

REFERENCIACIÓN DE PROYECTOS TOPOGRÁFICOS

MARCOS DE REFERENCIA

CONCEPTOS BÁSICOS

Todo proyecto topográfico requiere disponer de una adecuada **georreferenciación**, ya que la posición espacial de un punto se representa habitualmente por medio de tres **coordenadas** referidas a un determinado **sistema de referencia**.

Para que las coordenadas sean consistentes, dicho sistema de referencia debe estar perfectamente definido, es decir, el **origen** del sistema y los **ejes** que lo conforman han de fijarse con una precisión suficiente para los fines perseguidos.

Por otra parte, un **datum geodésico** (=conjunto de parámetros que describe la relación de un sistema de referencia de coordenadas con la Tierra) suele incluir una **superficie de referencia** de un tamaño y forma convencionalmente elegidos – habitualmente un elipsoide de revolución–, cuyo origen, orientación y escala quedan definidas por un **marco de referencia terrestre**, regional o global.

En la actualidad, el avance tecnológico conlleva la utilización de **marcos de referencia globales** y obliga, en aquellos casos en los que se requiera una muy elevada precisión, a considerar además su **época de referencia**, introduciendo así el tiempo como una cuarta coordenada¹.

ANTECEDENTES

A finales del siglo XIX la mayoría de los países europeos disponían de un sistema geodésico de referencia propio (geoexcéntrico) sobre el que basaron el establecimiento de las respectivas cartografías nacionales.

La implantación de la red geodésica española comenzó en 1852, finalizando su observación en la década de los años 30 del siglo pasado. Para llevar a cabo los cálculos correspondientes se adoptó como elipsoide de referencia el de Struve, con datum en el Observatorio Astronómico de Madrid, tomando como origen de longitudes el meridiano de dicho lugar. La proyección cartográfica elegida fue la poliédrica.

Tras la II Guerra Mundial, el Servicio Cartográfico del Ejército de los Estados Unidos (*Army Mapping Service, AMS*) procedió a realizar una compensación expedita de las distintas redes geodésicas de los países de la Europa occidental, previa definición

¹ Su omisión implica la adopción de un modelo de Tierra “rígida”.

del Datum europeo 1950 (**ED50**), obteniendo por primera vez una red geodésica bidimensional unificada para el continente, con una precisión global de unos 20 m.

Poco tiempo después, la Asociación Geodésica Internacional (**IAG**) –organismo perteneciente a la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (**IUGG**)– estableció la subcomisión para el Reajuste de la Triangulación Europea (**RETrig**) con el objeto de mejorar la calidad del ED50. Tras una serie de aproximaciones, como el ED77 y el ED79, se obtuvo como solución definitiva el **ED87**, con una garantía posicional mejor que un metro.

Manteniendo esta línea de actuación, en 1987 la IAG decidió crear la subcomisión **EUREF** (*European Reference Frame*) con el fin de dotar de un marco de referencia geocéntrico al continente europeo mediante técnicas espaciales, así como su conexión con otros marcos y su mantenimiento en el tiempo². De forma prácticamente simultánea, el Comité Europeo de Responsables de la Cartografía Oficial, **CERCO** –actualmente **EUROGEOGRAPHICS**³– constituyó el Grupo de Trabajo VIII (*WG VIII*), estableciéndose una estrecha colaboración entre ambos órganos para lograr la realización del Marco de Referencia Europeo.



International Union of Geodesy and Geophysics

IUGG



International Association of Geodesy

IAG



European Reference Frame

EUREF



Comité Européen des Responsables de la
Cartographie Officielle

EUROGEOGRAPHICS

En EUREF se encuentran integrados 36 países y dispone de 192 estaciones distribuidas por toda Europa y las regiones vecinas.

SISTEMAS DE REFERENCIA GLOBALES

² EUREF se estableció en el seno de la Commission X –Global and Regional Geodetic Networks– creada para dar continuidad a las labores desarrolladas por la Subcomisión RETrig. En la actualidad, es la Comisión 1 de la IAG la encargada de la definición de los marcos de referencia, asignándose a la Comisión 1.3 el establecimiento de los marcos de referencia regionales.

³ Eurogeographics agrupa a 50 organismos cartográficos y catastrales de 46 países europeos. Su misión consiste en diseñar una infraestructura de datos espaciales europeos de utilidad para los gobiernos, empresas y ciudadanos del continente.

El advenimiento de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (**GNSS**), así como la necesidad de unificar la cartografía mundial, obligaron a las autoridades internacionales a dotarse de sistemas geodésicos de referencia globales.

En 1988 la IUGG y la Unión Astronómica Internacional (IAU) establecieron el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra, **IERS** (*International Earth Rotation Service*), con el encargo de establecer marcos de referencia globales muy precisos.

En esta línea de trabajo, el IERS ha definido el Sistema Internacional de Referencia Terrestre, **ITRS** (*International Terrestrial Reference System*), el cual se materializa en el terreno por medio de una serie de estaciones fiduciales repartidas por todo el planeta que constituyen el Marco de Referencia Terrestre, **ITRF** (*International Terrestrial Reference Frame*), del que se obtienen soluciones anualmente (*ITRF_{yy}*)⁴, mediante técnicas de observación muy precisas, tales como:

- **VLBI**: Interferometría de muy larga base (*Very Long Baseline Interferometry*).
- **LLR**: Telemetría láser a la Luna (*Lunar Laser Ranging*).
- **GPS**: Sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*).
- **SLR**: Telemetría láser a satélites (*Satellite Laser Ranging*).
- **DORIS**: Sistema Doppler de seguimiento de satélites (*Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite system*).

Las coordenadas ITRF89 de las 36 estaciones europeas IERS, definen el Marco de Referencia Terrestre Europeo 1989, **ETRF89** (*European Terrestrial Reference Frame 1989*), que rota con la parte estable de la placa euroasiática⁵.

Aprovechando la infraestructura de la *ETRF89*, la subcomisión EUREF llevó a cabo una campaña GPS, denominada **EUREF89**, mediante la cual se determinaron coordenadas de 71 estaciones adicionales en Europa –14 de ellas en España–. Entre 1990 y 1993 posteriores campañas de EUREF extendieron la red hacia el Noroeste de Europa y por los países del Este, incluyendo Turquía.

En 1992, la subcomisión EUREF adoptó el elipsoide **GRS80** (*Geocentric Reference System 1980*, también conocido como *New International*) para expresar el sistema ETRF⁶.

Tras obtenerse las coordenadas ETRF, han comenzado los cálculos de series de parámetros de transformación entre distintos sistemas, especialmente:

- ETRF89 y ED50.

⁴ Los números yy tras la designación ITRF especifican el último año cuyos datos fueron empleados en el cálculo de la red. La primera solución ofrecida fue la ITRF89 y la más reciente es la ITRF05.

⁵ Los marcos de referencia regionales están ligados a una placa tectónica, de manera que los puntos fiduciales se desplazan solidariamente con ella y se presupone que sus posiciones relativas no cambian excepto por algún movimiento tectónico local.

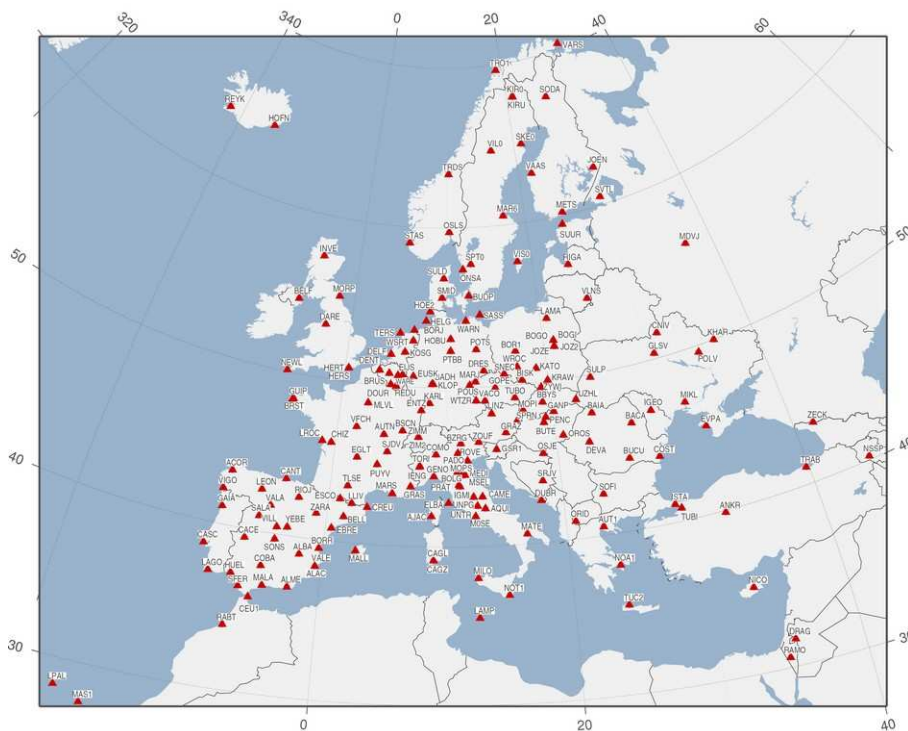
⁶ ETRS89 y WGS84, el sistema de referencia propio del GPS, son prácticamente equivalentes para la mayor parte de las aplicaciones topo-cartográficas, pudiéndose considerar en muchos casos que no resulta necesario efectuar una transformación entre ambos. De hecho, el elipsoide GRS80 y el WGS84 sólo difieren ligeramente en la excentricidad. No obstante, para trabajos con altos requerimientos de calidad se debe utilizar ETRS89 por ser más preciso que la última versión de WGS84.

INGENIERÍA TÉCNICA TOPOGRÁFICA

- ETRF89 y ED87
- ETRF89 y datums nacionales.
- ETRF89 e ITRF (recalculándose anualmente).
- ETRF89 y WGS84 (recalculándose en periodos de unos 10 años debido a la tectónica de placas).

Las coordenadas del marco de referencia ETRF89 están definidas con una precisión global de 1 cm, mejorando en dos órdenes las del sistema ED87.

La estabilidad a largo plazo del ETRS89 se basa en las observaciones realizadas por la Red EUREF de estaciones GPS Permanentes, **EPN**, que se puede considerar como una densificación en Europa de la red global del Servicio Internacional GNSS, **IGS**⁷.



RED EUREF DE ESTACIONES GPS PERMANENTES



International Earth Rotation Service

IERS



International GNSS Service

IGS

⁷ Además de la propia red de estaciones permanentes, la EPN dispone de Centros Operativos (*Operational Centres*, OC), Centros de Datos Locales (*Local Data Centres*, LDC), Centros de Datos Regionales (*Regional Data Centres*, RDC), Centros de Análisis Locales (*Local Analysis Centres*, LAC), Centros de Análisis Regionales (*Regional Analysis Centres*, RAC) y un Coordinador de la red (*Network co-ordinator*).

El IGS constituye una agrupación de más de 200 organismos de todo el mundo que recaban datos de estaciones permanentes GPS y GLONASS para generar productos GNSS de precisión.



EUREF Permanent GPS tracking Network

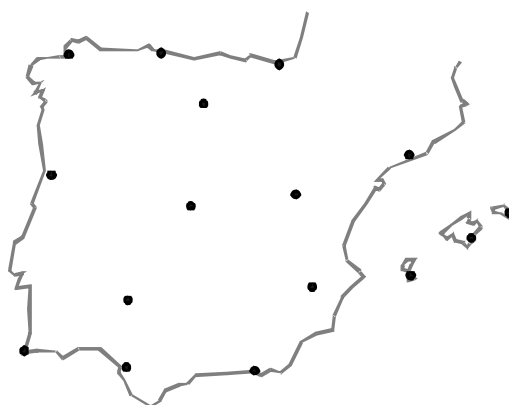
EPN

En 1999, el Grupo de trabajo para Referenciación Espacial (*Spatial Reference Workshop*) –dependiente de la IAG– recomendó a la Comisión Europea el uso de tres proyecciones cartográficas para la representación plana de las coordenadas elipsoidales:

- Transversa de Mercator (TMzn): para mapas topográficos a escalas mayores o iguales a 1/500.000.
- Cónica Conforme de Lambert con dos paralelos automecoicos (LCC): para mapas topográficos de escala mayor a 1/500.000.
- Acimutal Equivalente de Lambert (LAEA): para fines estadísticos y aplicaciones que requieran una proyección equivalente.

ESTABLECIMIENTO Y DENSIFICACIÓN EN ESPAÑA DE LA RED EUREF89

Para el establecimiento de la red EUREF89 en la Península Ibérica se eligieron un total de 16 estaciones, 14 de ellas en España –incluidas una de SLR y otra de VLBI– y dos más en Portugal.



EUREF-89

La densificación de la red EUREF89 se acometió por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Servicio Geográfico del Ejército (SGE; actualmente Centro Geográfico del Ejército) y el Real Observatorio de la Armada (ROA), en colaboración con el Instituto Portugués de Cartografía e Cadastro (IPCC; actualmente Instituto Geográfico Portugués, IGP), a través del proyecto **IBERIA95**, el cual consta de 40 estaciones –incluyendo 6 estaciones *ETRF* como puntos fiduciales–, de las cuales 28 se encuentran en España y 12 en Portugal.



Servicio Geográfico del Ejército
SGE



Real Observatorio de la Armada
ROA



Instituto Geográfico Portugués
IGP

Los vértices geodésicos integrantes de IBERIA95 cumplen las siguientes condiciones:

- Distancia entre estaciones adyacentes compatible con el número escogido de vértices.
- Monumentación estable y perdurable, provista de dispositivo de centrado forzoso.
- Ubicación en lugares fácilmente accesibles y que permitan realizar nivelación de alta precisión.
- Inexistencia de interferencias de radiofrecuencia y obstáculos generadores de efecto multicamino.



Vértices geodésicos Tazones (Asturias) y Lagoaça (Portugal), pertenecientes a la redes EUREF89 e IBERIA95, respectivamente.

La observación se realizó simultáneamente durante cinco días consecutivos, con una sesión diaria única de 12 horas, intervalo de registro de 30 segundos y máscara de elevación de 15 grados.

Poco después y siguiendo la misma normativa, se amplió a las Islas Baleares mediante la campaña **BALEAR98**, que incluye dos estaciones más en cada una de las tres islas principales.

Quedó así constituida la red nacional de "orden 0", que fue admitida internacionalmente como red de **Clase B** –precisión en torno a 1 cm en la época de observación– en el simposio EUREF98.



IBERIA-95 + BALEAR-98

Posteriormente, la red IBERIA95 ha servido de apoyo para el desarrollo del proyecto **REGENTE** (*Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales*) con el que se dotó de coordenadas ETRS89 a 1.108 vértices de la Red Geodésica Nacional (**RGN**)⁸ y 196 clavos NAP.



REGENTE

Todos los vértices de IBERIA95 y BALEAR98 forman parte de la red REGENTE. El resto de las estaciones son vértices de la Red Geodésica Nacional –Red de Primer Orden (**RPO**) o Red de Orden Inferior (**ROI**)– o clavos de la Red de Nivelación de

⁸ El objetivo fue disponer de un vértice por cada hoja del MTN50, lo que supone una distancia media entre ellos de 20 a 25 km y una densidad media de uno por cada 450 km².

Alta Precisión (**REDNAP**) que disponen de fácil acceso con vehículo, horizonte despejado por encima de 10^0 y se encuentran alejados de elementos que puedan causar multicamino o interferencias radioeléctricas⁹.

El método utilizado en campo consistió en el estacionamiento simultáneo en bloques de nueve vértices con receptores de doble frecuencia y dos receptores monofrecuencia adicionales en sendos clavos de nivelación cercanos a uno de los vértices del bloque. Cada observación se llevó a cabo en dos sesiones de cuatro horas separadas por un intervalo de dos horas, de forma que al comienzo de la segunda sesión se dispusiera de la constelación opuesta a la de la primera.

Iniciado en 1994, el proyecto REGENTE fue materializado en sucesivas campañas de observación que finalizaron en el año 2001. Actualmente se encuentra clasificado internacionalmente como red de **Clase C** –precisión nominal absoluta mejor de 5 cm, si bien la precisión relativa entre vértices se encuentra entre 1 y 2 cm–.

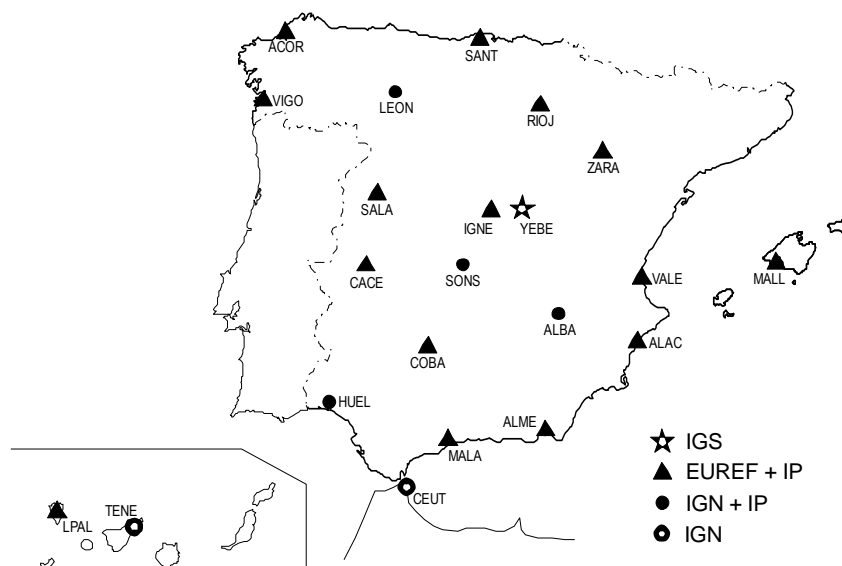
En las Islas Canarias se procedió de manera semejante, obteniéndose una red denominada **REGCAN95**, constituida por 72 vértices repartidos entre las siete islas, con un máximo de 21 en Tenerife y un mínimo de 5 en El Hierro y La Gomera.

RED ERGPS

Desde 1998, el Centro de Observaciones Geodésicas del IGN viene desarrollando una red de estaciones permanentes GPS (**ERGPS**) que cubre todo el territorio nacional.

Actualmente está constituida por 22 estaciones, de las cuales 15 están integradas en la EPN y una en la IGS, contribuyendo así el IGN a la densificación de los marcos globales y definición del sistema ETRS89.

⁹ También forman parte de REGENTE alguna otra estación de especial interés, como los vértices de la Red Geodésica de Observaciones Geodinámicas del Estrecho de Gibraltar (RGOG), la estación del Centro Astronómico de Yebes (YEBE), o la del Observatorio del Ebro (perteneciente al Instituto Cartográfico de Cataluña, ICC).



La ERGPS se encuadra internacionalmente como red de **Clase A** –conjunto de puntos integrados en el ITRF con coordenadas y campos de velocidades con precisión <1 cm, independientemente de la época de observación–.

El IGN ha dispuesto un servidor para el acceso público a los datos de todas las estaciones ERGPS a distintos intervalos a partir de 1 segundo, lo que puede satisfacer todas las necesidades de los usuarios de topografía para aplicaciones de post-proceso en modo de trabajo relativo (<ftp://ftp.geodesia.ign.es>).

SISTEMAS DE REFERENCIA ALTIMÉTRICOS

CONCEPTOS BÁSICOS

Un sistema de referencia altimétrico se caracteriza por un datum altimétrico y por un conjunto de altitudes relacionadas con la gravedad. Por lo general, el datum altimétrico se refiere al nivel medio del mar y se obtiene a partir de una o más estaciones provistas de mareógrafos.

El ETRS89 es un sistema de referencia de coordenadas compuesto en el que únicamente por interés práctico se separan las referencias “terrestre” y “vertical”. Así pues, la principal diferencia entre el ITRS/ETRS y el **WHS/EVRS**, (*World High System/European Vertical Reference System*) estriba en la ejecución, de manera que las coordenadas ETRS se encuentran referidas a un sistema no relacionado con las mareas y las altitudes del EVRS se refieren al cero de las mareas.

ANTECEDENTES

Los sistemas de referencia altimétricos establecidos a partir de redes nacionales de nivelación de alta precisión se empezaron a utilizar en Europa a partir de 1860. La primera red de Nivelación de Precisión (**NP**) realizada en España se acometió en

1871 para dar soporte altimétrico a la formación del Mapa Topográfico Nacional, prolongándose los trabajos hasta 1922. Las líneas de nivelación discurrían a lo largo de carreteras o vías del ferrocarril, observándose exclusivamente desniveles. Para la obtención de las altitudes de los clavos implantados no se dispuso de datos gravimétricos, ni se efectuó una compensación en bloque¹⁰.

El datum altimétrico adoptado fue el nivel medio del Mar Mediterráneo en Alicante, habiéndose obtenido éste a partir de cuatro observaciones directas realizadas cada día sobre una escala de mareas colocada en el interior del puerto durante el periodo de tiempo comprendido entre los meses de junio de 1870 y 1872. La base de dicha escala se enlazó con el punto NP-1 colocado en el primer peldaño de la escalera del Ayuntamiento de Alicante, manteniéndose dicha referencia hasta la actualidad.



Plancha de nivelación (FEVE/Mieres)

Siguiendo las recomendaciones de la UIGG, en 1925 se proyectó una red de Nivelación de Alta Precisión (**NAP**) que ya incorporaba medidas del valor de la gravedad a lo largo de las líneas de nivelación. Su observación finalizó en 1972, comprendiendo un total de unos 11.000 km que discurren por carreteras o vías de ferrocarril del territorio peninsular¹¹.

Entre 1975 y 1988 el IGN realizó trabajos de densificación en las zonas Sureste, Centro, Galicia y Estrecho de Gibraltar. Entre 1997 y 2001 se llevó a cabo una nivelación de precisión, con características muy próximas a la de alta precisión en las Islas Canarias (1.100 km). En el año 2000 y al amparo del programa Interreg-II de la Unión Europea, se realizó la red NAP de los Pirineos (1.500 km).

PROYECTO REDNAP

En el año 2001 el IGN abordó el proyecto de la nueva Red de Nivelación de Alta Precisión (**REDNAP**), estando previsto que en 2008 cubra ya todo el territorio nacional.

Los trabajos se dividieron en siete zonas: seis peninsulares –con un desarrollo lineal promedio de unos 2.500 km cada una de ellas– y otra en Baleares, de unos

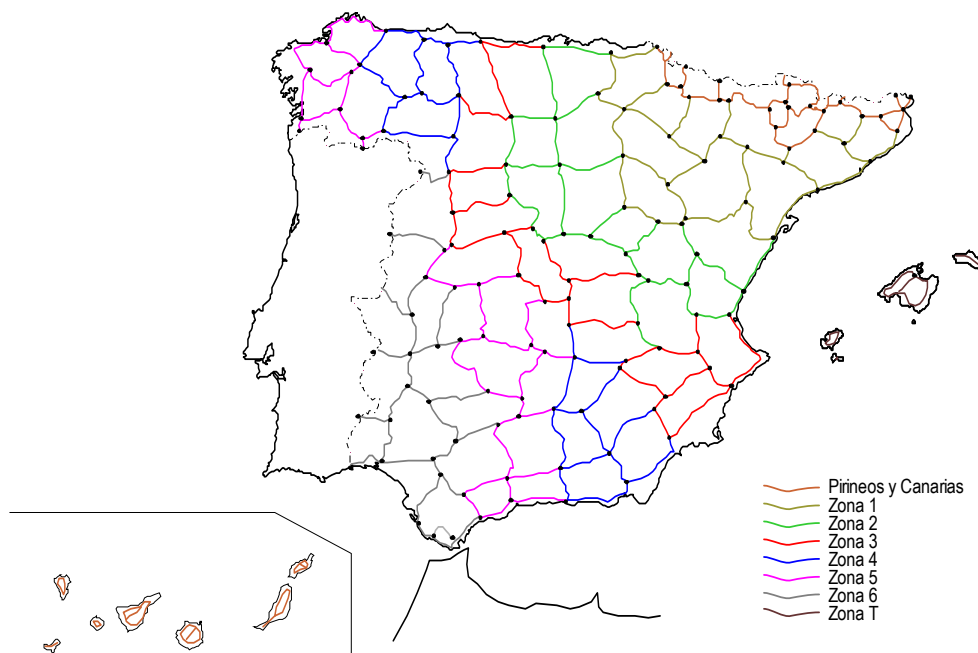
¹⁰ La red NP quedó finalmente compuesta por 92 líneas, la mitad de las cuales discurrían por carretera y la otra mitad por ferrocarril; 12 polígonos de población y varios ramales a vértices geodésicos, lo que hace un total de 16.611 km y 18.025 señales, de las que 2.174 eran clavos de bronce.

¹¹ 7.500 km corresponden a vías férreas, mientras que los 3.500 restantes a carreteras. La red NAP quedó conformada por 19 polígonos cerrados y 8 abiertos fronterizos.

INGENIERÍA TÉCNICA TOPOGRÁFICA

600 km. Todas las líneas discurren exclusivamente a lo largo de carreteras, autopistas o autovías.

El trabajo correspondiente a cada zona se realizó en un plazo de dos años, dedicando el primero al proyecto reconocimiento y señalización de las líneas, y el segundo a los trabajos de observación propiamente dichos –nivelación geométrica, gravimetría y GPS– así como al control y cálculo de las observaciones.



REDES ALTIMÉTRICAS EUROPEAS

Los sistemas de referencia altimétricos europeos tradicionales, establecidos a partir de las correspondientes redes nacionales de Nivelación de Alta Precisión, se encuentran referidos a datums verticales locales. Esto conlleva numerosos inconvenientes, ya que los distintos países utilizan como referencia diferentes niveles de diversos mares y océanos –Mar Báltico, Mar del Norte, Mar Mediterráneo, Mar Negro, Océano Atlántico–, llegándose a alcanzar diferencias de varios decímetros entre ellos; no todas las superficies de cota cero están referidas al nivel medio del mar, encontrándose algunas al nivel de la bajamar (Ostende) y otras al de la pleamar (Amsterdam); y se emplean tres tipos diferentes de altitudes¹².

Para tratar de conseguir un único marco de referencia continental, desde 1994 la Subcomisión EUREF ha desarrollado los siguientes proyectos:

- Red Unificada de Nivelación Europea, **UEN95/98** (*United European Leveling Network 95/98*), cuyo objetivo fue establecer un datum vertical unificado estático

¹² Normales en Francia, Alemania, Suecia, países de la Europa del Este; ortométricas en Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Italia, Suiza; y ortométricas normales en Noruega, Austria y la mayoría de los países de la antigua Yugoslavia

para toda Europa con precisión decimétrica, extendiéndolo a los países del Este de Europa.

- Red Europea de Referencia Altimétrica GPS, **EUVN** (*European Vertical GPS Reference Network*), preparada en paralelo con la UELN, consistió en una red integrada de observaciones GPS, de nivelación y mareográficas¹³ que permitió obtener relaciones entre el datum del UELN y el de cada uno de los sistemas altimétricos nacionales con precisión de pocos centímetros.

Se pretendió que este proyecto fuera la preparación de un sistema de referencia geocinemático para Europa, así como que proporcionase datos para la determinación de la figura del geode gravimétrico continental, **EGG** (*European Gravimetric Geoid*).

Adicionalmente ha permitido el establecimiento del Servicio Europeo del Nivel del Mar, **ESEAS** y su conexión con el Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar, **PSMSL**, organismos que contribuyen a la determinación de un sistema altimétrico mundial absoluto y tratan de anticipar el incremento del nivel del mar provocado por el calentamiento del planeta.



European Sea-Level Service

ESEAS



Permanent Service of Mean Sea Level

PSMSL

- Sistema Europeo de Referencia Altimétrico **EVRS**, (*European Vertical Reference System*) caracterizado por la adopción de un datum referido al Nivel normal de Amsterdam, **NAP** (*Normaal Amsterdams Peil*)¹⁴, con cota geopotencial cero, y la obtención de diferencias de potencial gravitatorio respecto al NAP o altitudes normales equivalentes.

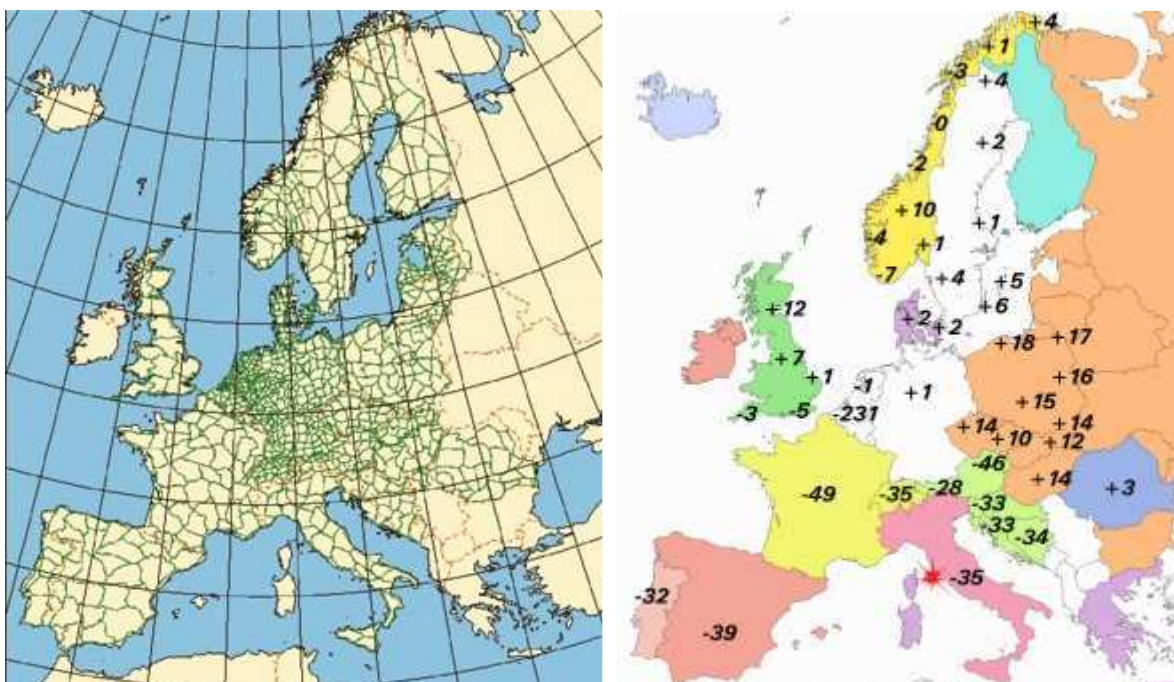
Se adoptan los resultados de UELN95/98 y EUVN como realizaciones de EVRS, empleando el término de Red Europea de Referencia Altimétrica 2000, **EVRF2000** (*European Vertical Reference Frame 2000*)¹⁵.

¹³ Las observaciones para la determinación de la EUVN se realizaron en 196 emplazamientos: 66 estaciones permanentes de EUREF y otras 13 de carácter nacional; 54 puntos UELN y UPLN (*United Precise Levelling Network of Central and Eastern Europe*) y 63 mareógrafos. España aportó ocho puntos, situados en: Alicante, Almería, Barcelona, Casetas, La Coruña, Palma de Mallorca, Puertollano y Santander.

¹⁴ El NAP es el nivel de referencia cero del mar a marea baja medido en Amsterdam. Internacionalmente se caracteriza por los siguientes parámetros: Número de referencia: *UELN 000A2530/13600*. Posición en ETRS89: *Latitud = 52°22'53''*; *Longitud = 4°54'34''*. Altitud en UELN95/98: *Número geopotencial = 7,0259 m².s⁻²*; *Altitud normal = 0,71599 m*. Gravedad en IGSN71 = *9,81277935 m.s⁻²*.

¹⁵ En 1999 se integraron las redes de nivelación de Estonia y Letonia; en 2000 la de Rumanía; en 2001 la de Lituania y en 2003 la de Bulgaria. Además, en 2002 se reemplazaron los datos correspondientes a la red de Suiza; en 2005 los de las redes de Holanda, Finlandia, Noruega y Suecia; en 2007 los de Francia, Polonia, Portugal y Lituania. En 2008 está previsto incorporar los resultados de la REDNAP española.

Está previsto obtener un nuevo datum a partir de las cotas geopotenciales de varios puntos distribuidos por Europa, entre los que se encontrarían los mareógrafos de Alicante y La Coruña.



Estado de la red UELN95/98 en 2002 y diferencias entre el datum EUVN y los distintos datums nacionales

REQUISITOS DE NORMALIZACIÓN Y HOMOGENEIDAD VIGENTES ACTUALMENTE EN ESPAÑA

Por R.D. 1071/2007, de 27 de julio, quedó regulado el sistema de referencia geodésico sobre el que se debe compilar toda la información geográfica y cartográfica oficial referida a todo o parte del territorio español.

- **Sistema de referencia geodésico** (art. 3):

Se adopta el sistema **ETRS89** para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares, y el **REGCAN95** para el caso de las Islas Canarias.

Ambos tienen asociado el elipsoide **GRS80** y están materializados por el marco que define la red **REGENTE** y sus densificaciones.

- **Sistema de referencia altimétrico** (art. 4):

Se tomará como referencia de altitudes los registros del **nivel medio del mar en Alicante** para la Península Ibérica y las **referencias mareográficas locales** para cada una de las islas.

Los orígenes de las referencias altimétricas serán definidos y publicados por la Dirección General del IGN.

El sistema se encuentra materializado por las líneas de la **red NAP**.

El dátum hidrográfico, al que están referidas las sondas, será definido y publicado por el Instituto Hidrográfico de la Marina y representará la referencia altimétrica para la cartografía náutica básica.

- **Sistema de representación cartográfica** (art. 5):

Conforme a las recomendaciones del Grupo de trabajo para Referenciación Espacial, se adopta el sistema de referencia de coordenadas **ETRS-Cónica Conforme de Lambert** para cartografía terrestre, básica y derivada, a escala igual o menor de 1/500.000 y el **ETRS-Transversa de Mercator** para escalas mayores de 1/500.000.

La cartografía náutica se realizará en proyección de **Mercator**.

Toda la cartografía y bases de datos de información geográfica y cartográfica producida o actualizada por las Administraciones Públicas deberá compilarse y publicarse conforme a lo que se dispone en el R.D. 1071/2007 a partir del 1 de enero de 2015.

Hasta entonces, la información geográfica y cartográfica oficial podrá compilarse y publicarse en cualquiera de los dos sistemas, ED50 o ETRS89, conforme a las necesidades de cada Administración Pública, siempre que las producciones en ED50 contengan la referencia a ETRS89.

A partir del 1 de enero de 2012 no podrá inscribirse en el Registro Central de Cartografía ni incluirse en el Plan Cartográfico Nacional ningún proyecto nuevo que no se atenga a las especificaciones del R.D. 1071/2007.

El sistema de compilación de información geográfica y cartográfica actualmente en vías de extinción está compuesto por:

- **Sistema de referencia:** EUROPEAN DATUM 1950 (**ED50**) (Decreto 2303/1970)
 - Elipsoide Internacional (Hayford, 1924).
 - Datum Potsdam (Torre de Helmert).
 - Origen de coordenadas geodésicas: meridiano de Greenwich y Ecuador.
- **Sistema geodésico:** RED EUROPEA 1950 (**RE50**) (Ley 7/1986)
 - Definida a través de la RGN y red de Nivelación de Alta Precisión (NAP).
- **Sistema cartográfico de representación:** proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) (Decreto 2303/1970).

En este estado de cosas y pese a que REGENTE constituye la base sobre la que todos los trabajos geodésicos, topográficos y cartográficos deben apoyarse, se ha considerado necesario dotar de coordenadas ETRS89 a los aproximadamente 9.850

vértices geodésicos restantes de la ROI que no pertenecen a REGENTE¹⁶, siendo el Consejo Superior Geográfico (CSG) el organismo encargado de facilitar el método de transformación entre los sistemas de referencia nuevos y antiguos, su forma de utilización y la información técnica asociada.

En general, el cambio de datum debería poder realizarse mediante una transformación conforme de siete parámetros (traslación, giro y cambio de escala). No obstante, los inevitables residuos propios de una gran red de ámbito nacional provocan una distorsión que presenta una cierta correlación espacial y que es necesario modelar de alguna manera. De entre las distintas técnicas existentes para ello, el Grupo de Trabajo para la transición de ED50 a ETRS89, creado a instancias del CSG, ha optado por el método de transformación de **Superficies de Mínima Curvatura** (SMC)¹⁷, encontrándose disponible la documentación generada en el servidor público de datos <ftp://ftp.geodesia.ign.es> (carpeta ROI-ETRS89).

¹⁶ Los vértices de la ROI presentan una densidad media de uno por cada 45 km². Fueron observados mayoritariamente durante las décadas de los 80 y 90 del siglo pasado por el método de triangulación con la técnica de vuelta de horizonte, efectuándose compensaciones parciales por provincias a medida que los trabajos de campo iban progresando. Sus coordenadas en ED50 tienen una precisión en torno a 0,2 m en planimetría y 0,3 m en altimetría.

¹⁷ El formato de rejilla adoptado, denominado Transformación Nacional de Canadá (NTv2), permite incorporar múltiples sub-rejillas jerarquizadas, lo que hizo posible ir añadiendo transformaciones más localizadas dentro de la rejilla principal hasta conseguir el recálculo definitivo de ROI en ETRS89. Las precisiones relativas obtenidas son del orden de 3 cm en aquellas zonas en las que se dispone de observables GPS (Comunidades autónomas de Navarra e Islas Baleares en su totalidad, y en mayor o menor medida en Cataluña, Valencia, Murcia, Madrid y Castilla-León), y de 8 cm en planimetría y 14 cm en altimetría en aquellas otras que sólo tienen observables angulares clásicas.