica: AVE Madrid-Extremadura (Subtramo Mérida-Badajoz).

De esta forma, tendremos distribuidos por toda la obra una serie de puntos con coordenadas X,Y,Z de precisión que servirán a los equipos topográficos para, desde ellos, realizar todos los replanteos y controles necesarios para la ejecución de la obra, y que suelen denominarse bases de replanteo.

En algunos Estados como el Reino Unido, en concreto para la línea de ferrocarril que une Glasgow (Escocia) y Londres (Inglaterra) con una longitud de 650Km, han apostado por la creación de un software específico, que consiste en adaptar una proyección de forma que el factor de escala (también de altura) sea mantenido durante varios kilómetros, solventando así problemas de continuidad y saltos [ILI07].

El ignorar los aspectos comentados anteriormente, ha venido produciendo innumerables problemas en la ejecución de obras lineales de gran envergadura, pues al no tenerse en cuenta las prescripciones descritas, realmente, no existe una correspondencia real entre la cartografía del proyecto y la red de bases de replanteo, lo que produce que la exactitud posicional de los elementos replanteados no sea la correcta. Esto ha dado lugar a

soluciones sesgadas que de ninguna forma pueden ser aceptadas para un proyecto de implantación de una línea de ferrocarril, donde la exactitud posicional de los elementos que la conforman, debe estar totalmente garantizada.

## La geometría

Las características geométricas tanto en planta como en alzado de los trazados de las líneas de ferrocarril, están condicionadas por aspectos como el cumplimiento de unas determinadas condiciones de comodidad para el viajero y el establecimiento de unas condiciones de seguridad para la circulación de vehículos.

Las características geométricas tanto en planta como en alzado de los trazados de las líneas de ferrocarril, están condicionadas por aspectos como el cumplimiento de unas determinadas condiciones de comodidad para el viajero y el establecimiento de unas condiciones de seguridad para la circulación de vehículos

Como consecuencia de satisfacer estas condiciones, los trazados de las líneas de ferrocarril, en especial los de velocidades altas, se caracterizan por:

- En planta, utilización de grandes radios para los acuerdos horizontales, que amortigüen los efectos de la aceleración transversal de los vehículos ferroviarios al entrar en las curvas, o ya dentro de ellas. Esto implica radios mínimos de entre 2000 y 4000 metros, dependiendo de la topografía del terreno.
- Rasantes con escasa pendiente (en torno al 12‰) y con curvas de acuerdo muy grandes (en torno a los 24.000 m).
- Sección tipo formada por (Figura 3) :
- Vía formada por carriles tipo UIC 60, de 60 Kg/ml, con carriles duros y resistentes al desgaste.
- Traviesa tipo Dwydag monobloque.
- Capa superficial de balasto granítico de machaqueo,

con un espesor constante de 30 cm, que evitará asientos diferenciales a lo largo del trayecto.

- Bajo el balasto va una capa de subbalasto (mezcla de 70% de material de machaqueo con 30% de suelo arenoso) con bombeo del 4%.
- Bajo el subbalasto va la capa de forma, de espesor variable (hasta 60 cm) compuesta de materiales seleccionados. Esta es opcional y dependerá del material del núcleo del terraplén.

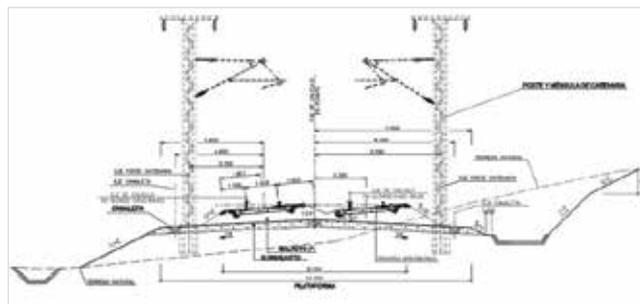


Figura 3. Sección tipo: LAV Madrid-Extremadura.

Al conjunto capa de forma y subbalasto se le denomina PLATAFORMA, y tiene su justificación en que una vía destinada a la circulación de trenes de alta velocidad ha de mantener con el tiempo su regularidad geométrica, con tolerancias mínimas. Para ello, es necesario que el conjunto balasto-vía se apoye sobre un soporte resistente y con un buen comportamiento frente a la acción del agua. Al conjunto balasto-vía se denomina SUPERESTRUCTURA.

## La ejecución

Desde las bases de replanteo establecidas anteriormente, se realizarán las distintas labores topográficas necesarias para la ejecución y control de la obra, como:

- Replanteo de los puntos del eje mediante el estaquillado de puntos cada 20m, que definirán la traza de la plataforma donde irá instalada la estructura viaria.
- Levantamiento topográfico de la zona de actuación de la obra; se suele tomar un sobrecancho por los posibles cambios que pudiera sufrir el trazado original de proyecto.
- Una vez tomado el terreno, mediante programas de cálculos de trazado de obra civil (Clip, Ispol, Mdt, Inroad, etc.), se recalcula el proyecto: movimientos de tierra, pies y cabezas de talud, obras de drenaje, estructuras, etc.
- Se marcan en campo mediante estaquillado aquellos

elementos necesarios para la ejecución de las obras, como: líneas límite de expropiación, cabezas y pie de talud, inicio y final de obras de drenaje, zapatas de estructuras, etc.

- Replanteo selectivo de elementos puntuales para realización de controles periódicos por parte de las empresas consultoras, con el fin de comprobar la exactitud posicional de los elementos constructivos ejecutados, y que éstos se ajustan a las condiciones del proyecto.
- A medida que se va avanzando en la obra se van destruyendo y reponiendo bases de replanteo.
- Generalmente es, entre la fase de coronación de tierras y el extendido de subbalasto cuando se colocan los hitos a lo largo de la traza (Figura 4). Las características que han de cumplir vienen recogidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas particulares (PPTP) del administrador ferroviario, para el caso de España es ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias). Estos hitos son los encargados de mantener el sistema de referencia desde el principio de la obra hasta sus últimas fases.



Figura 4. Imagen izquierda: vértices utilizados para materialización de superestructura. Imagen derecha: hitos kilométricos.

- Una vez hemos llegado a la capa de coronación, se debe de haber creado una red de nivelación ajustadas al PPTP. Estas bases de nivelación aseguran la correcta ejecución de la capa de subbalasto (aseverando tanto el espesor que le corresponde como las pendientes longitudinales y transversales), además servirán de apoyo a la ejecución de la capa de balasto.
- Una vez extendida la capa de subbalasto, colocados la canaleta, los cerramientos, etc., podemos dar por

finalizados los trabajos de materialización de la plataforma.

- Previo a los trabajos de materialización de la superestructura, debemos distribuir una serie de vértices a lo largo del trazado, a ambos lados de la vía, a distancias no superiores a 300m., a los que se le asignarán coordenadas desde los hitos que fueron materializados con anterioridad (Figura 4.)

#### La ejecución de la “superestructura”:

Las características propias de una línea de ferrocarril de alta velocidad hacen que se deban extremar las precauciones en la implantación de la superestructura, pues se exige el cumplimiento de grandes exactitudes posicionales, tanto en planta como en alzado. La ejecución y puesta en obra de la superestructura se realiza de la siguiente forma:

- Desde las bases de replanteo, hitos y vértices se procede a la materialización de unas referencias denominadas PIQUETES, constituidos por trozos de hierro de sección angular hincados en el suelo y hormigonados, situados a una distancia constante del eje de entrevías y a ambos lados de la plataforma. Llevarán un corte de sierra o rotulado con un marcador tipo fixolid o similar, que señalará la cota del carril en cada punto (dato que se obtiene mediante una nivelación geométrica). Situados estos elementos externos a lo largo de toda la traza de la obra, disponemos ya de las referencias planimétrico-altimétricas para el montaje de la superestructura de vía (Figura 12), este método de trabajo fue el utilizado en la LAV Madrid-Sevilla [SAN90].
- El balasto llega al tajo en camiones acopiándose en cordones que posteriormente serán extendidos con motoniveladora y apisonado con rodillo convencional pero sin vibración. Se formará así una capa nivelada (con referencia en los piquetes) de 15 cm de espesor en la que se practicarán dos surcos longitudinales coincidentes con los ejes de las futuras vías, que servirán para garantizar un correcto apoyo de las traviesas en la fase de montaje.
- Sobre esta capa de balasto, se procede al tendido de una vía denominada vía auxiliar, formada por traviesas de madera y carriles de segundo uso, que servirá para que las plataformas ferroviarias transporten el material de la vía (carril, traviesas y aparatos) hasta los tajos.
- Se sigue con el montaje de la vía, que está totalmente

mecanizado, y que consta de las siguientes fases:

- Descarga y posicionamiento de barras largas con ayuda de pórtico situado sobre tren carrilero (Figura 5).
  - Desmontaje de la vía auxiliar y avance de la misma mediante pórticos de orugas.
  - Colocación de traviesas de hormigón sobre el balasto mediante pórtico que se traslada sobre las barras largas posicionadas según el punto primero.
  - Colocación de los carriles sobre las traviesas mediante máquina posicionadora.
  - Fijación de los carriles a las traviesas mediante máquina motoclavadora.
- El siguiente proceso, terminado el montaje de la vía, es la correcta nivelación y alineación de la misma, así como completar y perfilar la banqueta de balasto.

Estas operaciones se consiguen en tres secuencias repetidas, con las que conseguiremos levantar la vía 15 cm en total (recordemos que la capa de balasto era de 30 cm, según la sección tipo, y hasta ahora hemos extendido sólo 15 cm). Por tanto, en cada secuencia, y siempre refiriéndonos tanto planimétrica como altimétricamente en los piquetes replanteados desde las bases de replanteo, las operaciones a seguir son las siguientes [SAN00], [HIG12]:

- Vertido de balasto desde vagones-tolva que circulan sobre la vía recién montada.
- Reparto del balasto vertido, uniformemente mediante máquina perfiladora.
- Alineación y nivelación de la vía mediante máquina bateadora. Esta operación es la más delicada en cuanto a la geometría de la vía se refiere y se realiza mediante un equipo óptico informatizado del que dispone la máquina bateadora, y siempre refiriéndose a los datos planimétricos y altimétricos que proporcionan los piquetes (Figura 6).
- Soldadura de juntas alternas mediante procedimientos aluminotérmicos.
- Liberación de tensiones por tramos.
- Soldadura de las juntas no soldadas en el punto 4.
- Estabilización de la vía mediante máquina estabilizadora, que transmite a la vía una fuerza vibratoria para consolidar la banqueta de balasto.

Una vez realizados estos procesos, podemos dar por

concluido el montaje completo de la superestructura de vía (Figura 7); no obstante, quedarían pendientes las labores de control de calidad de la vía en cuanto a sus aspectos geométricos, para lo cual se seguirán las instrucciones que a tal efecto publica ADIF.

## El control de calidad

Al igual que en cualquier proceso de fabricación o construcción actual, podemos distinguir dos fases o estados diferenciados:



Figura 5. "Tren carrilero" circulando sobre vía auxiliar. LAV Madrid-Sevilla.



Figura 6. Máquina bateadora en pleno trabajo. LAV Madrid-Sevilla.

- El estudio de la calidad de la vía en las nuevas ejecuciones, donde comprobaremos si se cumplen los límites de aceptación o las tolerancias impuestas según las condiciones geométricas del proyecto en cuestión.

- Este no es un procedimiento finalista, sino que forma parte de todo un proceso de control perfectamente delimitado en distintas fases de las obras hasta que se firma el acta de recepción definitiva de la vía.
- El mantenimiento y control periódico de la vía, que constituye todo un proceso de remodelación de la vía existente hasta que cumpla los parámetros geométricos y de calidad originales. En este caso, podemos hablar de un mantenimiento cíclico, en el que dependiendo del estado de la vía se procede a la ejecución de un conjunto de operaciones para estimar y restablecer en su caso los parámetros de calidad [AEN11]. También podemos considerar otro método denominado mantenimiento según estado, en el que una vez diagnosticadas las irregularidades de la vía, se procede a la corrección de éstas.

Corresponde a la administración ferroviaria tomar la decisión de implantar el sistema de mantenimiento y control de la calidad de la vía, estableciendo los parámetros de tolerancia permitidos.



Figura 7. Aspecto de la línea terminada, con toda la infraestructura viaria. LAV Madrid-Sevilla.

Si nos hacemos la pregunta de por qué se degrada la geometría de la vía, en un principio podemos encontrar, entre otras, tres causas principales:

- Las condiciones climáticas.
- La dispersión de las capas de asiento (balasto y subbalasto) y plataforma.
- Las acciones dinámicas propias de la explotación.

Estos factores, inciden directamente sobre la geometría

inicial de la vía, produciendo en los vehículos que circulan sobre ella efectos no deseados, como son efecto de galope, balanceo o movimiento de “lazo”, que a su vez, afectan de manera decisiva a las condiciones impuestas de velocidad, seguridad y confort, produciendo incluso en condiciones extremas, situaciones de peligro para la circulación.

El análisis de la calidad de la vía se hace a nivel global mediante los índices de calidad y la obtención de la calidad media de la vía; resulta evidente que para la obtención de éstos necesitamos la evaluación puntual de determinados aspectos geométricos de la misma [REN85], como son:

- Medición de la alineación de la vía, tanto en recta como en curva
- Medición del ancho de vía
- Comprobación de la nivelación longitudinal
- Comprobación de la nivelación transversal

Los dos primeros son parámetros geométricos horizontales, y los dos últimos son parámetros geométricos verticales.

---

**La medición de estos parámetros puede realizarse principalmente de tres formas claramente diferenciadas en cuanto a su metodología, pero que en la mayoría de los casos se complementan**

---

Estos métodos son:

- Los métodos “manuales”
- Los métodos “mecánicos”
- Nuevos métodos: “carros de vía”

De entre estos tres métodos, los “manuales” y los “carros de vía”, suelen emplearse en actuaciones concretas o cuando no es rentable o posible la utilización de los métodos mecánicos, caracterizados por su gran rapidez y precisión. En la Tabla 1 se representan un estudio comparativo entre ambos métodos realizado por el Dr. Gérard Presle Head en Austria [PRE00].

	Método manual	EM SAT
Nº de vigilantes	2-3	0
Nº de observadores	1	1
Personal de topografía	3	2
Velocidad de medición	0,5 km/h (alineación)	2,5Km (medición simultanea)
	0,7 Km/h (nivelación)	
Precisión (desviación estándar)	2-3mm	< 1mm
Modo de grabación	Manual	Electrónica

Tabla i. Comparativo entre vehículos de control y métodos manuales. Tomado de [pre00]

Para la medición de los parámetros geométricos de la vía de forma automática se utilizan vehículos de control (Figura 8) que disponen de aparatos de medida basados en palpadores, captadores de tipo óptico, medición a piquetes, ejes telescópicos, GPS, etc. , conectados a analizadores numéricos informáticos que realizan la medición de forma continua y con gran precisión [SAN01], con un gran ahorro de tiempo y costes.

Estos vehículos de control presentan los resultados de la medición en tiempo real, con salida desde una impresora conectada al analizador numérico informático. Entre estos resultados se encuentran para cada parámetro medido: nivelación longitudinal, alabeo, ancho, nivelación transversal y alineación, aquellas muestras que superan los límites establecidos, indicando el punto kilométrico donde se registró, así como su magnitud (expresada en mm). También expresan el índice de calidad de cada parámetro, así como el índice de calidad del tramo.

Con el conocimiento de estos datos, se puede valorar el estado de la geometría de la vía y establecer los planes de conservación necesarios por la Administración competente.



Figura 8. Vehículo de control, modelo Plasser&Theurer. Fuente: <http://www.plasser.co.uk/>

En la ejecución de nuevas vías, como es el caso de la Alta Velocidad, los vehículos de control van incorporados a las máquinas bateadoras garantizando su precisión y una mayor producción y rentabilidad. Este tipo de maquinaria tiene grandes ventajas: medición y corrección de la vía en una sola pasada (no hay que realizar medición en una pasada previa). Una vez que la máquina bateadora ha realizado los trabajos de alineación y nivelación, proporcionará un listado con las diferencias entre lo ejecutado y lo proyectado. El modo de funcionamiento dependerá de la casa comercial, a continuación se muestran dos ejemplos:

- Guiado por observación a puntos de coordenadas conocidas, como es el caso del modelo B 41 UE TAMPER (<http://www.sersa-group.com/prospekt-palas-de-ens.pdf>) de la marca MATISA. El funcionamiento de esta maquinaria se basa en la observación a puntos fijos con coordenadas, como pueden ser los vértices o bulones incrustados en los postes de la catenaria. Este sistema se inició en Suiza sobre 1994, después llegó a países como Francia (2004), Gran Bretaña (2006) e Italia (2007).
- Vehículo de guiado por GPS y observación a piquetes: caso de los modelos EM-SAT de la casa Plasser&Theurer (Figura 9). El sistema de medición es muy similar al descrito anteriormente, pero en lugar de llevar el sistema de observación incorporado a la propia bateadora, es independiente. El vehículo de medición está compuesto por dos vehículos, uno de cuatro ejes (principal) con cámara receptora laser y otro mas pequeño que lleva incorporado un GPS que a su vez le transmite los datos de posición al principal; para que

el rango de precisión de este equipo sea superior los dos centímetros ha de disponer de un GPS de referencia a una distancia no superior a 20km. Para calcular la posición absoluta del vehículo los nuevos equipos tienen la opción de “medición a piquete”, de esta forma realiza observaciones sin prisma a puntos de coordenadas conocidas, ya sean bulones incrustados en las catenarias, piquetes o vértices distribuidos a lo largo de la obra (cada 300m).



Figura 9. Lector de piquetes en modelo em-sat plasser&theurer. Fuente: <http://www.plassertheurer.com/es/>

## Revisión de los métodos y procesos topográficos en los trabajos de ejecución y control de calidad en las vías del ferrocarril

En este apartado se van a enumerar las diferentes formas de llevar a cabo los replanteos y controles de calidad, haciendo una distinción entre los métodos manuales que se están utilizando hasta ahora y los nuevos métodos (carro de vía).

### Método de flechado y uso de regla de anchos y peraltes:

Ambos métodos son considerados como técnicas semitopográficas o manuales. El flechado consiste en medir la flecha de la vía que definen dos puntos en la cara activa del carril a una distancia determinada. Para ello se utilizan las asas de flechado y el metrado de la vía (marcaje kilométrico de la misma) (Figura 10.)

La comprobación de anchos y peraltes se realizan a la par con bastante precisión utilizando las “reglas de anchos”

(aconsejable digitales) (Figura 11). Su manejo es bastante sencillo: la parte fija se coloca sobre un carril y la parte móvil sobre el otro hilo; dispone de unos marcadores o bulones que se apoyarán sobre la parte interior del hilo, midiendo así la distancia entre ellos, una vez nivelado también podremos obtener el valor del peralte de la vía.

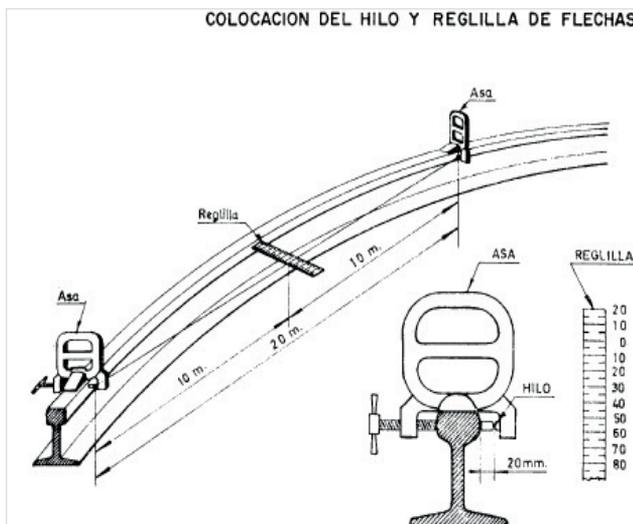


Figura 10. Edición de flechado. Fuente: normativa RENFE.



Figura 11. Regla de anchos. Fuente <http://www.prosutec.com/>

### Replanteo con “Estación Total”, GPS y nivelación:

El replanteo de piquetes se llevará a cabo por técnicas GPS, y la calidad del replanteo dependerá de varios factores [PIR07].

Al hincar y hormigonar el piquete no quedará en la posición en la que fue replanteado y en consecuencia habremos perdido la referencia a la vía. Para ello se hace una marca con puntero (o granetazo) en la parte superior del piquete. (Figura 12.) Este granetazo será observado con estación total topográfica desde los “vértices” situados a lo largo de la obra; las coordenadas obtenidas son volcadas a programas de trazado como Istram-Ispol, Clip, MDT, Inroad, etc., consiguiendo así la referenciación de los piquetes al trazado de proyecto. El rendimiento medio podemos cifrarlo en 2-3 Km/día, aunque dependerá del número de operarios.

La referenciación altimétrica de la vía queda reflejada en los piquetes mediante cortes de sierra o con un marcador

tipo fixolid o similar, que hacen referencia al hilo bajo. Para tramos en curva se hacen dos marcas, las correspondientes al hilo bajo e hilo alto, o bien se rotula el valor del peralte en el piquete. La cota es asignada mediante nivelación geométrica, siendo bastante recomendable empezar y acabar en los vértices o bulones de la catenaria.



Figura 12. Piquetes y vértices. LAV Madrid-Valencia Gabaldón Cuenta Siete Aguas Valencia

En el control de calidad de la ejecución de la vía se diferencian dos fases:

- Comprobación planimétrica: Consiste en medir la distancia lateral desde la cara inactiva del carril a los piquetes o en su defecto a los bulones de catenaria. También se pueden realizar mediciones con estación total topográfica desde los vértices, aunque es menos usual.
- Comprobaciones altimétricas: Es necesario que la vía esté metrada, para que luego, mediante nivelación geométrica obtengamos las cotas de cada punto marcado, que podrán ser comparadas con las de proyecto.

## Nuevos métodos de replanteo y control de calidad de las vías: Carros de vía

El carro de vía es considerado como un “sistema avanzado de medición y auscultación de vía”, está compuesto por un carro generalmente en forma de T y sus principales

componentes son [GIK08] (Figura 13):

- Indicador de ancho variable de alta precisión, para determinar los valores del ancho de vía.
- Inclínómetro biaxial o sensor de inclinación, para determinar la pendiente transversal (peralte) y longitudinal.
- GPS: Doble frecuencia en tiempo real cinemático (RTK). Para trabajar en tiempo real se conecta mediante radiomodem con el equipo de referencia para recibir las correcciones necesarias; la antena suele ir en la base del equipo.
- Portaprisma: lleva incorporado un portaprisma de forma que pueda ser leído por estaciones automáticas en zonas donde no se puede trabajar con receptores GNSS, como sucede en los túneles. Funciona a modo de radiación, en el que la estación estará posicionada en un punto de coordenadas conocidas, desde el que se obtendrán las coordenadas absolutas de las distintas posiciones observadas.
- Coordinated Universal Time (UTC): Reloj que coordina las observaciones.
- Ordenador de abordó: Donde se memorizan las observaciones, se muestran los resultados directamente en pantalla: observaciones, trazado en planta, altimetría, Estado de peraltes, sobrecanchos, perfiles, escaneados, diferencias con proyecto, etc. Todo dependerá del software del que disponga.

Adicionalmente pueden llevar lo siguiente:

- Odómetro: para saber la distancia recorrida por el vehículo.
- Perfilómetro: para tomar perfiles de forma automatizada; los perfiles aparecen en tiempo real en la pantalla del ordenador de a bordo. Estos perfilómetros pueden tomar hasta 60 puntos por minuto y alcanzar precisiones de hasta 3mm de precisión como es el caso del GRP 3000. Fuente: [AMB12-1].
- Escáner láser : puede llegar a alcanzar precisiones en observaciones a puntos individuales de 5mm, con lecturas de hasta 20.000 puntos por sección y con un alcance aproximado de 80m, aunque para medidas de precisión se aconsejan observaciones no superiores a los 52m. Estos escáneres son ultrarrápidos, con una velocidad que pueden alcanzar los 100Hz. Fuente: [AMB12-3].

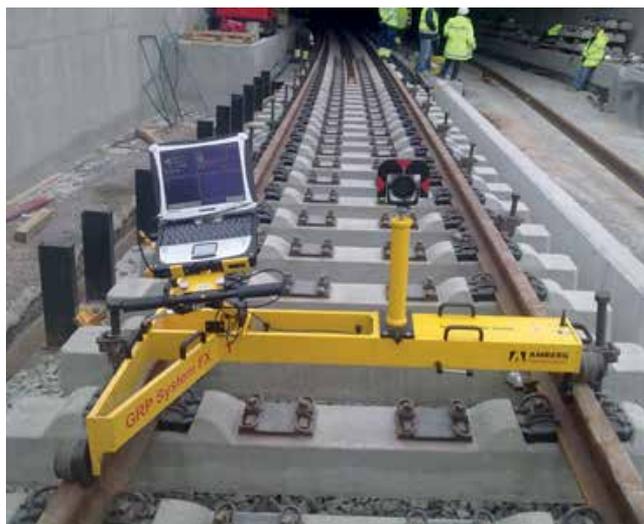


Figura 13. Carro de vía. fuente: <http://www.leica-geosystems.es/>

### Métodos de medición del Carro de Vía:

Se pueden distinguir dos tipos de métodos de medición:

- **Absoluto:** La base de este método consiste en saber en todo momento las coordenadas absolutas con precisión del carro de vía, ya sea mediante mediciones GPS o por Estación Total. Este método es utilizado para obras de nueva ejecución donde la obra está perfectamente referenciada mediante bases de replanteo, vértices y en los bulones embutidos en los postes de la catenaria.
- **Relativo:** En ocasiones no existen puntos de coordenadas conocidas a lo largo de la obra a tratar, como suele suceder por ejemplo en los trabajos de renovación de vías. En este caso entran en funcionamiento los elementos básicos del carro de vía: el “odómetro” o “giróscopo”, sensores de inclinación y medidores de alineación, todas las mediciones se referencian a un punto origen, siendo tratadas mediante software específico [GAO10] [GIK12]. La calidad de estas observaciones es muy reducida, por lo que debe limitarse su uso a este tipo de actuaciones.

### Calidad de las observaciones y rendimientos medios:

Las precisiones alcanzadas con estos instrumentos están avaladas por los diferentes estudios que realizados por investigadores, empresas y organismos, tanto nacionales como extranjeros. Entre los más significativos, exponemos los siguientes:

- Burak Akpınar y Engin Gülal (2012), después de un riguroso estudio realizado sobre un tramo de pruebas

(Turquía), contrastan los datos obtenidos con el carro de vía y con los reales, y comprueban que las precisiones obtenidas cumplen con la normativa UIC (International Union of Railways) tanto para vía sobre balasto como para vía en placa. Remarcan que las observaciones con estación total topográfica (Tabla II) son más precisas que las realizadas con GPS (Tabla III) (Akpınar and Gulal 2012), teniendo unos rendimientos medios de unos 100m en 10 minutos para la toma de datos y otros 10 minutos para su tratamiento; es decir, unos 2-3 Km por día de trabajo.

Parámetro	Max. (mm)	Min. (mm)	Media (mm)	Desviación estándar (mm)
Horizontal	4.7	0.1	1.6	0.9
Elevación	3.0	-3.1	-0.1	1.5

Tabla ii. Precisión con estación total. Fuente: [akp12].

Parámetro	Max. (mm)	Min. (mm)	Media (mm)	Desviación estándar (mm)
Horizontal	15.1	0.5	6.8	3.1
Elevación	21.5	-17.3	2.2	8.5
Ancho	1.2	-0.9	0.4	0.6
Peralte	4.1	-1.6	1.0	1.4
Pendiente (grados)	0.36	-0.23	0.12	0.04

Tabla iii. Precisión con GPS. Fuente: [akp12].

- V.Gikas (2005) realiza un contraste entre los métodos tradicionales y el carro de vía durante la construcción del tranvía moderno de Atenas [GIK05]. Referente a la calidad asevera que las discrepancias entre ambos

métodos son ínfimas, haciendo hincapié en la importancia de la red principal en la que se apoya. En lo concerniente a la producción aconseja alternar entre ambos métodos.

- La empresa Amberg Technologies AG, realizó la medición del gálibo del “Metro de Toronto” (Canadá) combinando el carro de vía con escaneos mediante laser [TEC08]. Las precisiones del escaneo rondan los 10mm. Los tiempos de producción empleados son los siguientes: Fase1: 6,6km en 5horas, Fase2: 15km en 11horas, Fase 3: 24km en 26horas. Esta empresa también es conocida por haber realizado trabajos de relevancia como los realizados en el control y seguimiento en los túneles de la línea de alta velocidad Nuernberg–Ingolstadt (Alemania-2005) y en el Metro de Londres en 2009.
- Spitzke Se y Falko Soffner, después de haber utilizado el “carro de vía” en la renovación de vía entre las ciudades de Sontra y Cornberg en Alemania Central, alcanzaron rendimientos medios entre 1200m/h y 1500m/h; destacan que se eliminaron los usuales errores humanos en el cálculo de datos [CON12].
- Casas comerciales:
  - Amberg Technologies aseguran una precisión para guiado con estación total (Amberg Survey Basic GRP 1000) mayor a  $\pm 5\text{mm}$  y para GPS  $\pm 20\text{mm}$  (en planimetría) y  $\pm 40\text{mm}$  en altimetría. Con un rendimiento aproximado de 800 a 1200 m/h para Estación Total y de 3000 m/h para guiado con GPS [AMB12-2].
  - Carttop garantiza que el “R500” precisiones de hasta  $\pm 1\text{mm}$ , aconsejado su uso sobre los métodos topográficos o semitopográficos [CAR12].
  - RM3DLIGHT de la casa Trimble (AI-top), en su ficha técnica ofrece las siguientes precisiones en sus mediciones: ancho de vía:  $\pm 0.2\text{mm}$ , peralte  $\pm 0,1\text{mm}$  y odómetro:  $\pm 2.5\text{mm}$  [TOP12].

## Conclusiones y recomendaciones

En obras de grandes infraestructuras con largos recorridos, varios años de duración y en las que suelen estar implicadas distintas empresas constructoras y de ingeniería, la estabilidad y continuidad posicional de los distintos elementos que conforman la obra debe estar

garantizada. Para que esto sea así, independientemente de los instrumentos y métodos que se utilicen para la ejecución y control de la superestructura de vía, es necesaria la implantación de una “red topográfica planimétrica” suficientemente densa que garantice el trabajo en el mismo sistema de coordenadas durante la ejecución de la obra en sus diferentes fases; esta red, que en las primeras experiencias de la LAV Madrid-Sevilla se fue realizando por tramos mediante las observación de poligonales de precisión, actualmente se observa mediante tecnologías GNSS y su materialización es uno de las fases más importantes y delicadas en este tipo de trabajos. La misma importancia tiene el establecimiento de una “red altimétrica” que garantice la tercera coordenada en todos los elementos de la obra, pero sobre todo en las cotas de terminación de las vías de la superestructura. En este caso, aunque no han variado los métodos, sí lo han hecho los instrumentos, como los niveles automáticos digitales de código de barras, que facilitan enormemente las observaciones y minimizan la posibilidad de equivocaciones.

Una vez implantadas las redes topográficas de apoyo, el transcurso de las obras hasta la finalización de la plataforma es similar a la empleada en la ejecución de otras vías de comunicación, por lo que está suficientemente contrastada; sin embargo, es en la fase de ejecución de la superestructura en la que las distintas situaciones, fases o tipos de trabajos, harán que tengamos que elegir entre unos métodos e instrumentos u otros, o bien una combinación entre ellos, siempre atendiendo a la mejora del rendimiento y ahorro de costes y al cumplimiento de las precisiones exigidas. Para ello, haremos la división siguiente:

a) Trabajos para la implantación de nuevas líneas de ferrocarril: el caso más común es la ejecución de la vía sobre la capa de balasto; el acopio y reparto de este material se realiza tomando como referencia (tanto en planimetría como en altimetría) los piquetes que previamente se han replanteado a ambos lados de la plataforma. Posteriormente, para la alineación y nivelación de las vías se recomienda el uso de máquinas bateadoras que disponen de sistemas de medición y guiado automatizado, por lo que no se necesitan más datos ni referencias adicionales que los de los piquetes y los propios datos geométricos del proyecto.

El control de calidad de la vía ejecutada se puede realizar a partir de los listados de resultados que ofrecen las propias máquinas bateadoras, en los que aparecen las diferencias entre las posiciones de la vía ejecutada y la proyectada y por consiguiente, los tramos que cumplen o no con las precisiones requeridas. Para grandes longitudes de vía es recomendable el uso de esta metodología. Otro tipo de trabajos son los de sondeos puntuales de pequeños tramos que pueden oscilar desde los 100 a 200 metros en los que se emplean los "métodos manuales", topográficos o semitopográficos. A medida que aumenta la distancia de sondeo dejan de ser recomendables estos métodos y empieza a tomar peso la opción del carro de vía.

En tramos urbanos y en túneles, con el fin de reducir la emisión de ruidos y las vibraciones, cada vez se está extendiendo más el montaje de la vía sobre placas de hormigón o asfalto en sustitución del balasto, que se conoce como montaje de vía en placa; en este caso, es recomendable la combinación de dos métodos para la implantación de la vía: la utilización de los métodos topográficos, consistentes en replanteos con estación total y nivelación con nivel automático digital y el empleo del carro de vía. También emplearemos el carro de vía para realizar los controles de calidad, sobre todo, en el interior de túneles, donde además de medir los parámetros de vía se mide el gálibo, para lo que se utilizará la opción de acoplarle un perfilómetro o un escáner láser.

b) En los trabajos de rectificación y remodelación de vías existentes, dependiendo de la longitud el tramo pueden utilizarse desde los propios métodos topográficos, en pequeñas actuaciones, hasta los métodos mecánicos, cuando las longitudes son grandes. Para actuaciones intermedias, se recomienda el uso del carro de vía.

## Referencias

- [AEN11] Aenor. *Railway applications. Track. Track geometry quality. Part 5: Geometric quality levels. Plain line.* UNE-EN 13848-5:2009+A1 2011, 8-16.
- [AKP12] Akpınar, Burak, and Engin Gulal. *Multisensor Railway Track Geometry Surveying System.* IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT 61, 2012, 190-197.
- [AMB12-1] Amberg Technologies AG. *Amberg Clearance Basic GRP 3000.* <http://www.ambergtechnologies.ch/2012a>, 1-2. Available from world wide web: <[http://www.ambergtechnologies.ch/fileadmin/amberg\\_technologies/documents/Rail/weitere\\_Sprachen/ES\\_datasheet\\_clearance\\_basic.pdf](http://www.ambergtechnologies.ch/fileadmin/amberg_technologies/documents/Rail/weitere_Sprachen/ES_datasheet_clearance_basic.pdf)>.
- [AMB12-2] Amberg Technologies AG. *Amberg Survey Basic GRP 1000. Amberg Survey Basic / GRP 1000 2012b*, 1-2. Available from world wide vweb: <<http://www.ambergtechnologies.ch/en/products/rail-surveying/amberg-survey/>>.
- [AMB12-3] Amberg Technologies AG. *GRP 5000.* <http://www.ambergtechnologies.ch> 2012c. Available from world wide web: <[http://www.ambergtechnologies.ch/fileadmin/amberg\\_technologies/documents/Rail/EN\\_datasheet\\_clearance\\_plus.pdf](http://www.ambergtechnologies.ch/fileadmin/amberg_technologies/documents/Rail/EN_datasheet_clearance_plus.pdf)>.
- [ANG09] Angoiti, Ignacio Barrón De, Javier Campos Méndez, and Ginés De Rus Mendoza. *El transporte ferroviario de alta velocidad (una visión económica).* Fundación BBVA 2009.
- [CAR12] Carttop proyectos. *Innovación ferroviaria en productos para el control geométrico de la vía.* In VI CONGRESO DE INNOVACIÓN FERROVIARIA, 16, [MALAGA], 2012 Available from world wide web: <[http://www.carttop.com/files/noticia/9/110331\\_Ponencia\\_UNED\\_CARTTOP.pdf](http://www.carttop.com/files/noticia/9/110331_Ponencia_UNED_CARTTOP.pdf)>.
- [CON12] *Construction Trimble, Trimble Engineering & Pre-Surveying Helps Keep Railroads on Track. Technology & More 2012*, 12-13.
- [FOM12-1] FOMENTO, MINISTERIO DE. *Red Geodésica: Regente.* Instituto Geográfico Nacional. 2012a. Available from world wide web: <[http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/INSTITUTO\\_GEOGRAFICO/Geodesia/red\\_geodesicas/regente.htm](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Geodesia/red_geodesicas/regente.htm)>.
- [FOM12-2] FOMENTO, MINISTERIO DE. *Red de Nivelación: Proyecto REDNAP.* Instituto Geográfico Nacional. 2012b. Available from world wide web: <<http://www.ign.es/ign/layout/actividadesGeodesiaRedn.do>>.
- [GAO10] Gao, Zhan et al. *Track irregularity inspection trolley based on fiber-optic gyro.* JOURNAL OF MICRO-NANOLITHOGRAPHY MEMS AND MOEMS 9, 2010.
- [GIK05] Gikas, V. *Geodetic survey and track recording vehicle data combined for the accurate setting out of rails on slab track.* Journal of Spatial Science 50, 2005, 13-23.
- [GIK08] Gikas, V, and S Daskalakis. *DETERMINING RAIL TRACK AXIS GEOMETRY USING SATELLITE AND TERRESTRIAL GEODETIC DATA.* SURVEY REVIEW 40, October 2008, 392-405.

- [GIK12] Gikas, Vassilis, and John Stratakos. A Novel Geodetic Engineering Method for Accurate and Automated Road/Railway Centerline Geometry Extraction Based on the Bearing Diagram and Fractal Behavior. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS* 13, March 2012, 115-126.
- [HIG12] Higuera Martínez, Ángel. El montaje de la vía de alta velocidad. *Informes de 44*, February 2012, 49-66. [cited 29 April 2012].
- [ILI07] Iliffe, J C, J V Arthur, and C Preston. The snake projection: A customised grid for rail projects. *SURVEY REVIEW* 39, 2007, 90-99.
- [PIR07] Pirti, a. Performance Analysis of the Real Time Kinematic GPS (RTK GPS) Technique in a Highway Project (Stake-Out). *Survey Review* 39, January 2007, 43-53.
- [PRE00] Presle, Dr. Gérard. The EM 250 high-speed track recording coach and the EM-SAT 120 track survey car, as networked track geometry diagnosis and therapy systems. *Rail Engineering International* 3, 2000, 14-16.
- [REN93] RENFE. N.R.V. 7-1-0.0. MONTAJE DE VÍA. Secuencia de los trabajos de construcción de una línea. *Normas RENFE Vía* 1993.
- [REN85] RENFE. N.R.V. 7-3-0.0/2. Calificación de la vía. *Geometría de la vía. Normas RENFE Vía* 1985, 2-5.
- [RAF99] Rafael Alcaide González. EL FERROCARRIL EN ESPAÑA (1829-1844): LAS PRIMERAS CONCESIONES, EL MARCO LEGAL Y LA PRESENCIA DE LA GEOGRAFÍA EN LAS MEMORIAS DE LOS ANTEPROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS FÉRREAS. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* 190, 1999, 1-29.
- [SAN01] Sanchez Ríos, A. La calidad de la vía en las redes ferroviarias. Aspectos geométricos y topográficos. *Topografía y Cartografía* 2001, 23-28.
- [SAN90] Sanchez Ríos, A. Replanteo de líneas de Ferrocarril, "ALTA VELOCIDAD". *Topografía VIII*, 1990, 12-18.
- [SAN00] Sánchez Ríos, A, G Píriz Mira, and J García del Prado. *Sistemas de Ingeniería: Consideraciones en la Implantación de Infraestructura Viaria de Alta Velocidad. Topografía y Cartografía* 2000, 18-24.
- [TOP12] Topografía, AL-TOP. RM3D. Sistema avanzado de medición de parámetros de vía. *AL-TOP Topografía* 2012. Available from world wide web: <<http://www.al-top.com/producto/rm3d>>.
- [TEC08] Técnico, Dpto. de Amberg Technologies AG. Análisis rápido y preciso del gálibo del Metro de Toronto (Canadá). *Ingeopres* 170, 2008, 58-60.

## Sobre los autores

### Alonso Sánchez Ríos:

Dr. Ingeniero en Geodesia y Cartografía e Ingeniero Técnico en Topografía. Profesor Titular del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad de Extremadura (UEX). Imparte docencia en la titulación de Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía de la UEX y en el Máster Universitario de Investigación (MUI) en Ingeniería y Arquitectura. Ha sido autor de varios libros y de diversos artículos en revistas técnicas, así como de comunicaciones en congresos nacionales e internacionales.

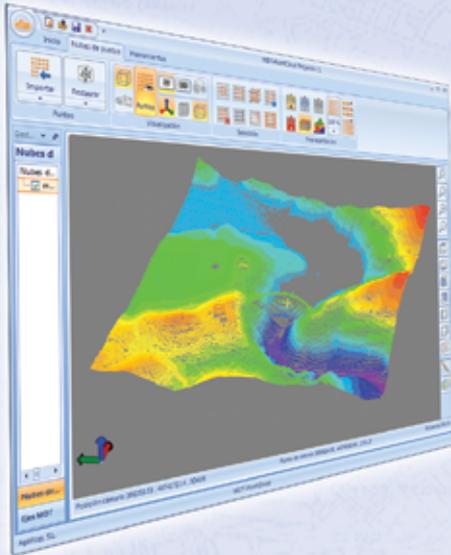
Desarrolla su labor investigadora en el grupo de investigación INNOVA <http://www.unex.es/investigacion/grupos/innova>, donde ha colaborado en numerosos proyectos de investigación. Participó en los trabajos de ejecución del primer tramo de la LAV Madrid- Sevilla, entre Getafe y Villaseca. C.V.

### Abel González:

Ingeniero Técnico en Topografía. Cursando el Máster Universitario de Investigación (MUI) en Ingeniería y Arquitectura de la UEX. Con once años de experiencia en obra civil, ejerce como profesional en las obras de la línea LAV Madrid-Extremadura, trabajando en la empresa NORTE TOPOGRAFÍA para INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL S.A. En este proyecto desempeña labores de control y asistencia para la coordinación y apoyo de asesores especializados de las obras de plataforma de la LAV Madrid –Extremadura. Tramo: Cáceres – Badajoz”.



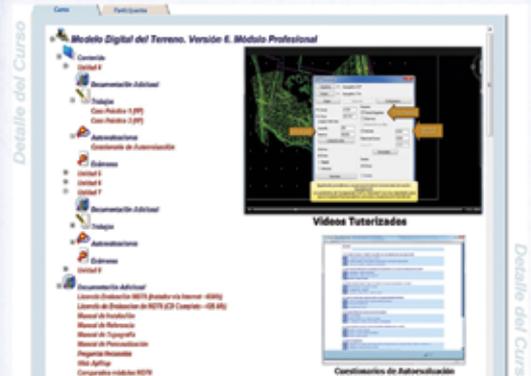
TcpMDT PointCloud



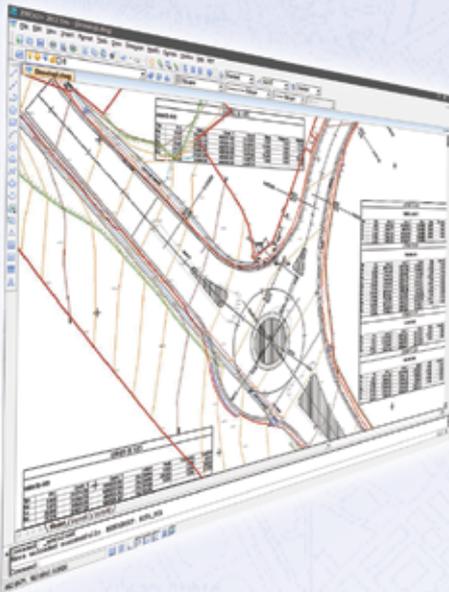
### Extensión de MDT para explotación de Nubes de Puntos

Aplicación integrada en TcpMDT que permite la visualización y explotación de nubes de puntos capturadas con tecnología LiDAR o escáners convencionales.

# Cursos OnLine



TcpMDT CAD  
Powered by ZWCAD+



### Proyectos de Topografía y CAD en un solo producto

Diseñado para aquellos profesionales que buscan una herramienta para la realización de proyectos sin necesidad de adquirir además una costosa plataforma CAD.

### Cursos On-line de MDT

Ofrecen tutoriales en video con audio y comentarios, documentación y manuales, cuestionarios de autoevaluación y ejercicios prácticos. También incluyen el apoyo de un tutor para resolver cualquier cuestión.

# EN CONTINUA INNOVACIÓN



# La Geolocalización al servicio de la sociedad

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 157, 62-69  
enero-febrero 2013  
ISSN: 1.131-9.100

Sandra Yanet Velazco Florez, Luis Joyanes Aguilar(\*)

## Resumen:

Dentro de todo un enjambre de tecnologías, la precisa combinación que encontramos entre Internet, Dispositivos Móviles y las Tecnologías de Geolocalización, permiten y facilitan a sus usuarios el poder compartir y consultar información en tiempo real, basada en localización y a su vez beneficiarse de ella de manera rápida y sencilla. Ante todo esto, multitud de sectores aprovechan y sacan partido de estas tecnologías, percibiendo y alcanzando utilidades de las más diversas.

La evolución del concepto de Geolocalización junto con el rápido crecimiento de los Sistemas de Información Geográfica (GIS), han abierto un extenso abanico de nuevos horizontes en donde los límites se ven marcados por la capacidad y la imaginación de sus desarrolladores. Resulta difícil cuestionar la importancia actual de este tema y su futuro potencial, con sus innumerables aplicaciones y servicios concebidos o por concebir; que con total consideración, se basan en la información de "ubicación" del usuario: desde la seguridad, pasando por el seguimiento continuado de personas, hasta el entretenimiento y el ocio, el comercio, el turismo o la práctica deportiva.

## Abstract:

Within a swarm of technologies, the precise mix found between the Internet, mobile devices and Geolocation Technology, enable and facilitate its users to share and retrieve information in real time, based on location and in turn benefit from the quickly and easily. Given all this, a variety of industries leverages and take advantage of these technologies, sensing and reaching the most diverse utilities.

The evolving concept of Geolocation along with the rapid growth of Geographic Information Systems (GIS) has opened a wide range of new horizons in which the boundaries are marked by the ability and imagination of its developers. It is difficult to question the current importance of this issue and its future potential, with its many applications and services designed or conceived, that full consideration is based on information "location" user: from security, to monitor people continued to entertainment and leisure, trade, tourism and sport.

## Palabras clave:

Dispositivos móviles, Geolocalización, Geosocial, GIS, Tiempo real, Ubicuidad.

## Keywords:

Mobile Devices, Geolocation, GIS, Real Time, Ubiquity.

Sandra Yanet Velazco Florez  
Universidad Pontificia de Salamanca.  
Campus Madrid.  
sandy\_velazco@hotmail.com

Luis Joyanes Aguilar  
Facultad de Informática.  
Universidad Pontificia de Salamanca.  
luis.joyanes@upsam.net

Recepción 30/04/2012  
Aprobación 30/08/2012

## Introducción

La Geolocalización ha llegado para quedarse [TEC11]. Hace solo unos años que la tecnología de localización tan solo estaba al alcance de unos pocos. Hoy en día estas tecnologías están transformando la forma en que vemos y sentimos nuestro entorno.

La Geolocalización no solo se está mostrando como una de las tendencias emergentes más interesantes en el panorama tecnológico en los últimos años, sino que ha resultado ser de gran utilidad en muchísimas áreas de aplicación como es el marketing, la publicidad, transporte, seguimiento a personas, etc.

---

**Hace solo unos años que la tecnología de localización tan solo estaba al alcance de unos pocos. Hoy en día estas tecnologías están transformando la forma en que vemos y sentimos nuestro entorno**

---

Los medios sociales están revolucionando el mundo, y con ello la comunicación de lo global a lo local, con una continuada actualización a escala mundial por información facilitada por los mismos usuarios. La ciudadanía global se ha convertido en una red global [SOZ12].

## Definiendo Geolocalización

Geolocalizar significa conocer la ubicación geográfica exacta de alguien o de algo. Es una idea sencilla y que técnicas como los GPS (Global Position System) ya la han hecho realidad para millones de personas alrededor del mundo.

Es así como, la Geolocalización es la identificación de la posición geográfica real de un objeto o persona, ya sea ésta por medio de un dispositivo conectado a Internet, un teléfono móvil o cualquier otro aparato al que sea posible su rastreo. Dicha localización puede ser en un plano de dos dimensiones, como sería el caso de Google Maps, o, en un plano de tres dimensiones (GPS). En los últimos años, diferentes tipos de tecnologías han apostado por

la Geolocalización, siendo extraordinariamente notable el auge de esta en los dispositivos móviles de última generación [BOV10].

Los verdaderos servicios basados en localización solo empezaron a ganar terreno en el cambio de siglo, y en especial desde que empezaron a popularizarse los smartphone y demás dispositivos con GPS con conectividad a Internet [CHA12]. Actualmente, las compañías de servicios de localización geográfica se basan en los Sistemas de Información Geográfica y desarrollan plataformas que proveen a los usuarios de herramientas para crear consultas interactivas de direcciones y rutas, edición de datos, mapas, entre otros. Esto lo pueden hacer desde un sitio web, un mapa para dispositivos como el GPS o desde un teléfono móvil, ya que se puede establecer una locación desde dirección IP, un contenido, una conexión Wi-Fi, o simplemente con un dispositivo de posicionamiento GPS [TOR11].

Los SIG (Sistemas de Información Geográfica) representan una versión digital de buena parte de la cartografía detallada y los datos de ubicación que poseen organizaciones que van desde los gobiernos nacionales hasta los servicios de emergencia, instituciones académicas y autoridades de planificación. Sin duda las bases de datos como los sistemas desarrollados por los GIS son herramientas digitales cada vez más accesibles [CHA12].

Es por ello, que la llegada de la Geolocalización es un tema a tratar en la actualidad, como tecnología que se basa en los Sistemas de Información Geográfica, y que permite entre otras cosas informar a los usuarios de cuál es su situación con respecto a, la de los demás, y a su vez asociarla a lugares del mundo real.

## Servicios de Geolocalización

Las aplicaciones de Geolocalización cobran cada vez más popularidad entre los usuarios de telefonía móvil de última generación, también llamados smartphone, que con solo obtener una conexión a Internet, es posible desplazarse casi a ciegas, y simplemente guiados por las instrucciones del GPS. Más del 40% del total de terminales usados en el planeta son smartphone [Brenner, 2012].

Según Mobile Life, de la consultora TNS, el estudio anual sobre el uso del móvil realizado a 48.000 usuarios en 58 países, los servicios de localización son los que más crecimiento han experimentado en el último año

y un 19% de los usuarios de móvil a nivel mundial ya los utilizan, con un elevado potencial de uso futuro mostrando una disposición de uso del 62% de los usuarios.

Las aplicaciones de Geolocalización cobran cada vez más popularidad entre los usuarios de telefonía móvil de última generación, también llamados smartphone, que con solo obtener una conexión a Internet, es posible desplazarse casi a ciegas, y simplemente guiados por las instrucciones del GPS

El uso de la navegación con mapas y GPS es actualmente la mayor motivación a la hora de adoptar la Geolocalización, con un 46% de uso por parte de los usuarios. El 13% de los usuarios de redes sociales por ejemplo, se registran a través de plataformas como Foursquare o Facebook Places, lo que supone un crecimiento del 50% más que en 2011. La Geolocalización también se utiliza para enriquecer la vida social y así el 22% de los usuarios de móvil la utiliza para localizar a sus amigos cercanos. Otros le dan un uso más práctico y 1 de cada 4 utiliza esta tecnología para encontrar restaurantes y otros lugares de ocio. El 19% revisa los horarios de los transportes y un 8% solicita un taxi a través de un servicio de localización.

Motivaciones para utilizar los servicios de localización móvil	%
Navegación	46
Localizar lugares de interés	33
Encontrar restaurantes y lugares de ocio cercanos	26
Como alternativa de un navegador en el coche	25
Localizar amigos	22
Consultar horarios de transportes públicos	19
Recibir alertas de negocios y ofertas	13
Solicitar un taxi	8

Datos globales. Base: usuarios de Geolocalización. [Fuente: Mobile Life de TNS]

El estudio de Mobile Life, igualmente revela unas significativas diferencias geográficas en relación a las motivaciones para compartir la ubicación o el uso de las diferentes aplicaciones. Por ejemplo, en el mercado latinoamericano un 39% de los usuarios de Geolocalización expresa que encontrar amigos es la razón principal para compartir su ubicación mientras que la cifra va disminuyendo para otros mercados: en Europa un 20%, en India un 11% y Norteamérica sólo con un 9%. En cuanto a los diferentes usos de las aplicaciones, en los mercados tecnológicamente saturados de Asia desarrollada el 36% de los usuarios de Geolocalización usa aplicaciones para la búsqueda de restaurantes y lugares de ocio cercanos, mientras que en China la cifra desciende hasta el 17% y en África Subsahariana hasta un 10%.

Los usuarios con mayor conocimiento en aplicaciones de Geolocalización se han percatado de la existencia de beneficios relacionados por compartir su localización con las marcas y tiendas, en donde uno de ocho usuarios comparte su localización para beneficiarse de una oferta especial.

En una entrevista concedida al diario Español, El Mundo , a mediados de 2011, Oscar Fernández, director general de la Asociación de Marketing Móvil en España, comentaba que “la Geolocalización se encontraba en su momento de despegue”, y que “la expectativa era la universalización, es decir, que todos las personas que posean un dispositivo móvil utilicen la Geolocalización en su vida diaria” y que por medio de la Geolocalización una persona “podría acceder a todo tipo de información de interés público”.

El fundador y director general de Fjord ,Olof Schybergson y Thom Brenner, vicepresidente de aplicaciones, localización y comercio en Nokia , consideran que a través de la Geolocalización una persona puede “acceder a todo tipo de información de interés público”. Por otro lado, opinan que la Geolocalización ha atravesado varias fases. La primera consistió en desconectar los teléfonos de la línea, convirtiéndolos así en móviles y personales; la segunda, Internet se movilizó y ya no es necesario un ordenador para conectarnos a la red. Y en la tercera, en la que, según Brenner, nos encontramos ahora, el objetivo es conectar a las personas con el mundo [TEC11].

## Geolocalizados desde el móvil

Es muy visto en los asiduos consumidores de la tecnología móvil, que optan por el uso de éstos dispositivos para aplicar a la banca, viajes, compras, ver vídeos, tomar fotos, usar las redes sociales, localizar amigos, escuchar música, en fin, una poderosa herramienta con las distintas posibilidades que esta ofrece.

**El smartphone ha superado cualquier idea imaginable de teléfono, con diseños muy atractivos, de fácil uso, cientos de aplicaciones disponibles, y muy cómodo de transportar**

Para poder aplicar a las bondades que ofrece la Geolocalización, se hace necesario contar con un dispositivo electrónico con funcionalidades de un teléfono móvil y características similares a las de un ordenador personal y que tenga GPS, como puede ser un iPhone, Nokia, BlackBerry, Palm, Android, WebOS, YouTube, entre otros.

Estos dispositivos móviles, son los que más fácilmente permiten la actualización de nuestra posición gracias a su portabilidad y por medio de receptores GPS, Wi-Fi o 3G. Cada vez son más las aplicaciones para móviles que se llevan en esta línea y que utilizan Geolocalización. El hecho de disponer del móvil en todo momento y lugar para poder acceder a la información, también permite "filtrar" la información recibida, para obtener solo información del entorno geográfico cercano a su teléfono móvil. Esto permite, por ejemplo, localizar restaurantes que estén próximos al lugar donde nos encontramos [W3112].

La combinación del aumento de ventas de smartphone, los lanzamientos de tiendas de aplicaciones móviles y los nuevos desarrollos de técnicas híbridas de posicionamiento podrían generar, según un informe de Juniper Research, unos ingresos de más de 12.000 millones de dólares (unos 8.000 millones de euros) de los servicios de localización móvil para 2014 [TEN11].

Pero la constante evolución de los dispositivos móviles y su profusa difusión hacia el público en general han in-

centivado la posibilidad de encontrar en éstos, nuevos escenarios de aplicación y utilidad. Un ejemplo muy destacado de mencionar es la Realidad Aumentada.

La realidad aumentada en los teléfonos móviles es una visión mixta de la realidad a tiempo real. Mixta, porque combina el entorno físico con una gran cantidad de información virtual, que se superpone encima de una situación real. Proyectos como el del gigante norteamericano Google, con la creación de la aplicación Google Goggles, muestra una revolucionaria herramienta de realidad aumentada. Otros proyectos ya en marcha, son las herramientas de realidad aumentada que están desarrollando Nokia y Samsung para sus dispositivos móviles, MARA (Mobile Augmented Reality Applications) y OMPASS World Cities para el Samsung Omnia 2, respectivamente. O las aplicaciones desarrolladas para el Iphone: Paris o New York Nearest Subway [ONO12].

## El Universo Geosocial



Así lucía el universo Geosocial a mayo de 2011 (ver infografía), según un estudio realizado por la agencia de diseño interactivo JESS3, la imagen ordena cual sistema solar las distintas plataformas sociales más populares a diario, todas ellas girando en torno al astro rey: el dispositivo móvil, mostrando que a esta fecha 5,3 millones de dispositivos móviles se utilizaban en todo el mundo, lo que equivale a un 77 por ciento de la población mundial.

Nuevas estrellas han surgido y otros se han ido esparciendo por todo los escondrijos del enorme espacio que

representa Internet.

En ella se muestra el tamaño relativo de las redes sociales y de algunos servicios online como Skype, Gmail, MySpace etc. y muestra también la proporción de la base de usuarios que acceden a dicho servicio desde un dispositivo móvil.

Ante todo esto, una vez más, se busca responder a la pregunta: ¿Quién puede ser el jugador más grande en el amplio abanico basado en la ubicación?

---

## La Geolocalización se puede dar en las redes sociales gracias a localización de la dirección IP, la trilateración de un hotspot (zona de cobertura wifi), la localización del teléfono móvil o incluso la información enviada por los propios usuarios sobre su actual ubicación

---

### Redes Sociales de Geolocalización

Las redes sociales continúan ganando adeptos año tras año y ya son el 68,4% (al 2011) los internautas que declaran utilizarlas a diario, frente al 60,3% de hace un año, el 43,5% de hace dos y el 28,6% de hace tres, según el último informe de AIMC, realizada a usuarios de Internet.

La asociación entre las llamadas redes sociales y la Geolocalización, ha tenido sin duda un impacto positivo en muchas áreas de cotidianidad de sus usuarios en estos últimos años. El uso del smartphone como un dispositivo inteligente provisto de Internet móvil, se ha convertido en un instrumento para descarga de múltiples aplicaciones siendo las redes sociales de las más solicitadas.

Las redes sociales son sitios en donde puedes compartir información, en donde le puedes contar a tus contactos o al mundo en general, el lugar exacto en dónde te encuentras, y en algunos casos aportando información detallada sobre el lugar (nombre, tipo de establecimiento, dirección, recomendaciones, etc.), y facilitando entre otras muchas cosas los encuentros casuales entre usuarios y en tiempo

real. Foursquare, Google Latitude, Facebook Places, Tuenti sitios, se muestran como los principales competidores en este campo [GIL11].

Un nuevo estudio de Juniper Research asegura que la adopción masiva de los smartphones y el incremento del networking geosocial va a provocar que el número de usuarios de redes sociales desde dispositivos móviles pase de los más de 650 millones de este año a los 1.300 millones en 2016. Según Juniper Research “la gente quiere saber no sólo qué es lo que están haciendo sus amigos, sino que también quiere saber dónde se encuentran y qué actividades hay en el área en la que se encuentra”. Las redes geosociales son especialmente sensibles en el mundo móvil, y al día de hoy la mayoría de los smartphones llevan incluido un dispositivo GPS, con lo que facilitan la experiencia del estar permanentemente conectados y disponibles.

### El riesgo de estar geolocalizados

La Geolocalización como hemos visto, no es más que la ubicación de un objeto en un punto determinado, más sin embargo, es considerada por muchos usuarios como un arma de doble filo.

De acuerdo a un estudio realizado por la Asociación Mundial de Seguridad de la Información, (ISACA, por sus siglas en inglés), denominado “Geolocalización: riesgo, problemas y estrategias”, las aplicaciones de Geolocalización cobran cada vez más popularidad entre los usuarios de teléfonos móviles y “como cualquier otro tipo de método para compartir información, las aplicaciones de localización pueden ser tan convenientes como peligrosas [ISA11]. Para mantenerse informado sobre los servicios que se proveen de Geolocalización ISACA sugiere que los usuarios se informen sobre los datos que se comparten, que habiliten la herramienta únicamente cuando los beneficios sean mayores a los riesgos, pensarlo dos veces antes de publicar fotos etiquetadas y adoptar la tecnologías, educarse sobre estos nuevos tipos de tecnología.

La Geolocalización como hemos visto, no es más que la ubicación de un objeto en un punto determinado, más sin embargo, es considerada por muchos usuarios como un arma de doble filo.

De acuerdo a un estudio realizado por la Asociación Mundial de Seguridad de la Información, (ISACA, por sus

siglas en inglés), denominado “Geolocalización: riesgo, problemas y estrategias”, las aplicaciones de Geolocalización cobran cada vez más popularidad entre los usuarios de teléfonos móviles y “como cualquier otro tipo de método para compartir información, las aplicaciones de localización pueden ser tan convenientes como peligrosas [CON12].

Para mantenerse informado sobre los servicios que se proveen de Geolocalización ISACA sugiere que los usuarios se informen sobre los datos que se comparten, que habiliten la herramienta únicamente cuando los beneficios sean mayores a los riesgos, pensarlo dos veces antes de publicar fotos etiquetadas y adoptar la tecnologías, educarse sobre estos nuevos tipos de tecnología.

## La privacidad en las redes sociales es un debate habitual y parece que continuará siéndolo

Por ello, el usuario que informa constantemente de sus acciones y lugares de interés puede estar facilitando a terceros excesiva información sobre su rutina diaria, como a dónde suele ir a tomar un café o cuál es su restaurante favorito (Lorenzo, 2010).

## Las posibilidades de la Geolocalización

Como se había mencionado con anticipación, la Geolocalización ha llegado para quedarse. Su uso va desde buscar vías de escape, restaurantes, zonas de servicios, hoteles, pasando por publicaciones, marketing, enrutamientos, compartir sitios de interés, transporte de mercancías, hasta en la medicina como por ejemplo seguimiento continuado de personas mayores, niños, animales, maquinaria industrial, en definitiva un gran etc....

La Geolocalización nos puede ofrecer información en tiempo real sobre lugares que se frecuentan en una determinada ciudad, aprovechando la ubicación geográfica del usuario [Comas, 2011]. Las posibilidades de la Geolocalización son muy diversas. Ésta herramienta no solo es útil para obtener información de mapas, La Geolocalización es un aliado indiscutible de los negocios locales, expertos en marketing y publicidad, quienes aún no son

capaces de dimensionar las múltiples oportunidades que se derivarán de relaciones de modo casi personal realizadas en tiempo real y desde un contexto móvil. Según el Instituto Cartográfico Nacional, de España, el 80% de la actividad humana requiere conocer su posición sobre un mapa. Unos 500 millones de personas en todo el mundo acceden hoy como usuarios habituales a servicios de Geolocalización [VAN11].

Son muchos los beneficios que ofrece la Geolocalización y más allá de que plataforma móvil elijamos, es preciso analizar en qué puntos podemos tomar ventaja de la Geolocalización para ofrecer, un tipo de información más relevante por ejemplo del lugar en el que nos encontremos. Actualmente, con la Geolocalización y la realidad aumentada, la cual combina la visión de un entorno físico del mundo real con elementos virtuales, para dar al usuario una visión enriquecida (ya sea con publicidad), nos facilita aplicar a guías urbanas, sugerencias, rutas, etc. (Pixels&Code, 2011). La importancia de la Geolocalización se hace cada vez más evidente entre los sectores de marketing, emergencias, estrategia, ubicación, social media, etc., convirtiéndose en una herramienta más para que tanto empresas como público general se den a conocer, realicen nuevas aplicaciones y entren de lleno en el mundo de las nuevas tecnologías Web. Sin duda alguna, las tecnologías de Geolocalización han sido utilizadas hasta ahora en diferentes ámbitos con un gran éxito, desde seguridad, medicina, compras, ocio, comidas, arte, cine, viajes, educación, vida nocturna y un gran etc., y pensándolo bien, sus aplicaciones pueden ir mucho más allá; desde el seguimiento y control de enfermos como el Alzheimer u otras enfermedades degenerativas, hasta la convocatoria de reuniones, manifestaciones o acontecimientos culturales. Aún así existen todavía numerosos dominios donde podrían utilizarse con una gran eficiencia.

La publicidad es sin dudar el tema a no pasar por alto a la hora de aplicar los beneficios de la Geolocalización, en el momento, en todo tipo de negocio, comercio, servicio o producto que cuente con una ubicación física real, disponen de la Geolocalización para da a conocer toda tipo de información relevante al consumidor.

Ya es posible gestionar las variables tiempo real, espacio (localización-movilidad), y necesidad, de forma combinada porque si estas en el lugar y en el sitio puede ser que tengas la necesidad (o te la creen) de forma más fácil

[MEM12].

En definitiva, tanto en los servicios sociales, como en la movilidad, comercio, negocio, medicina, y un gran número de actividades ven en la Geolocalización, una herramienta de grandísima utilidad y sobre todo con innumerables aplicaciones para beneficio de sus usuarios, eso sí, sin olvidar lo que debemos ser prudentes con la información que queremos compartir.

## Conclusiones y recomendaciones

La aceptable combinación entre redes sociales, móviles y Geolocalización, ha provisto a los usuarios de servicios que facilitan la acción de ser Geolocalizados, y en muchos casos basándose en patrones de comportamiento mostrados por los mismo usuarios, como una forma de interactuar entre ellos, en tiempo real.

Esta tecnología posee un gran potencial para transformar lo que hasta ahora hemos percibido de forma natural sobre un determinado lugar, marca o persona; probablemente, la clave del éxito se encuentre en la capacidad de éstas en impregnarse y mimetizarse con los hábitos diarios, hasta el punto de "naturalizar y universalizar" su uso. Por la integración de las tecnologías (Internet, dispositivos móviles, redes sociales, Geolocalización), sabemos dónde nos encontramos y qué camino tomar. Ya no solo importa el qué, y el cómo, sino el dónde. Mas sin embargo, independientemente del fin que se busque con la utilización de estas herramientas, y en la medida en que cada vez se crean mas y mayores aplicaciones que van asociadas a datos con información geográfica y ésta a su vez relacionadas con mensajes provistos por nosotros mismos, se hace preciso pensar en temas relacionados con la intimidad, la seguridad y privacidad de los usuarios, temas que sin duda, seguirán siendo objeto de grandes y extensas discusiones.

---

**Ante todo esto, lo mejor sería el poder controlar quien lee nuestra información, así como aprender a usar adecuadamente estas tecnologías, incluso enseñar a los demás a usarlas**

---

Por otro lado hay quienes consideran en un entorno meramente personal que no es de su agrado o gusto este tipo de tecnologías como Foursquare ni nada de lo que tenga que ver con la Geolocalización, se reservan esos espacios de dónde se encuentran para su vida privada.

Aún así, Las redes sociales sin duda alguna seguirán siendo las grandes protagonistas para 2012. Facebook, Foursquare, Twitter o Google+, seguirán siendo las redes con mayor popularidad en la red.

Distintas proyecciones apuntan, en que, para el año 2015 acceder a Internet desde un dispositivo móvil como el smartphone o las tablets, superará con creces al acceso por ordenador (PC o de mesa). Todo ello gracias en parte a un mejor uso de estas herramientas, logrando aumentar la práctica y la experiencia del usuario en las mismas. Con la continua aparición de servicios basados en contenidos de valor añadido, datos Georreferenciados, Realidad Aumentada, mashup's, contenidos multimediales, 3D, y un gran etc., no es exagerado aseverar que indudablemente será así, y si a esto le agregamos su integración con las llamadas redes sociales, las posibilidades se amplían.

El futuro de los servicios de Geolocalización, dependerá en parte al tipo de información que se comparta, que ésta sea de mayor calidad, más relevante y confiable. Por otro lado, es posible que el desafortunado momento económico que se vive a nivel mundial afecte las ventas de dispositivos móviles de alta gamma que disponen de esta tecnología.

## Referencias

- [BOV10] Bover Argelaga, Alan. *Aplicación de Gestión de Información Geolocalizada en Android. Proyecto Final de Carrera, Facultat d'informàtica de Barcelona. Universitat politècnica de Catalunya. Director. Manuel Mediana Llinàs, 2010. Pg. 9*
- [CHA12] Chatfield, Tom. *50 cosas que hay que saber sobre mundo digital. Servicios Basados en Localización. Capitulo 35, Editorial Ariel. 2012*
- [CON12] Consumerreports.org. *Facebook & your privacy: Who sees the data you share on the biggest social network? Consumer Reports magazine: June 2012. Disponible en [http://www.consumerreports.org/cro/magazine/2012/06/facebook-your-privacy/index.htm] [Consultado en: mayo 4, 2012]*
- [GIL11] Gil Estallo, María de los Ángeles y Giner de La

Fuente, Fernando. *Emprende: Convierte Tu Sueño en Realidad*. Editorial ESIC, España. 2011. Pg. 123

- [ISA11] ISACA.org, página principal [<https://www.isaca.org/Pages/default.aspx>] Geolocation: Risk, Issues and Strategies. Disponible en [<http://www.isaca.org/Knowledge-Center/Research/ResearchDeliverables/Pages/Geolocation-Risks-Issues-and-Strategies.aspx>]. 2011 [Consultado en: mayo 3, 2012]
- [MEM12] Membibre Saavedra, Paz. *Marketing y comunicación en los servicios sociales*. Empresa Social, Grupo 5, 2012. Pg.234
- [ONO12] ONO, Blog oficial [<http://blog.ono.es/>]. *La realidad aumentada desembarca en el mercado de los móviles*. Disponible en [<http://blog.ono.es/2010/01/la-realidad-aumentada-desembarca-en-el-mercado-de-los-moviles>] [Publicado en: enero 25, 2012] [Consultado en: mayo 3, 2012]
- [SOZ12] Sozpic.com, página principal [<http://www.sozpic.com>] artículo: *Cómo la Geolocalización está cambiando el mundo* [<http://www.sozpic.com/como-la-geolocalizacion-esta-cambiando-el-mundo>]. [Publicado en: abril 26, 2012] [Consultado en: mayo 2, 2012]
- [TEC11] Technology Review. *El negocio de la Geolocalización*. Disponible en [[http://www.technologyreview.es/printer\\_friendly\\_article.aspx?id=39185](http://www.technologyreview.es/printer_friendly_article.aspx?id=39185)] [Publicado en: noviembre 25, 2011] [Consultado en: mayo 2, 2012]
- [TEN11] Tendencias21. *La Geolocalización a través del móvil, nuevo mercado emergente*. [[http://www.tendencias21.net/La-geolocalizacion-a-traves-del-movil-nuevo-mercado-emergente\\_a5048.html](http://www.tendencias21.net/La-geolocalizacion-a-traves-del-movil-nuevo-mercado-emergente_a5048.html)] [Consultado en: mayo 3, 2012]. Tomado de [<http://www.juniperresearch.com/viewpressrelease.php?pr=180>]
- [TOR11] Toro, Tamara. *Los servicios de Geolocalización que se masifican en Latinoamérica*. Disponible en [<http://tecno.americaeconomia.com/noticias/los-servicios-de-geolocalizacion-que-se-masifican-en-latinoamerica>] [Publicado en: febrero 16, 2011] [Consultado en: mayo 3, 2012]
- [VAN11] Periódico *La Vanguardia*, página principal [<http://www.lavanguardia.com>]. *La Geolocalización se implanta en todos los ámbitos*. Disponible en [<http://www.lavanguardia.com/internet/20110311/54124889951/la-geolocaliza->

[cion-se-implanta-en-todos-los-ambitos.html](#)] [Publicado en: marzo 03, 2011] [Consultado en: mayo 4, 2012]

- [W3I12] W3is2. *What, Where, When: Internet Solutions & Information System. Servicios basados en la localización (LBS). ¿Cómo localizarnos con el móvil?* Disponible en [<http://www.w3is2.com/soluciones/serveis-basats-en-la-localitzacio-lsb.html>] [Consultado en: mayo 3, 2012]

## Sobre los autores

### **Sandra Yanet Velazco Flórez:**

Ingeniera Civil, Especialista en Sistemas de Información Geográfica (GIS) y Doctoranda en Ingeniería Informática, programa Sistemas de Información Geográfica, de la Universidad Pontificia de Salamanca, campus de Madrid. Actualmente desarrollando Tesis Doctoral

### **Luis Joyanes Aguilar:**

Dr. en Ingeniería Informática y Dr. en Sociología (Licenciado en Ciencias Físicas y Licenciado de Enseñanza Superior Militar). Profesor Titular de la Cátedra de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Facultad de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca campus Madrid.

# Procesamiento de estaciones permanentes GNSS en el área ibérica. Proyecto IBERRED. Algunos casos particulares

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 157, 70-77  
enero-febrero 2013  
ISSN: 1.131-9.100

Marcelino Valdés Pérez De Vargas, Miguel Ángel Cano Villaverde, Laura García-Cañada(\*)

## Resumen:

El Área de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional (IGN) procesa de forma continua la mayor parte de las estaciones permanentes públicas de Sistemas de Navegación Mundial por Satélite (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) del área geográfica de la Península Ibérica y países colindantes, que pertenecen a diferentes instituciones. Los objetivos principales de este procesamiento son: el control del marco de referencia de la forma más densa posible, obtención de coordenadas precisas para otros proyectos y monitorización del comportamiento de las diferentes estaciones. No sólo son calculadas las posiciones de forma continua sino que además, se realiza el reprocesamiento ocasional de estas posiciones cuando existen mejores modelos o la posibilidad de cálculo en un mismo marco de referencia. Algunas de las estaciones han evolucionado fuera de la tendencia esperada, por ejemplo las estaciones de Lorca donde se ha detectado un hundimiento progresivo a parte de ligeros desplazamientos debidos al terremoto de mayo de 2011.

## Abstract:

The Department of Geodesy of the Instituto Geográfico Nacional (IGN) processes continuously the vast majority of the public GNSS permanent stations in the Iberian Peninsula and neighbouring countries which belong to different institutions. The main objectives of these processings are: the control of the reference frame as dense as possible, getting precise coordinates for other projects and monitoring the behaviour of the different stations. The positions are not just calculated continuously, occasional re-processings are performed as well. They are carried out when better models or the possibility to process in a same reference frame exist. Some stations have evolved beyond the expected trend, such as the case of stations in Lorca, where have been observed a gradual subsidence and slight shifts due to earthquake in May 2011.

## Palabras clave:

GNSS, IGN, Lorca, marco de referencia.

## Keywords:

GNSS, IGN, Lorca, Reference Frame.

Marcelino Valdés Pérez de Vargas  
Instituto Geográfico Nacional  
mvaldes@fomento.es

Miguel Ángel Cano Villaverde  
Instituto Geográfico Nacional  
macano@fomento.es

Laura García Cañada  
Instituto Geográfico Nacional  
lgarcia@fomento.es

Recepción 22/04/2012  
Aprobación 24/09/2012

## Introducción

La irrupción de los Sistemas de Navegación Mundial por Satélite (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) durante las últimas décadas ha producido cambios muy importantes en la Geodesia. Esta nueva técnica no sólo ha proporcionado una gran mejora en la precisión de las coordenadas finales, que las hace sensibles a movimientos de la superficie terrestre antaño inimaginables de observar, sino que adicionalmente son capaces de realizar mediciones de forma continua y automática a lo largo del tiempo. A consecuencia de ello surgieron como redes geodésicas, las redes de estaciones permanentes GNSS. La observación y cálculo de estas redes permanentes proporciona coordenadas diarias de cada una de las estaciones. A partir de ellas se crean las series temporales para cada una de las componentes de las coordenadas de cada estación. En definitiva, no sólo se conoce la posición de los puntos que forman la red, sino además su variación con el tiempo. En España y en los países colindantes se han instalado numerosas redes de estaciones permanentes GNSS en los últimos años. Y aunque generalmente su objetivo principal es proporcionar correcciones en tiempo real, el análisis de los datos de post-proceso, con las mejores metodologías de cálculo geodésico existentes, permite un gran número de aplicaciones. Entre ellas podemos enumerar: control de los marcos de referencia utilizados de forma práctica en un territorio dado, obtención de coordenadas precisas que sean la base de obtención de otros productos como pueden ser meteorológicos u orbitales, estudios geodinámicos o detección de movimientos locales de muy diversas causas.

El Área de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional (IGN) puso en marcha el denominado proyecto IBERRED [QUI04-1] que consiste en el cálculo y análisis de series temporales de coordenadas de estaciones permanentes GNSS en el área de la Península Ibérica con la máxima densidad posible. Los datos de entrada son procesados con un software riguroso para obtener la máxima precisión y consistencia. La red actualmente procesada consta de alrededor de 340 estaciones.

Este proyecto tiene vocación de continuidad y mejora permanente. A día de hoy ya permite presentar algunos resultados que aunque preliminares, demuestran la idoneidad y utilidad de un proyecto de este tipo con implicaciones interdisciplinarias en ramas de la Meteorología,

Geodinámica, Volcanología o Sismología aparte de la Geodesia.

En este artículo se presenta las características de la red procesada, del procesamiento, la metodología de creación y análisis de series temporales, y por último algunos resultados concretos reseñables.

## Red IBERRED

Este proyecto pretende la captación de datos post-proceso, en formato independiente del receptor (Receiver Independent Exchange, RINEX) [GUR05], de una red lo más densa posible de estaciones permanentes GNSS en el área de la Península Ibérica y alrededores. Se procesan estaciones de las que existen datos con acceso público y gratuito o un acuerdo bilateral con el IGN. En caso de existencia de varias redes en un mismo territorio que puedan producir una densidad excesiva para nuestros fines, se da preferencia a la que pertenezca a alguna administración, ya que se supone un mayor compromiso de permanencia en el tiempo.

Son diversas las entidades e instituciones poseedoras de estas redes, casi todas son dependientes de administraciones públicas y algunas de empresas privadas. Muchas de las estaciones adicionalmente están integradas de forma voluntaria a alguna red internacional de estaciones GNSS, como es la red perteneciente a la Sub-comisión para Europa de Marcos de Referencia de la Asociación Internacional de Geodesia (EUREF) llamada red permanente de EUREF (EUREF Permanent Network EPN) [BRU09] o la perteneciente al Servicio Internacional GNSS (International GNSS Service, IGS) llamada Red de Seguimiento del IGS (IGS Tracking Network) [DOW09].

### 2.1. Redes GNSS procesadas:

A parte de las estaciones pertenecientes a redes internacionales (EPN, IGS), el resto de estaciones procesadas pertenecen a las siguientes instituciones:

- Red Nacional de Estaciones Permanentes (Rede Nacional de Estações Permanentes, RENEP) del Instituto Geográfico Portugués (IGP).
- Red GNSS Permanente (Réseau GNSS Permanent, RGP) del Institut National de L'Information Géographique et Forestière (IGN) de Francia.
- Red de Estaciones de Referencia GNSS del IGN (ER-GNSS) [QUI04-2].
- Red Geodésica Activa en Tiempo Real (ERVA) del Insti-

tuto Cartográfico Valenciano (ICV).

- Red de Estaciones de Referencia GPS (CATNET) del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).
- Red de Estaciones Permanentes GNSS de Galicia (GALNET) de Cartogalicia S.L.
- Red de Estaciones GNSS de Castilla y León del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL).
- Red de Estaciones de Referencia (MERISTEMUM) de la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia.
- Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) del Instituto de Cartografía y Estadística de Andalucía.
- Red de Estaciones Base GPS de la Comunidad de Madrid (REBCM).
- Red Geodésica Activa (REGAM) de la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia.
- Red Geodésica Activa de Navarra (RGAN) de la Comunidad Foral de Navarra.
- Red de Estaciones de Referencia GNSS del Euskadi (RGE) del Gobierno Vasco, Diputaciones Forales y Universidad del País Vasco.
- Red de Estaciones Permanentes GNSS de La Rioja.
- Red Extremeña de Posicionamiento GNSS (REP) de la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura.
- Red de Estaciones Permanentes de Canarias (REPC) de Cartográfica de Canarias, S. A. (GRAFCAN).
- Red GNSS Activa (RGAC) de la Universidad de Cantabria.
- Red GNSS Activa (RGAPA) del Principado de Asturias.
- Red Geodésica Activa de las Islas Baleares de SITIBSA.

En la Tabla 1 se muestran las entidades con estaciones permanentes procesadas en este proyecto. Las estaciones pertenecientes a una red internacional (EUREF, IGS) no se contabilizan en la red de ámbito geográfico inferior ya sea en la tabla o en el artículo en general.

Red GNSS	Ámbito Geográfico	Nº de Estaciones
Redes Internacionales		
IGS	Mundial	27
EPN (EUREF)	Europa	54
Redes Nacionales		
ERGNSS (IGN)	España	19

Red GNSS	Ámbito Geográfico	Nº de Estaciones
RENEP (IGP)	Portugal	33
RGP (IGN)	Francia	14
Redes Regionales		
ERVA	Comunidad Valenciana	7
CATNET	Cataluña	9
GALNET	Galicia	17
GRAFCAN	Islas Canarias	17
ITACYL	Castilla y León	33
MERISTEMUM	Región de Murcia	7
RAP	Andalucía	22
REGAM	Región de Murcia	9
REGAPA	Asturias	8
REBCM	Comunidad de Madrid	6
Red de La Rioja	La Rioja	5
REP	Extremadura	12
RGAC	Cantabria	5
RGAN	Navarra	14
RGE	País Vasco	11
SITIBSA	Islas Baleares	8
Otras	Europeas	3
	Total	340

Tabla 1. Redes Procesadas en IBERRED.

## 2.2. Distribución geográfica de estaciones:

Se muestran el mapa de estaciones procesadas totales. Como se observa, se pretende el cálculo de las estaciones existentes en la Península Ibérica y alrededores, en especial la zona denominada Macaronesia.

Y en la Figura 2 las estaciones procesadas, con detalle en la Península Ibérica, que es la zona principal de estudio. Se puede observar como las regiones con menos estaciones son Aragón y Castilla la Mancha. En el caso de Aragón ya existe una red y existen conversaciones para la captación automática de los datos.



Figura 2. Estaciones Procesadas en IBERRED en la Península Ibérica y Baleares.

En el caso de Castilla la Mancha no existe aún una red de ámbito regional.

Los datos en formato RINEX son en algunos casos captados de servidores públicos de las distintas redes y en otros son directamente enviados a un servidor del IGN. Una vez que es chequeada la calidad de estos datos con el programa de Traducción, Edición, Corte/pega y Chequeo de Calidad (Translation, Editing, Cut/Splice and Quality Check, TEQC) [EST99], éstos quedan preparados en el servidor de datos para su cálculo.

## Procesamiento

Las características generales del procesamiento, que tiene como fin la obtención de las coordenadas diarias de cada una de las estaciones, son las que siguen: el procesamiento se basa en la metodología general de resolución de ecuaciones de dobles diferencias de fase [LEI95], el sistema procesado es solamente el GPS hasta el momento y los productos de partida necesarios para el cálculo, en relación con efemérides o relojes de los satélites son productos precisos IGS [DOW09]. El programa de cálculo utilizado es Bernese en su versión 5.0 del Instituto de Astronomía de la Universidad de Berna (Astronomischen Instituts der Universität Bern, AIUB) [DAT07].

### 3.1. Cadencia de los procesamientos:

La cadencia temporal de realización de los cálculos depende de si es el procesamiento rutinario o los procesamientos ocasionales. De forma habitual y totalmente ato-

mática se realiza el procesamiento rutinario una vez por semana donde se calculan las coordenadas de las estaciones de los siete días de una semana. Ese cálculo se realiza con una demora respecto a las observaciones de unos 15 días. Esta dilación viene motivada por el propio retraso de los productos precisos del IGS. En cuanto a los procesamientos ocasionales, estos tienen diversos motivos. Por un lado la existencia de fallos en el automatismo de los cálculos o la aparición de nuevas observaciones que no estaban disponibles en el procesamiento rutinario, pero sobre todo y más importantes son los procesamientos ocasionales o reprocesamientos que viene motivados por la existencia de nuevos productos IGS con mejores cualidades o la existencia de nuevos modelos que supongan un aumento en la precisión de las coordenadas finales.

### 3.2. Reprocesamientos:

El reprocesamiento más reseñable realizado hasta el momento es el producido con la aparición de productos del IGS reprocesados, que nos permitirán usar un mismo Marco de Referencia Terrestre Internacional (International Terrestrial Reference Frame, ITRF), en concreto en el marco de referencia terrestre IGS05 [GEN10] estrechamente relacionado con ITRF2005. La existencia de estos nuevos productos, efemérides y relojes de satélites, permitió reprocesar todos los datos existentes hasta ese momento, desde el año 1996. Hasta entonces los cálculos se habían realizado en el mismo marco de referencia en que se iban publicando los productos del IGS, estos fueron ITRF94, ITRF96, ITRF97 e ITRF00. Cada cambio de marco supone en la práctica un salto en las series de coordenadas que puede llegar a ser de algunos centímetros. Al reprocesar se consiguió entonces unificar todos los cálculos en un mismo marco de referencia, lo que posibilita un análisis de las series de coordenadas más eficaz.

Además y paralelamente a este cambio, se consiguió unificar los modelos de calibración del centro de fase de las antenas a modelos absolutos, cuando antaño se empezó con relativos. Por otra parte, la forma de modelar la troposfera se unificó y el modelo de cargas oceánicas pasó de GOT99.2 a FES2004 [VAL08]. Todas estas circunstancias dieron lugar a un conjunto de coordenadas con un cálculo homogéneo. En abril del 2011 un nuevo marco de referencia se empezó a utilizar en los productos IGS, el IGS08, estrechamente relacionado a ITRF08 [ALT11-1], con lo que a partir de entonces conviven coordenadas en IGS05 [FER09] con coordenadas en IGS08 en nuestras series; a la

espera de la publicación de productos IGS reprocesados en IGS08 para volver a reprocesar y unificar en IGS08.

### 3.3. Agrupación (clustering):

En el modelo de dobles diferencias, el aumento del número de estaciones procesadas aumenta el tiempo de cálculo de forma exponencial, pudiendo llegar a hacer inviable el tratamiento de las grandes matrices que se forman, en el momento del cálculo de los parámetros, en una computadora normal. Dado el alto número de estaciones procesadas, hasta 340, y la metodología de dobles diferencias utilizadas, la única opción de cálculo en este caso es la agrupación de estaciones en pequeñas subredes, con estaciones en común, que si sean tratables por la computadora. En este caso, los grupos se crean automáticamente para cada día por criterios de mínima distancia y siempre con menos de 20 estaciones por subred. Posteriormente, se agrupan las ecuaciones normales del ajuste de las subredes [DAT07], obteniendo de esta forma un resultado similar a la no agrupación.

### 3.4. Características principales de procesamiento:

En la Tabla 2 se detallan las opciones del cálculo utilizadas en el procesamiento. En esta tabla, por un lado se tratan los modelos utilizados y por otro lado los parámetros estimados en el ajuste.

## Resultados

Una vez realizados todos los cálculos y comprobado que existe una buena repetibilidad entre los datos de los días de cada semana se obtienen los resultados finales para cada día. Estos son, por un lado los ficheros en el Formato de Intercambio Independiente de Soluciones (Solution Independent Exchange Format, SINEX) [ROT06], donde se definen las coordenadas finales así como sus precisiones además de los parámetros principales del ajuste estadístico del que provienen. Por otro lado las soluciones troposféricas en forma del Retraso Total en el Zenit (Zenith Total Delay, ZTD) para cada hora. Estos últimos datos son apropiados para estudios de comportamiento de la atmósfera en Meteorología [ROM09]. Pero estos resultados meteorológicos tienen una antigüedad de 15 días cuando son obtenidos y pierden parte de su utilidad por su demora. Para cálculos en tiempo casi-real existe otro proyecto en el que participa el IGN a nivel europeo, el proyecto de determinación de vapor de agua con GNSS de EIG EUMETNET (EUMETNET EIG GNSS Water Vapour Programme, E-GVAP)

[VED05]. Las coordenadas más actuales de IBERRED son utilizadas como dato de partida en este proyecto.

### 4.1. Series Temporales de Coordenadas:

Las coordenadas diarias obtenidas residen en los ficheros SINEX de cada día y se encuentran en el marco de referencia terrestre en el que fueron calculadas, que depende del marco de referencia de las órbitas y de las coordenadas de las estaciones que definen el datum. En el proyecto IBERRED los datos desde el año 1996 hasta abril de 2011 se encuentran en IGS05 y los datos posteriores en IGS08 expresadas todos ellos en coordenadas cartesianas tridimensionales geocéntricas (X, Y, Z). Agrupando en tablas por estación estas coordenadas para cada día, tendremos las series temporales de coordenadas cartesianas diarias expresadas en el marco de referencia terrestre. Así se construyen las series numéricas en ficheros independientes para cada estación y también su representación gráfica. En la siguiente Figura 3 se muestra un ejemplo de este tipo de serie para la estación de YEBE en la provincia de Guadalajara. Con el ejemplo de esta estación en particular se pretende mostrar las diferencias básicas de los diversos tipos de series.

En la Figura 3. se observa más dispersión en las coordenadas X y Z. Esto se explica ya dada la posición geográfica de la estación y la mayor indeterminación GNSS en el cálculo de la altitud.

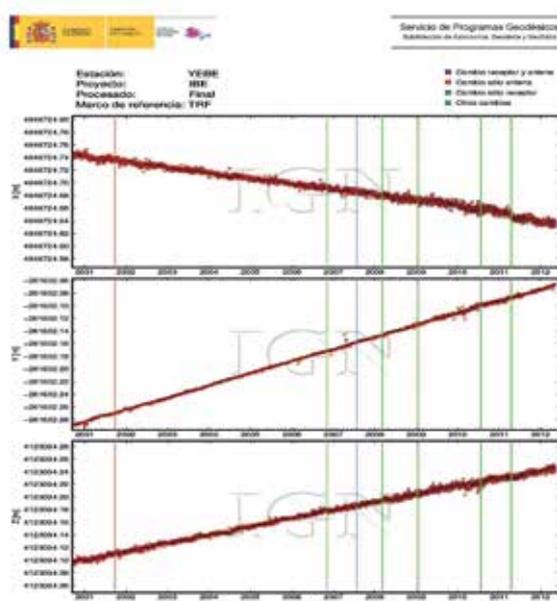


Figura 3. Serie Temporal de la estación YEBE (Yebe, Guadalajara) en coordenadas cartesianas tridimensionales geocéntricas con barras de error en el marco de referencia terrestre internacional (IGS05-IGS08).

Aspecto	Característica
<b>Modelos de medida</b>	
Preprocesamiento	Preprocesamiento de fase baselina a baselina usando triples diferencias. En la mayor parte de los casos, los saltos de ciclo son fijados mediante la búsqueda simultánea en diferentes combinaciones lineales de L1 y L2. Si un salto de ciclo no puede fijarse, las observaciones afectadas son eliminadas y se establece una nueva ambigüedad de ciclo inicial.
Observable básico	Portadora de fase. El código se usa sólo para calcular los estados de los relojes de los receptores.
Máscara de elevación	3° con ponderación dependiente de la elevación por $\cos^2(z)$ .
Intervalo de datos	Para resolución de ambigüedades 30 segundos. Para procesamiento final 180 segundos.
Observable modelado	Dobles diferencias, con la combinación de libre ionosfera.
Calibraciones del centro de fase de la antenas terrestres	Correcciones absolutas del centro de fase basadas en modelo IGS08, se considera la calibración individual si ésta existe.
Calibraciones del centro de fase de la antenas de los satélites	- Absolutas del centro de fase basadas en el modelo IGS08.
Troposfera	Modelo a priori es Dry-Niell con estimaciones a intervalos horarios para cada estación usando la función de modelado Wet-Niell sin sigmas a priori. Los gradientes horizontales son estimados cada día y estación, en modo tilting, sin constreñimientos a priori. Estimación horaria para cada estación de los ZPD's, se generan los ficheros troposféricos.
Ionosfera	Se calcula un modelo regional. Sólo se usa en la resolución de ambigüedades. No es modelada en la solución final ya que se elimina formando la combinación libre ionosfera de L1 y L2.
<b>Parámetros estimados (Valores a priori y sigmas)</b>	
Ajuste	Algoritmos mínimos cuadrados ponderados.
Criterios de rechazo de observaciones	Los RINEX con menos del 10% de posibles observaciones son eliminados. Los Residuos de observaciones mayores de 2.5mm son eliminados. Las baselíneas donde se exceden los 5mm de sigma son excluidas.
Definición del Datum	Las estaciones del IGS con coordenadas y velocidades publicadas en IGS08: BRST, CAGL, CAGZ, GMAS, HERS, HERT, LROC, MAS1, MATE, ONSA, PDEL, RABT, SCOR, SFER, TLSE, VILL, YEBE, ZIMM son usadas con condición de mínimo constreñimiento de translación.
Troposfera	Constreñimientos absolutos y relativos: 5.0m Calculo de ficheros troposféricos con coordenadas de solución semanal.
Ionosfera	Uso de modelo regional ionosférico precalculado para resolución de ambigüedades con QIF.
Resolución de ambigüedades	Usando la estrategia quasi-ionosphere-free (QIF) con información regional de TEC a 10°
Estado de relojes	Relojes de satélite: las derivas se eliminan formando las dobles diferencias. Relojes receptor: derivas estimadas durante el preproceso usando las medidas de código.
Orbitas y ERP	Parámetros de rotación del polo y órbitas finales precisas del IGS.
Efemérides Planetarias	Modelo DE200.
Mareas	Según estándares IERS 1996/2000
Cargas Oceánicas	Modelo FES2004
Carga atmosférica	No se tiene en cuenta

Tabla 2. Características principales de procesamiento.

Esta indeterminación de la altitud se proyecta en las coordenadas X y la Z cartesianas geocéntricas. Estas series, expresadas en este sistema de coordenadas, no son de gran utilidad práctica para detectar movimientos sobre la superficie terrestre, como si lo son las expresadas en coordenadas locales topocéntricas (Norte, Este, Elevación). Para ello se realiza la oportuna conversión al sistema topocéntrico local con origen en las coordenadas medias de cada estación. Habremos creado, en esta ocasión, las series temporales topocéntricas locales diarias de cada estación, como vemos en la Figura 4.

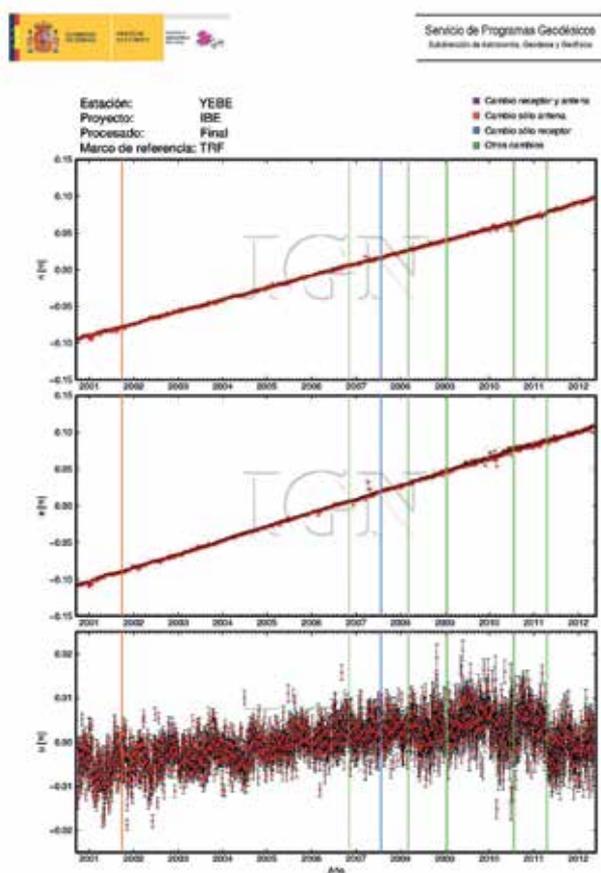


Figura 4. Serie Temporal de la estación YEBE (Yebes, Guadalajara) en coordenadas topocéntricas locales con barras de error en el marco de referencia terrestre internacional (IGS05-IGS08).

Se puede apreciar como en esta serie, la mayor dispersión afecta a la altura. El desplazamiento en las coordenadas Norte y Este corresponde en su inmensa mayoría al propio movimiento geodinámico dentro de un marco terrestre de referencia dado. Este tipo de series son más útiles de interpretar para la mayoría de aplicaciones.

Una de las formas de eliminar el desplazamiento superficial de los puntos debidos en gran medida al movimiento de placas tectónicas, es expresar las coordenadas en otro

marco de referencia que en vez de ser de ámbito internacional sea de ámbito regional. En nuestro caso disponemos de un sistema de este tipo, el Sistema Terrestre de Referencia Europeo (European Terrestrial Reference System, ETRS89), que además de ser oficial en la España y Portugal continentales, cumple la condición de ser fijo a la parte estable de la placa euroasiática [ALT11-2], condición que se cumple en la mayor parte de la Península. En la práctica, la transformación consiste en la aplicación a las coordenadas cartesianas geocéntricas, expresadas en los marcos de referencia terrestre, las expresiones recomendadas por EUREF [BOU11] con el resultado de obtener coordenadas en la realización de ETRS89 llamada ETRF2000, por un lado desde IGS05 lo que se anota como ETRF2000(R05) o desde el IGS08 lo que se nombra como ETRF2000(R08). Estas coordenadas en ETRF2000 se pueden expresar tanto en el sistema de coordenadas cartesiano geocéntrico (X, Y, Z) como en el sistema de coordenadas topocéntrico local (Norte, Este, Elevación) a través de la oportuna conversión. En la Figura 5 se muestra la serie en coordenadas topocéntricas locales para la misma estación que antes, YEBE.

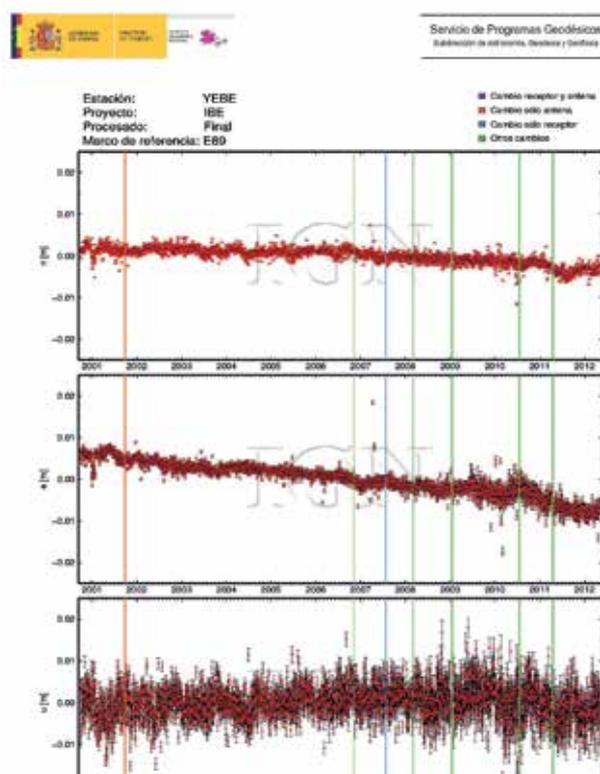


Figura 5. Serie Temporal de la estación YEBE (Yebes, Guadalajara) en coordenadas topocéntricas locales con barras de error marco de referencia terrestre europeo (ETRF2000).

Se observa en la Figura 5 que prácticamente ha desapa-

recido el movimiento superficial de la estación aunque queda un ligero movimiento remanente que se puede explicar de forma general como un movimiento estrictamente local o que la localización del punto no cumple rigurosamente la pertenencia a la parte más estable de la placa euroasiática.

#### 4.2. Cálculo de velocidades:

Al pretender utilizar estas series tal como están en el estudio de desplazamientos de los puntos en un periodo medio o largo, nos encontramos con que las series calculadas hasta este momento son series 'brutas'. Aún no se han estudiado los intervalos de datos que por una u otra cuestión sean erróneos y por lo tanto suprimibles o las coordenadas que por una u otra razón están fuera de tendencia (outliers), o incluso los saltos en las series que aparecen por diversas causas, la más frecuente un cambio de instrumental. En definitiva, a través del estudio de las series se encuentran estas anomalías que son debidamente anotadas y utilizadas para convertir las series en series limpias de anomalías.

En estas series 'limpias' ya si podemos estudiar los desplazamientos de los puntos. Una estrategia para encontrar anomalías de este tipo es el estudio de sus velocidades, que una vez vistas en el conjunto regional nos avisarán a simple vista de tendencias que no corresponden a lo esperable, de tal forma que iterativamente se refinarán, tanto las series, como las velocidades. Actualmente se está centrando el trabajo en la mejora de esta fase del proyecto.

---

**Para el cálculo de estas velocidades se ha usado el programa de análisis de series temporales de coordenadas GNSS CATS [WIL08], que permite el cálculo de velocidades y el manejo de saltos en las series**

---

Una vez limpiadas las series y seleccionadas aquellas con más de dos años y medio de datos, que es considerado el mínimo número de años para obtener unas velocidades fiables [BLE02], se calculan las velocidades tanto horizontales, a partir de las componentes Norte y Este, como verticales.



En las Figuras 6 y 7 se observan los vectores velocidad en el marco ETRF2000. Nos centramos en el área ibérica para observar mejor las características de las velocidades.

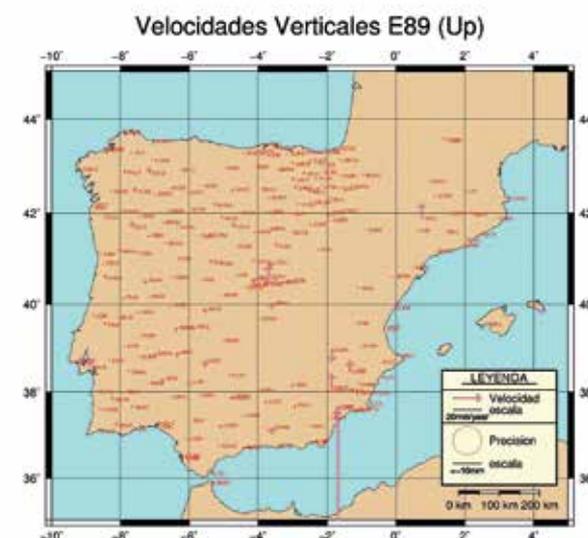


Figura 7. Mapa de velocidades en elevación en ETRF2000 de estaciones en área de la Península Ibérica.

Se concluye en cuanto a las velocidades horizontales, que en líneas generales el comportamiento respecto a la realización ETRF2000 de ETRS89 en la península ibérica no es homogéneo aumentando el tamaño de los vectores de Norte a Sur con un aparente giro en el sentido retrógrado. Lo que nos da una idea del comportamiento geodinámico de la península. También en líneas generales no aparece ningún hundimiento ni levantamiento generalizado. Además, en un sentido más particular se observan esta-

ciones con comportamientos fuera de la tónica general, como ACOR (A Coruña), AVEL (Lleida), BAND (Ourense), LORC y LORC2 (Murcia), etc., a veces sólo en la velocidad horizontal o vertical y otras en ambas. Para estudiar con detalle el comportamiento concreto de una estación es preciso analizar en detalle su serie temporal, como haremos con algunos ejemplos a continuación.

### 4.3. Casos Particulares:

Algunas estaciones presentan resultados concretos que es interesante analizar en detalle. Son muchas las estaciones que a través del estudio de sus series permiten estudiar diversos fenómenos. El caso de la estación permanente instalada en El Hierro, llamada FRON, es muy ilustrativo ya que la observación de una elevación en la estación, junto a otros datos volcánológicos permitió estudiar la fase pre-eruptiva de la erupción que comenzó en octubre de 2011 [CAN12]. Son numerosos los casos y fenómenos observados,

ya sean de deformación o por causas puramente instrumentales. Dada la imposibilidad de comentar todos los casos, se han escogido tres de ellos, que demuestran el poder de detección de fenómenos del análisis de las series de coordenadas.

4.3.1. LORC (Lorca, Murcia): En Lorca se han observado dos fenómenos que se ilustran en la Figura 8. Por un lado un pequeño salto en las series motivado por el terremoto de mayo de 2011, que se observa sobre todo en la componente Norte y que llega a ser de algún centímetro.

Por otro lado, se observa un hundimiento de la estación de alrededor de 9 cm anuales y que concuerda con resultados obtenidos con Radar Interferométrico de Apertura Sintética (Interferometric synthetic aperture radar, InSAR) [GON11] que apuntan a un posible origen hidrológico.

4.3.2. ACOR (A Coruña, Galicia): En este caso también se observan dos fenómenos ilustrados en la Figura 9. Por un lado un hundimiento progresivo desde mediados de 2002 hasta mediados del 2003. El motivo que lo originó fue instrumental, la degradación progresiva del amplificador

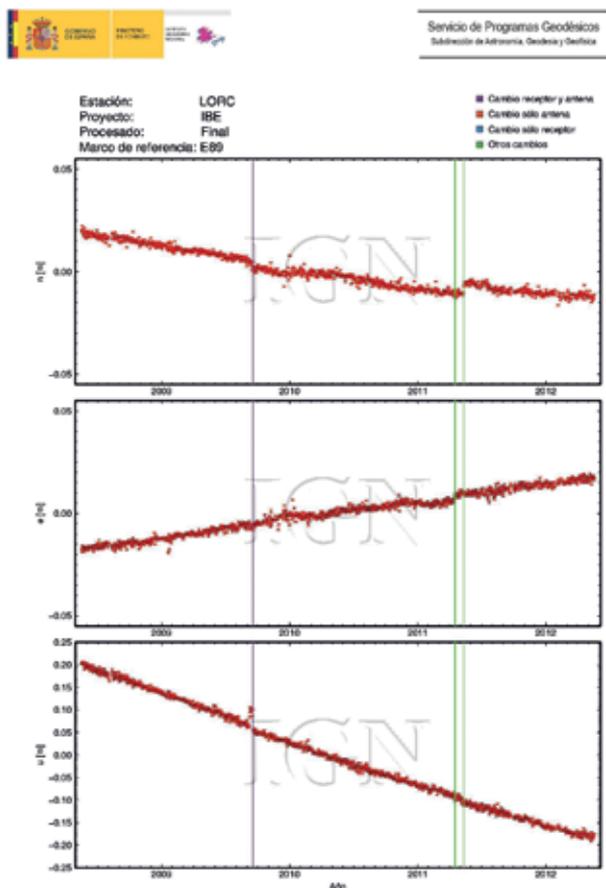


Figura 8. Serie Temporal de la estación LORC (Lorca, Murcia) en coordenadas topocéntricas locales con barras de error marco de referencia terrestre europeo (ETRF2000).

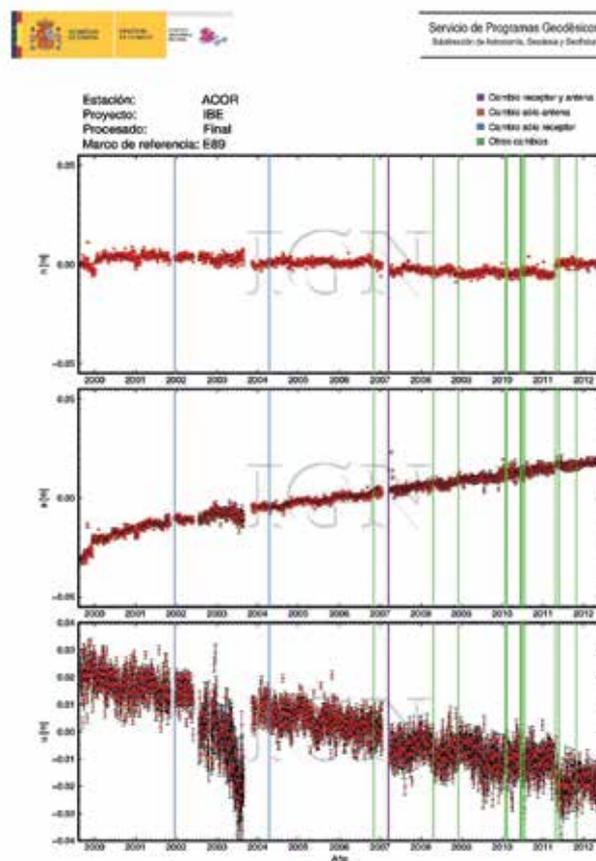


Figura 9. Serie Temporal de la estación ACOR (A Coruña, Galicia) en coordenadas topocéntricas locales con barras de error marco de referencia terrestre europeo (ETRF2000).

de la antena hizo que la cantidad y calidad de los satélites seguidos fuera cada vez peor.

Por otro lado, se observa un hundimiento constante y progresivo junto con un desplazamiento al Este que ocurre en toda la serie registrada. Se ha comprobado con mediciones de nivelación de alta precisión que el edificio que contiene la estación, el mareógrafo de A Coruña y situado en el extremo de un muelle, se está inclinando hacia el Este ligeramente.

4.3.3. 3CAN (Tres Cantos, Madrid): En este caso lo que nos muestra la Figura 10, sobre todo en la componente vertical, es una oscilación con un periodo de algo más de un año y con una amplitud de hasta 4 cm. El origen de este fenómeno es más complejo, si elimináramos un origen en la tipología de la monumentación, podríamos pensar en un posible origen hidrológico dada su estacionalidad. Pero estas no son aun más que conjeturas a la espera de estudios adicionales.

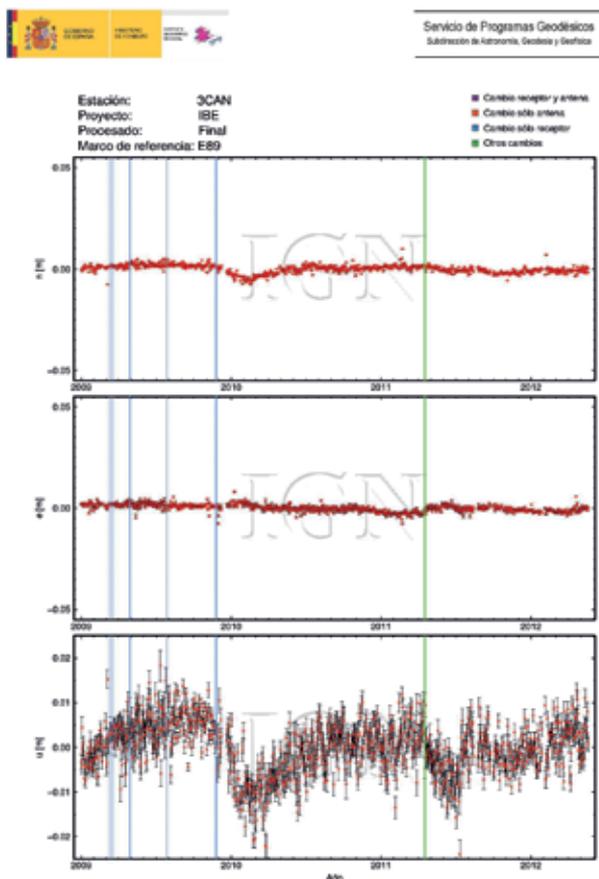


Figura 10. Serie Temporal de la estación 3CAN (Tres Cantos, Madrid) en coordenadas topocéntricas locales con barras de error marco de referencia terrestre europeo (ETRF2000).

## Conclusiones

El proyecto IBERRED detecta movimientos en la superficie terrestre con una precisión y distribución hasta hace pocos años difíciles de imaginar. Se demuestra que, dado el seguimiento constante que realiza, es la más adecuada de las herramientas posibles para cualquier estudio sobre los sistemas y marcos de referencia que utilizamos. Han sido varios los gestores de redes GNSS regionales que han pedido unas coordenadas adecuadas para sus estaciones al IGN.

El proyecto IBERRED ha sido el productor de esas coordenadas demostrando su utilidad práctica, ya que esas coordenadas son básicas cuando utilizamos las redes de correcciones en tiempo real. Las coordenadas calculadas, precisas y actualizadas, son el punto de partida para otros proyectos meteorológicos, como E-GVAP. IBERRED se comporta como un sensor de los movimientos de nuestro territorio, sus series nos muestran una gran variedad de fenómenos, ya sean instrumentales o físicos, como deformaciones de origen tectónico, volcánico o hidrológico.

Pero este proyecto dejaría de tener sentido si no continua actualizándose y mejorando. En primer lugar, en cuanto a las redes procesadas, que deberá tender a la completitud. La comunicación con los gestores de las distintas redes debería ser más activa y comprometida por ambas partes. **Pero técnicamente también se deberá mejorar la forma de estudio de las series, con análisis espectrales y análisis de ruido.** Se debe normalizar la forma en que se describen las anomalías de las series: saltos, ventanas de datos erróneos, puntos fuera de tendencia, que permitan su aprovechamiento en los reprocesamientos.

En breve se espera la publicación de productos reprocesados IGS, en IGS08, lo que implicará un nuevo reprocesamiento. El cálculo debe aprovechar las observaciones GLONASS y Galileo en un futuro cercano. Los resultados en las Islas Canarias han permitido detectar no sólo deformaciones puntuales, sino también permitirán estudios geodinámicos del área a más largo plazo. Muchas de las estaciones son de reciente instalación y es pronto para obtener conclusiones del archipiélago.

Este proyecto no sería posible sin el trabajo de tantas personas y la implicación de todas aquellas instituciones, Comunidades Autónomas y empresas que han hecho posible la existencia de cada una de las estaciones permanentes GNSS procesadas, que además en su gran mayoría son de disposición pública y gratuita. Nuestro agradecimiento por el gran valor que tiene su trabajo para la Geodesia.

## Referencias

- [ALT11-1] Z. Altamimi, X. Collilieux, L. Métivier, "ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame", *Journal of Geodesy* 2011, vol. 85 pp. 1332-1394, Springer Science + Business Media, 0949-7714 electronic: 1432-1394
- [ALT11-2] Z. Altamimi, "European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89)", <http://etrs89.ensg.ign.fr/>
- [BLE02] G. Blewitt, D. Lavallee, "Effect of annual signals on geodetic velocity", *Journ. Geophys. Res.*, Vol. 107(B7), 10.1029/2001JB000570, 2002.
- [BOU11] C. Boucher, Z. Altamimi, "Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign", <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>
- [BRU09] C. Bruyninx, J. Legrand, F. Roosbeek, "EPN Status and Network Management" Florence, Italy, May 27-30 2009, EUREF Publication, *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (En prensa)*
- [CAN12] M.A. Cano, L. García-Cañada, M.J. García-Arias, E. González, M.J. Moreno, J. Pereda, "Trabajos Geodésicos del IGN en el Hierro Durante la crisis volcánica" X Topcart 2012, I Congreso Iberoamericano de Geomática y Ciencias de la Tierra en este volumen.
- [DAT07] R. Datch, P.F., Hugentobler, M. Meindl "User Manual of the Bernese GPS Software Version 5.0" (2007)
- [DOW09] J.M. Dow, R. E. Neilan, C. Rizos, "The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems", *Journal of Geodesy* (2009) vol. 83, pp 191–198, DOI: 10.1007/s00190-008-0300-3
- [EST99] L. H. Estey, C. M. Meertens, "TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data", *GPS Solutions* (pub. by John Wiley & Sons), Vol. 3, No. 1, pp. 42-49, doi:10.1007/PL00012778, 1999.
- [FER09] R. Ferland, M. Piraszewski, "The IGS-combined station coordinates, earth rotation parameters and apparent geocenter", *Journal of Geodesy* 2009, vol. 83 p. 385, Springer Science + Business Media, 0949-7714 electronic: 1432-1394.
- [GEN10] G. Gendt, J. Griffiths, Th. Nischan, J. Ray, "IGS reprocessing -- Summary of orbit/clock combination & first quality assessment (2010)" presentation at IGS 2010 Workshop, Newcastle upon Tyne, UK, 30 June 2010.
- [GON11] P.J. González, J. Fernández, "Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multitemporal satellite radar interferometry" *Geology*, Junio 2011, vol. 39, pp. 551-554, first published on May 4, 2011, doi:10.1130/G31900.1
- [GUR05] W. Gurtner, L. Estey (2005): "RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11". <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex211.txt>.
- [QUI04-1] R. Quirós, M. Valdés, L. Lozano, M.A. Cano, J.A.S. Sobrino, "Análisis de series de estaciones GPS permanentes ibéricas en el IGN" 4ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Figueira da Foz (Portugal). 3-7 febrero 2004.
- [QUI04-2] R. Quirós, J.A.S. Sobrino, M.A. Cano, M. Valdés, "National Report of Spain: Spanish national GPS Reference Stations Network (ERGPS)". *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. Band 33. EUREF Publication No.13. Frankfurt am Main* 2004. ISBN 3-89888-885-1 pp 283.
- [LEI95] A. Leick, "GPS Satellite Surveying" (1995), Wiley, ISBN 0-471-30626-6.
- [ROM09] P.M. Romero, E. Cuevas, R. Ramos, M. Valdés, M. Schneider, "Programa de vapor de agua en columna del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña: Análisis e Intercomparación de diferentes Técnicas de Medida" de la Serie de Notas Técnicas digitales del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la AEMET Nota Técnica digital Nº 1, Abril 2009.
- [ROT06] M. Rothacher, D. Thaller, "IERS Message nº 103"

(2006). <http://www.iers.org>.

- [VAL08] M. Valdés, L. García-Cañada, M.A. Cano, "Estado actual de procesamiento en el Centro de Análisis Local de EUREF (IGE)" 6ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Tomar (Portugal) Febrero de 2008.

- [VED05] H. Vedel, "E-GVAP, Meteorology and Geodesy Sinergy" Presentation of E-GVAP at EUREF Symposium Vienna, Junio 2005.
- [WIL08] S.D.P. Williams "CATS : GPS coordinate time series analysis software" GPS Solutions, Vol. 12, Nº 2, Marzo 2008, pp. 147-153.

## Sobre los autores

### **Marcelino Valdés Pérez de Vargas:**

Ingeniero Técnica en Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Ingeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Diplomado de Estudios Avanzados en el programa de Geodesia y Geomática del departamento "Ingeniería Cartográfica, Geodesia, y Fotogrametría-Expresión Gráfica".

Miembro del Cuerpo de Ingenieros Técnicos en Topografía desde 1999 y del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos desde el 2004, ejerciendo como tal en la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, actualmente en la Subdirección General de Geodesia y Cartografía.

Profesor Asociado en el Departamento de Estratigrafía de la Facultad y Escuela Universitaria de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid desde el 2000.

### **Miguel Ángel Cano Villaverde:**

Licenciado en Ciencias Matemáticas, especialidad de Astronomía y Geodesia por la Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Diplomado de Estudios Avanzados en el programa de doctorado Ciencia y Tecnología de la Ingeniería Geodésica y Cartográfica. Miembro del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos del IGN desde 2001.

Jefe del Servicio de Programas Geodésicos desde el año 2006, Subdirección General de Geodesia y Cartografía, Dirección General del Instituto

Geográfico Nacional de España.

Secretario de la Sección de Geodesia de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica. Ha sido Profesor Asociado durante 3 años en el Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartográfica de al ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía.

### **Laura García Cañada:**

Licenciada en Ciencias Matemáticas, especialidad de Astronomía y Geodesia, por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Diplomada en Estudios Avanzados en Geodesia, Geofísica y Meteorología (UCM).

Forma parte del Servicio de Vigilancia Volcánica del IGN desde 2007 como Titulada Superior de Actividades Técnicas y Profesionales en el Observatorio Geofísico Central, Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional de España.

Anteriormente ha sido Ayudante en la sección departamental de Astronomía y Geodesia (UCM) durante tres años y a trabajado como titulada superior y becaria FPI en el CSIC.

A lo largo de estos años ha participado en diversos proyectos de investigación competitivos y su trabajo de investigación, realizado principalmente en procesado, análisis y control de deformaciones con GPS, ha dado lugar a la presentación de más de 20 comunicaciones en congresos y publicaciones.

## Gestor S&I: nueva herramienta web para el seguimiento de la directiva INSPIRE

El IGN, en su calidad de Secretaría Técnica del Consejo Superior Geográfico y presidente del CODIGE, ha desarrollado y acaba de publicar el Gestor S&I, un portal web dedicado al seguimiento de la implantación de la directiva INSPIRE en España. Como complemento al geoportal de la IDEE, el Gestor S&I persigue dos grandes objetivos. En su apartado público, contar las actividades de seguimiento e informe INSPIRE que anualmente se están llevando a cabo en España y presentar los resultados.

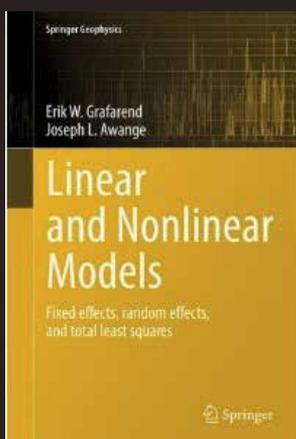
En su apartado privado, servir como herramienta para recopilar la información para el seguimiento anual que debe ser proporcionada por los organismos de la AGE y las Comunidades y Ciudades Autónomas. El Gestor S&I va a ser gestionado por el Grupo Técnico de Trabajo Seguimiento e Informe (GTT S&I), quien actualmente se encarga de llevar a cabo estos trabajos por indicación del CODIGE.

Publicado por Joan Capdevila

<http://blog-idee.blogspot.com.es>



## Applications of Linear and Nonlinear Models. Fixed Effects, Random Effects, and Total Least Squares



Autores: Erik, W. Grafarend  
y Joseph L. Awange

Editorial: Springer

ISBN: 978-3-642-22240-5

En el libro Applications of Linear and Nonlinear Models. Fixed Effects, Random Effects, and Total Least Squares, los autores analizan en profundidad el problema del tratamiento de

las observaciones con modelos lineales y no lineales tanto desde un punto de vista estocástico como algebraico. Este es un tema de gran interés no solamente para geodestas

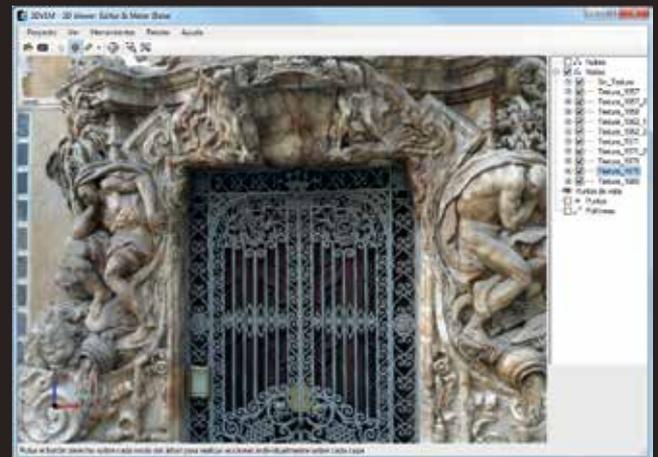
o matemáticos sino para los ingenieros en general ya que en el mundo de la experimentación es habitual la aproximación de las observaciones a modelos lineales, modelos linealizables y modelos no lineales. Estos últimos a veces pueden ser transformados en ecuaciones polinómicas pero a diferencia de los modelos lineales, existen para ellos múltiples soluciones que son discutidas a lo largo del libro en diferentes casos y problemas resueltos.

Este libro está escrito con un estilo comprensible, dentro de la dificultad de la temática que aborda, para personas no especialistas en el tema del mismo, con la inclusión de fundamentos, explicaciones e incluso con figuras, que facilitan su lectura. Es en definitiva un nuevo libro de referencia para aquellos que trabajamos con observaciones experimentales y con la garantía que supone la autoría del profesor Erik W. Grafarend.

Por: Andres Seco Menese

## Nuevo programa para la gestión de nubes de puntos y de modelos fotorrealísticos 3D 3DVEM – Viewer, Editor & Mete

El nuevo programa gratuito 3DVEM – Viewer, Editor & Meter surge al mercado ante la necesidad de facilitar a los usuarios de la información 3D



Modelo fotorrealístico 3D de la portada de un monumento histórico-artístico

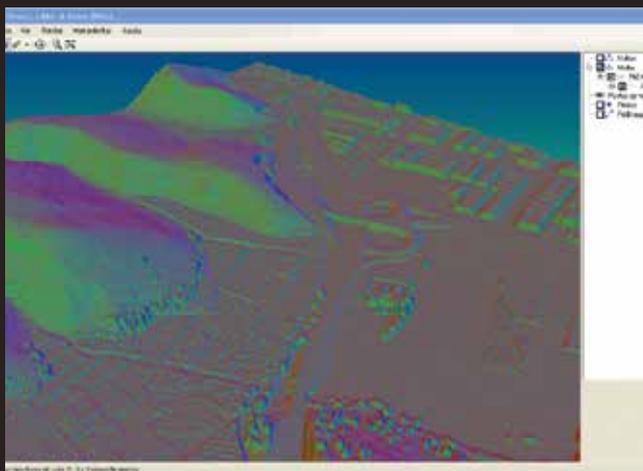
una herramienta intuitiva, de muy fácil uso y al alcance de todo el mundo, que permita gestionar los grandes volúmenes de información 3D generados con las soluciones fotogramétricas actuales, bien sea mediante imágenes digitales o con los escáneres láser (LiDAR) tanto aéreos como terrestres.

La herramienta se puede utilizar en distintas disciplinas, bien sea arquitectura, arqueología, geología, urbanismo, medio ambiente, minería, medicina, industria, etc., en

**EL PRIMER UAV CIVIL DE MERCADO CON TECNOLOGÍA MILITAR**

- Capaz de volar a solo 43km/h, evitamos arreste de pixel.
- El sistema inercial más preciso del mercado, solo 0.01°.
- La mayor autonomía, 120 minutos, equivalente a 1000Ha.
- Precisiones homogéneas, volamos siguiendo el perfil del terreno.
- Aterrizamos con paracaídas, no golpeamos ni cámara, ni fuselaje.





Visualización enfatizada de un MDS LiDAR de PNOA

tanto que exista información XYZ con niveles de intensidad o en color. El programa gestiona nubes de puntos y/o modelos fotorrealísticos 3D.

A diferencia de otras herramientas existentes en el mercado, esta solución da respuesta a la demanda creciente de información 3D, de uso multidisciplinar, de manera que los expertos que reciban la información puedan realizar sus propias anotaciones, mediciones, análisis y/o levantamientos. Además, el programa contempla diferentes modos de renderizado de la información presentada, de manera que pueda adecuarse la presentación del producto final a las necesidades del cliente final.



Nube de puntos en color de una Falla

El programa 3DVEM ha sido desarrollado por el Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE) del Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universitat Politècnica de València. 3DVEM es el núcleo de una serie de módulos que se adaptarán a las necesidades de los productores de información métrica mediante soluciones de muy bajo coste. Más in-

formación referente a este producto puede consultarse en: <http://goo.gl/WsqEU>.

## Acuerdo de distribución con TRACASA 28 February 2013

Pamplona, 21 de febrero de 2013 - TRACASA, empresa pública del gobierno de Navarra, firma un acuerdo con Infoterra SGSA, para la distribución de toda la cartera de productos de la División de Geoinformación de Astrium Services. José María Jiménez Bolea, director general de TRACASA, destacó que "este acuerdo con Infoterra nos permitirá disponer de mayores recursos para la captura primaria de datos y nuevos servicios ante la demanda de servicios de geoinformación en todo el mundo, que complementan de forma inmediata la gama de servicios de TRACASA".

Joan Romeu Ripoll, director general de Infoterra SGSA, ha resaltado que "estamos seguros de que este acuerdo será interesante para ambas compañías. Estamos seguros que sumar una empresa con la experiencia y tradición de TRACASA dentro de la red de distribuidores de Astrium GEO, facilitará nuestro objetivo de llegar de forma más directa a las empresas e Instituciones que utilizan los productos de Geo-Información en España y en el resto del Mundo. La total operatividad de la constelación de satélites ópticos Pleiades1A y 1B, junto con SPOT6 y próximamente SPOT7 nos permiten ofrecer al mercado imágenes y productos de muy alta resolución en tiempos record. Esto, sumado a la constelación radar formada por Terrasar X y Tandem X, utilizados para latitudes con problemas de cobertura nubosa, hacen que la oferta de Astrium sea una de las más competitivas del mercado.

### Acerca de TRACASA

TRACASA es una empresa dedicada a proporcionar servicios cartográficos, catastrales, estudios territoriales así como al desarrollo e implementación de sistemas de información geográficos. Los proyectos realizados en el sector público y en el privado, en España y fuera de ella, acreditan a TRACASA como una empresa líder del sector.

### Acerca de Infoterra Servicios de Geoinformación

Infoterra SGSA, con oficinas en Barcelona y Madrid, forma parte de la división de Geoinformación de Astrium Services, líder mundial del mercado de la geoinformación, reuniendo en una única organización operativa la experiencia, capacidades, y acceso a nuevas constelaciones de satélites ópticos y radar de última generación.

# Suscripción a la revista Mapping Subscriptions and orders

## Datos del suscriptor / Customer details:

Nombre y Apellidos / Name and Surname: \_\_\_\_\_  
Razón Social / Company or Institution name: \_\_\_\_\_ NIF-CIF / VAT Number: \_\_\_\_\_  
Dirección / Street address: \_\_\_\_\_ CP / Postal Code: \_\_\_\_\_  
Localidad / Town, City: \_\_\_\_\_ Provincia / Province: \_\_\_\_\_  
País - Estado / Country - State: \_\_\_\_\_ Teléfono / Phone: \_\_\_\_\_  
Móvil / Mobile: \_\_\_\_\_ Fax / Fax: \_\_\_\_\_  
e-mail: \_\_\_\_\_ Fecha / Order date: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTION:**

- España / Spain : 60€
- Europa / Europe: 90€
- Resto de Países / International: 120€

Precios de suscripción por año completo 2013 (6 números por año) Prices year 2013 (6 issues per year):

**NÚMEROS SUELTOS / SEPARATE ISSUES:**

- España / Spain : 15€
- Europa / Europe: 22€
- Resto de Países / International: 35€

Los anteriores precios incluyen el IVA. Solamente para España y países de la UE The above prices include TAX Only Spain and EU countries

## Forma de pago / Payment:

Transferencia a favor de eGeoMapping S.L. al número de cuenta CAIXABANK, S.A.:

**2100-1578-31-0200249757**

Bank transfer in favor of eGeomapping S.L., with CAIXABANK, S.A.:

**IBAN nº: ES83-2100-1578-3102-0024-9757 (SWIFT CODE: CAIXAESBXXX)**

## Distribución y venta / Distribution and sale:

Departamento de Publicaciones de eGeoMapping S.L.

C/ Linneo 37. 1ºB. Escalera central. 28005-Madrid

Tels: (+34) 91 301 05 64 ; (+34) 655 95 98 69

Fax: (+34) 91 746 70 06

e-mail: [info@mappinginteractivo.es](mailto:info@mappinginteractivo.es)

[www.mappinginteractivo.es](http://www.mappinginteractivo.es)

Firma \_\_\_\_\_

**1 Envío y aceptación.**- Los trabajos para la publicar en la revista MAPPING en su versión papel, tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente y que no hayan sido enviados a otras revistas. Es única responsabilidad del autor, garantizar que la obra enviada es inédita, no habiendo sido publicada anteriormente. Se devolverán a sus autores los que no cumplan con los requisitos descritos en estas normas.

**2 Admisión de originales.**- Todos los originales recibidos serán examinados como mínimo por dos evaluadores externos en la modalidad de «revisión por pares», cuyas sugerencias se enviarán a los autores con el fin de que realicen las modificaciones pertinentes previa a su publicación. La extensión de los originales no podrá ser superior a 8000 palabras, incluyendo tablas y figuras. Cada figura se considerará equivalente a 200 palabras.

**3 Título.**- El título de los trabajos deberá ser explícito y preciso, reflejando sin lugar a equívocos su contenido, en español e inglés. A continuación, se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y direcciones de correo electrónico de las personas de contacto.

**4 Resumen.**- Los artículos deberán ir precedidos de un resumen en español e inglés (150 palabras cada uno como máximo) que incluirá una descripción clara de los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo desarrollado.

**5 Palabras clave.**- Se incluirán al menos 4 palabras clave en español y en inglés.

**6 Redacción del texto y presentación.**- La redacción será lo más clara y concisa posible. Los trabajos deberán enviarse en formato electrónico Microsoft Word u Open Office, con las imágenes en su lugar, a la dirección de correo electrónico [info@mappinginteractivo.es](mailto:info@mappinginteractivo.es), y en caso necesario se enviará un CD a la empresa responsable de la gestión y dirección de la revista Mapping:

**eGeoMapping S.L.**  
C/ Jerez de los Caballeros nº2  
Centro de Negocios BBclement  
28042 – Madrid  
España

Se aceptarán notas a pie de página, siempre que sean las mínimas indispensables. La publicación impresa se realizará en color.

**7 Bibliografía.**- La bibliografía deberá reducirse a la indispensable que tenga relación directa con el trabajo enviado. Se evitarán los comentarios extensos sobre las referencias mencionadas. Las citas en el texto se harán mediante números entre paréntesis. Las referencias citadas se incluirán siempre a final del trabajo presentado y numeradas correlativamente. Cuando la referencia disponga de DOI (Digital Object Identifier) deberá indicarse al final de la misma. En cada cita se consignarán los datos en el formato APA:

**Para libros de un autor:**

- Jurado, Y. (2002). *Técnicas de investigación documental*. México: Thompson.
- Muñoz, R. (2002). *Estudio práctico de la fusión y escisión de sociedades*. México: ISEF.

Se anota un punto después del paréntesis, el título se escribe en cursiva y, si la obra es en lengua española, las palabras del título se escriben con minúscula, salvo por supuesto la primera palabra y los nombres propios; en el caso de las obras en inglés, los sustantivos, los verbos y los adjetivos se escriben con mayúscula inicial.

**Para libros de dos o más autores:**

- Kurosawa, J., y Armistead, Q. (1972). *Hairball: An intensive peek behind the surface of an enigma*. Hamilton, Ontario, Canada: McMaster University Press.

**Para capítulo en un libro:**

- McDonalds, A. (1993). *Practical methods for the apprehension and sustained containment of supernatural entities*. In G. L. Yeager (Ed.), *Paranormal and occult studies: Case studies in application* (pp.

42–64). London, England: OtherWorld Books.

**Para Tesis o disertación (de doctorado o de maestría):**

- McDonalds, A. (1991). *Practical dissertation title* (Tesis doctoral no publicada). Gainesville, Fl.: University of Florida.

**Para artículo en un diario impreso:**

- Wrong, M. (2005, 17 de agosto). "Never gonna give you up," says mayor. *Toronto Sol*, p. 4.
- Rottweiler, F. T., & Beauchemin, J. L. (1987). *Detroit and Narnia: Two foes on the brink of destruction*. *Canadian/American Studies Journal*, 54, 66–146.
- Kling, K. C., Hyde, J. S., Showers, C. J., & Buswell, B. N. (1999). *Gender differences in self-esteem: A meta-analysis*. *Psychological Bulletin*, 125, 470–500. doi:10.1037/0033-2909.125.4.470

**Para artículo en una sección de un periódico con numeración no continua:**

- Crackton, P. (1987). *The Loonie: God's long-awaited gift to colourful pocket change?* *Canadian Change*, 64(7), 34–37.
- Si se especifica el volumen, irá en cursivas. Si sólo se especifica el número, no es necesario.

**Para artículo en una revista semanal:**

- Henry, W. A., III. (1990, 9 de abril). *Making the grade in today's schools*. *Time*, 135, 28–31.

**Para artículo en una revista semanal que también tiene sitio web:**

- Hoff, K. (2010, 19 de marzo). *Fairness in modern society*. *Science*, 327, 1467–1468. doi:10.1126/science.1188537

**Para hacer referencias electrónicas:**

- Para referencias a sitios de Internet, artículos en línea y similares, el estilo APA tiene algunas reglas básicas:
- Incluir la fecha de revisión solo cuando el contenido puede cambiar (por ejemplo en wikis).
- Incluir todos los otros detalles relevantes para la búsqueda.

**8 Tablas, figuras y fotografías.**- Se enviarán solo tablas y figuras que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto. Cada figura tendrá su pie explicativo, indicándose el lugar aproximado de colocación. Las tablas y figuras se mandarán en ficheros aparte a ser posible en formato comprimido. Las fotografías deben enviarse en formato JPEG o TIFF, las gráficas en EPS o PDF y las tablas en word, excel u open office. Las fotografías y figuras deben ser diseñadas con una resolución mínima de 300 píxeles por pulgada (ppp).

**9 Fórmulas y expresiones matemáticas.**- Debe perseguirse la máxima claridad de escritura, procurando emplear las formas más reducidas o que ocupen menos espacio. En el texto se numerarán entre corchetes.

**10 Pruebas.**- Se enviarán a los autores las pruebas de imprenta en formato electrónico y deberán revisarlas en un plazo máximo de una semana. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

**11 Publicación «en-línea».**- Los trabajos pueden publicarse «en-línea» posteriormente a la publicación impresa en formato papel, en la página web de Mapping ([www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com)). Esta publicación «en-línea» podrá tener su versión en inglés suministrada por el propio autor, sometida a correcciones por el departamento de traducciones de la revista Mapping.

**12 Entrega de ejemplares.**- De cada trabajo publicado, se entregará a todos los autores un archivo en formato PDF, revista completa en formato electrónico mediante enlace descargable y 3 ejemplares en formato papel.

**13 Normativa y jurisprudencia.**- El artículo después de ser publicado en la revista Mapping seguirá siendo de Propiedad Intelectual de su autor.

**14 Otras consideraciones:** Se evitará siempre que sea posible toda información que pueda parecer publicidad o propaganda injustificada de cualquier marca comercial o solución tecnológica concreta.

Las únicas menciones a marcas, soluciones, empresas y nombres comerciales se harán siempre por motivos estrictamente científico-técnicos y con la máxima objetividad y neutralidad.

Se evitará también toda información que pueda ser considerada opiniones subjetivas no fundamentadas y razonadas. Todo lo publicado debe ser información objetiva y demostrable, apoyada en evidencias o bien, opiniones argumentadas y justificadas, nunca gratuitas.

# Geotronics y Trimble: Precisión, Tecnología y Fiabilidad.

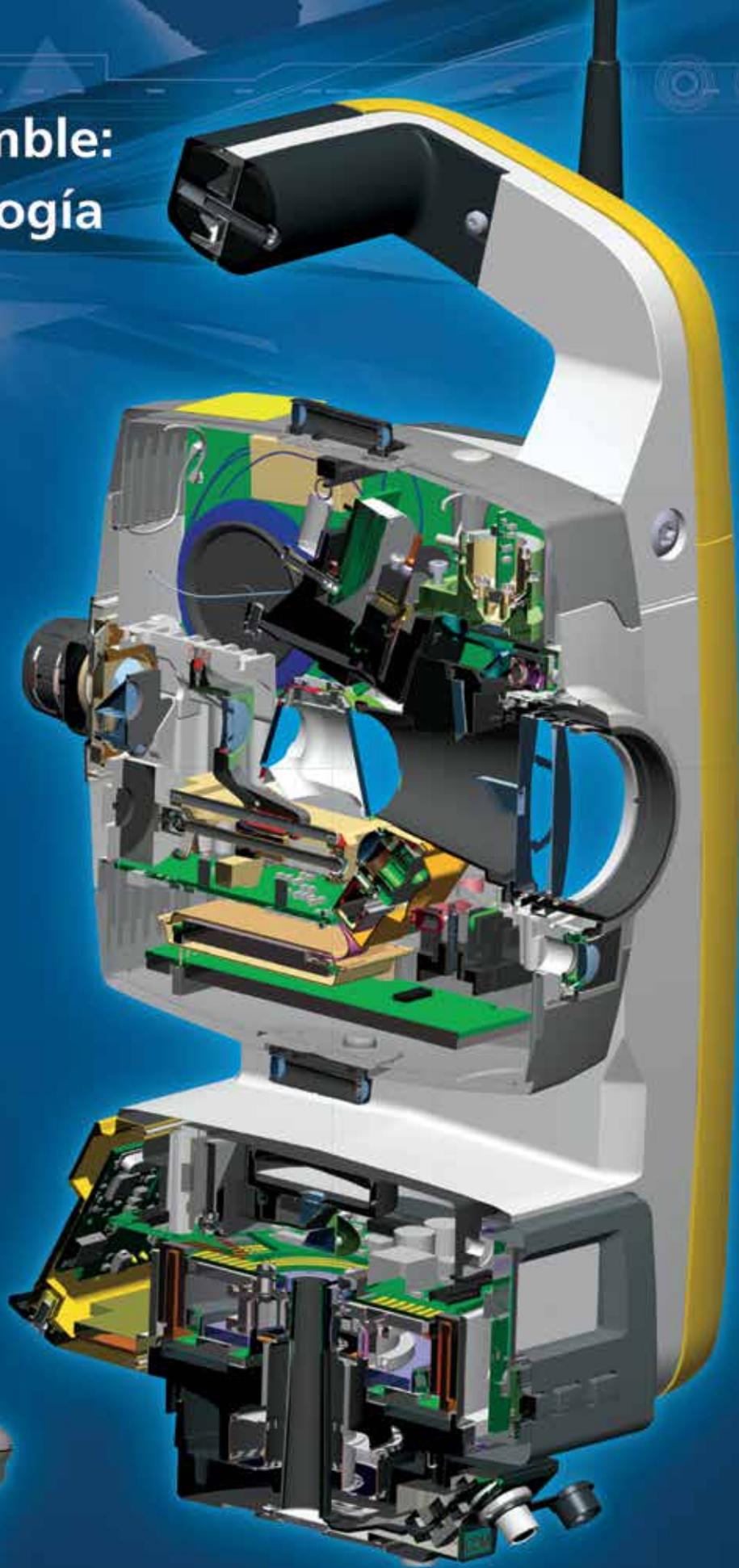
**Geotronics** es Distribuidor Oficial de Trimble Survey para la zona centro de España. Trimble está **a la vanguardia de la Tecnología desde hace más de 60 años.** **Geotronics** le acerca las soluciones Trimble para obtener los mejores resultados en sus proyectos.

**Venta de instrumentos topográficos y accesorios**

**Servicio de equipos y configuraciones en alquiler**

**Servicio técnico oficial autorizado Trimble**

**Servicio de soporte postventa y formación**



Geotronics, S.L. Calle Dublín, 1, planta 1ª  
Polígono Európolis 28230 Las Rozas (Madrid) Tel. + 34 902 30 40 75  
Fax. + 34 916 370 074 - [www.geotronics.es](http://www.geotronics.es) - [geotronics@geotronics.es](mailto:geotronics@geotronics.es)



MINISTERIO DE FOMENTO  
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

# cartografía digital



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

Oficina central y comercialización:  
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID  
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13  
e-mail: [consulta@cniq.es](mailto:consulta@cniq.es)

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS

<http://centrodedescargas.cniq.es/CentroDescargas/index.jsp>

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN 1000, 50, 200, 25),

MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50,25),

MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),

LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,  
ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA, CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.

REVISTA MAPINGUOL.22 N°157 ENERO-FEBRO 2013 ISSN: 1.131-9.100