



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS

MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TRABAJO FIN DE MASTER

Metodología de Implantación y Mantenimiento de una Red Geodésica Local

Autor: José Felipe Rastrero Seijas
Directora: Sara María Andrés Vizán

Julio de 2014

SUMARIO

1. Introducción. Conveniencia de implantar una Red Geodésica Local	7
2. Organización del estudio	9
3. Estado del arte	11
3.1. Consideraciones previas	11
3.2. ITRS (International Terrestrial Reference System)	12
3.3. El European Datum 1950 (ED50)	13
3.4. ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989)	13
3.5. Marcos de Referencia en España	15
3.5.1. Red Antigua Nacional de Primer, Segundo y Tercer Orden	16
3.5.2. Red de Orden Inferior ROI	17
3.5.3. Red De Nivelación De Alta Precisión REDNAP	18
3.5.4. Proyectos IBERIA 95 y REGENTE	20
3.6. Marcos de Referencia Autonómicos. La RGPA	24
3.7. Marcos de Referencia Locales	25
3.8. Redes Geodésicas Activas	26
3.9. Redes geodésicas y sus aplicaciones	27
3.10. Conclusiones	29
4. Encuestas	31
4.1. Introducción	31
4.1.1. Evolución de la Redes Geodésicas en localidades asturianas	32
4.1.2. Problemática municipal y local	33
4.2. Estudio comparativo y resultados	34
4.2.1. Tamaño y amplitud de las redes	34
4.2.2. Señalización	36
4.2.3. Órdenes de precisión y métodos de observación	37
4.2.4. Sistemas y marcos de referencia utilizados	40
4.2.5. Revisión y mantenimiento	40
4.2.6. Divulgación y concienciación sobre la utilidad de las redes	42
4.3. Análisis DAFO	44
4.3.1. Conclusiones del análisis DAFO	45
4.4. Diagrama de Ishikawa o de causa-efecto	46
4.4.1. Conclusiones diagrama de Ishikawa	47
4.5. Conclusiones de las encuestas	48
5. Propuesta de metodología para una Red Geodésica Local	51
5.1. Estudio previo	53

5.1.1.	Búsqueda de Cartografía	53
5.1.2.	Análisis del marco de referencia existente	54
5.1.3.	Inspección de las señales existentes	55
5.1.4.	Estimación de las precisiones a obtener	56
5.1.5.	Informe sobre el estado del marco existente	57
5.2.	Implantación de la red	57
5.2.1.	Requisitos de la red	58
5.2.2.	Diseño de la red	64
5.2.3.	Planificación y ejecución de las observaciones	65
5.2.4.	Campaña de observación (genérica)	67
5.3.	Cálculos y resultados	69
5.3.1.	Recopilación y organización de datos de campo	69
5.3.2.	Cálculos	69
5.3.3.	Informe de resultados	70
5.4.	Planificación del control y mantenimiento de la red	70
5.4.1.	Inspección periódica de la red	71
5.4.2.	Renovación y actualización	72
5.4.3.	Ampliaciones	72
5.4.4.	Informes de inspección, renovación y ampliación (genérico)	73
5.4.5.	Archivo de mantenimiento	73
5.5.	Cierre del proyecto	73
5.5.1.	Recopilación de la información	73
5.5.2.	Informe final de cierre	74
5.5.3.	Divulgación y publicación de la red	75
6.	Conclusiones	79
7.	Bibliografía	81
8.	Anejos	85
8.1.	Encuestas	85
8.2.	Tablas de análisis DAFO	111
8.3.	Ejemplos de hojas de campo	117
8.4.	Ejemplos de reseñas	121

1. Introducción. Conveniencia de implantar una Red Geodésica Local

Desde épocas antiguas en que la civilización inició su desarrollo, ha sido necesario tener conocimiento gráfico del medio físico. A lo largo del tiempo, y a medida que este conocimiento ha ido mejorando en exactitud y precisión, ha sido posible desarrollar infraestructuras y construcciones que han facilitado la vida de los seres humanos y que han permitido su expansión hasta la época actual. En nuestros días, tener conocimiento del medio geográfico es fundamental para el desarrollo de la actividad humana en su conjunto, porque gran parte de nuestras necesidades requieren instalaciones en un espacio físico y son, por tanto, susceptibles de representación gráfica respecto al entorno.

El conocimiento del medio físico o geográfico, desde un punto de vista clásico, se consigue a través de Cartografía, que dependiendo de la utilización que se le vaya a dar y de la precisión requerida, puede tener muy diferentes escalas. Más modernamente, gracias a la explosión de la era informática, la representación geográfica ha evolucionado hacia los Sistemas de Información Geográfica, que consisten, básicamente, en la combinación de la cartografía tradicional con bases de datos; esto permite ubicar información de tipo alfanumérico en su contexto espacial real, a través de una representación cartográfica informatizada. Las aplicaciones de esta tecnología cartográfica moderna son enormes, y permiten la realización de una infinidad de actividades que antes no se podían hacer, o al menos no de manera automática ni rápida.

Pero la Cartografía en general, y en especial los SIG, necesitan tener una referencia que sea común. En general, se apoyan en el *Sistema de Referencia Cartográfico Oficial*, gestionado en España por el *IGN o Instituto Geográfico Nacional*, que es la referencia geodésica a utilizar en cualquier lugar; la georreferenciación de las cartografías sobre el sistema de referencia se consigue mediante el denominado *Marco de Referencia*, o materialización sobre el terreno de ese sistema de referencia cartográfico, y que está constituido por un conjunto de señales físicas repartidas por todo el territorio nacional.

El marco de referencia del IGN constituye la columna vertebral de la Cartografía en España pero, si bien cubre todo el territorio nacional, no suele tener la densidad de señales necesaria para la obtención de cartografía de detalle. Por ello, no es sencillo apoyar los trabajos cartográficos, por lo que muchos de ellos se realizan en sistemas arbitrarios o se apoyan sólo de forma aproximada. La consecuencia de esto es que se generan imprecisiones cartográficas que pueden llegar a ser importantes.

Como no es siempre posible apoyarse en las señales oficiales desde un punto de vista operativo y económico, es habitual, a nivel local o regional, tener que implantar nuevas redes apoyadas sobre la red oficial principal, que faciliten los trabajos por acceso y proximidad a las zonas en las que se desarrolla la actividad. Esto se conoce comúnmente como *densificación geodésica* y permite la simplificación de los trabajos, evitando la aparición de errores e imprecisiones cartográficas, reduciendo los costes y mejorando de la calidad de los trabajos.

Las necesidades de densificación se intentan resolver de diferentes formas. A nivel regional se han implantado redes de orden inferior pero suelen tener problemas de mantenimiento derivados de la falta de presupuesto o del propio abandono de las señales; además para ámbitos locales la densificación a nivel regional sigue siendo habitualmente insuficiente. Además, desde hace varios años y complementando las redes habituales, la mayoría de las administraciones autonómicas han implantado redes geodésicas activas; estas redes consisten en la instalación y mantenimiento de receptores GPS fijos que emiten señales de radio para el trabajo en tiempo real. Aunque es una solución válida, este sistema tiene otra serie de problemas como la incompatibilidad con los métodos clásicos, la falta de cobertura de radiofrecuencias en algunas zonas, precisiones centimétricas no siempre suficientes para determinados trabajos, pérdida de precisión por la lejanía de las antenas emisoras, mantenimiento costoso de las antenas, entre otros, como se verá más adelante.

En el ámbito municipal, muchas entidades optan por implantar redes propias en sus áreas de influencia. Esto es muy típico en grandes ciudades que gracias a disponer de muchos recursos suelen contar con extensas redes propias, pero también se encuentran en ciudades mucho más pequeñas. En general, los procesos de implantación y el estado de conservación son muy variables, lo cual va en detrimento de la fiabilidad de las redes locales y obliga a realizar comprobaciones complementarias que no serían necesarias si se dispusiera de protocolos específicos y se realizara una gestión adecuada de este tipo de proyectos. De hecho, crear una red local no debe consistir sólo en diseñarla, implantarla y observarla, como viene siendo lo más habitual, sino que, además, se debe contar con un plan de mantenimiento periódico, al objeto de mantener viva la red, y que permita tener en todo momento conocimiento sobre su estado de conservación.

El objeto del presente trabajo es precisamente ese, organizar y diseñar un proyecto completo y genérico, que sea de aplicación general y que contemple todas las fases de realización de una Red Geodésica Local. Se trata, por tanto, de establecer una serie de procesos o protocolos que incluyan no solamente las fases típicas de diseño, implantación, observación y cálculo, sino que incorpore además otras fases finales y de aplicación continuada a lo largo del tiempo para el desarrollo de procesos de mantenimiento tales como la revisión, actualización, renovación y ampliación de la red. Con un proyecto completo que incluya todas estas fases se podrán garantizar unas expectativas de calidad suficientes para que los usuarios puedan hacer uso de la red con confianza.

2. Organización del estudio

El primer paso del estudio ha sido realizar una revisión bibliográfica de la información disponible sobre Redes Geodésicas, y en particular redes locales. Con ello, ha sido posible establecer la situación actual de las redes oficiales y determinar algunas de las aplicaciones de las redes en diferentes ámbitos. A pesar de la abundancia de información en cuanto a redes geodésicas oficiales y la utilización de métodos geodésicos para la realización de determinados estudios, las redes a nivel local no se tratan demasiado en medios bibliográficos, por lo que ha sido necesario recurrir a otra estrategia que permitiera seguir con el estudio.

Por ello, la parte investigadora del presente trabajo se ha completado con la realización de 5 encuestas en diferentes municipios del Principado de Asturias al objeto de conocer el estado actual de las redes geodésicas locales existentes y analizar los contrastes entre ellas. Las encuestas se realizan al personal de las corporaciones municipales encargado de gestionar estas redes. Cada encuesta compone de una serie de preguntas que trata de establecer todos los aspectos y características de las redes, desde consideraciones puramente técnicas hasta los medios que se usan para hacer públicos sus resultados, pasando por características propias de cada una de ellas como las razones para su implantación, necesidades municipales en cuanto a disponer de estas infraestructuras, etc.

Con todo el material disponible, se realiza un estudio crítico comparativo que permita determinar los puntos fuertes y deficiencias encontrados en cada una de ellas. Más adelante, se presentan una serie de tablas con los resúmenes de las encuestas organizados por temas en las que, de un simple vistazo, se pueden comparar las distintas respuestas. Además de las tablas comparativas, el estudio se apoya en la técnica del análisis DAFO; para cada caso de encuesta, se muestra un cuadro de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades. Finalmente, el estudio cuenta con un gráfico de Ishikawa con el que se trata de determinar las causas de los problemas principales que se han detectado. Todas estas herramientas utilizadas en el estudio comparativo permitirán sacar conclusiones sobre la bondad de las soluciones adoptadas y la posibilidad de hacer algunas mejoras. A priori todas las soluciones pueden considerarse buenas, pero de la comparativa se espera lograr que los defectos y fortalezas contraten unos con otros.

Finalmente, combinando los resultados del estudio comparativo y las tecnologías de observación conocidas en la actualidad, se pretende realizar una propuesta de metodología genérica para la implantación de una red geodésica de ámbito local, apoyada sobre los marcos de referencia oficiales. Para desarrollar la metodología se tendrán en cuenta las conclusiones del estudio comparativo, aprovechando los puntos fuertes que se hayan detectado y corrigiendo las debilidades más destacables, todo ello utilizando herramientas propias de Dirección y Gestión de Proyectos. En pocas palabras, se trata de conseguir una metodología que permita implantar una red geodésica local que, adaptándose a las necesidades y singularidades del entorno en el que se ubique, sea realizable y se pueda conservar en el tiempo con garantías suficientes, gracias a una política de mantenimiento realista y prolongada en el tiempo.

3. Estado del arte

3.1. Consideraciones previas

Un *Sistema de Referencia*, también llamado Datum, es una estructura geométrica para referir las coordenadas de puntos del espacio. Se define por la situación de su origen, las direcciones de sus ejes, la escala, los algoritmos necesarios para sus transformaciones espaciales y temporales y las constantes utilizadas en las definiciones y correcciones. En España, el Datum oficial ha sido el *European Datum 1950 (ED50)* hasta el 1 de enero de 2015, fecha a partir de la cual el único oficial será el *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* adoptado por toda Europa.

Pero para hacer cartografía no es suficiente con un Datum o Sistema Geodésico de Referencia; se necesita además materializar sobre el terreno ese Datum dando coordenadas en ese Sistema de Referencia a una serie de puntos que existan de verdad sobre el territorio y que se puedan utilizar como puntos de coordenadas de partida para los trabajos de posicionamiento. Esto es lo que se denomina *Marco de Referencia*, la materialización de un Sistema de Referencia, es decir, el conjunto de elementos que determinan de forma práctica un Sistema de Referencia y está constituido por las coordenadas de los puntos de definición, las técnicas aplicadas en las observaciones o medidas y los métodos de cálculo aplicados para la obtención de los parámetros.

En la práctica, un Marco de Referencia se materializa a través de una red de puntos con coordenadas conocidas en el Sistema de Referencia establecido, lo que se conoce habitualmente como *Red Geodésica*. Los puntos de la red, generalmente llamados vértices, se instalan sobre el terreno a través de diversos tipos de señales que pueden ser pilares de hormigón, clavos u otros, dependiendo de la importancia y precisión de la red. Estas Redes Geodésicas son las que nos sirven de apoyo para la realización de cualquier trabajo cartográfico. El Marco de Referencia europeo actual es el ETRF89 (*European Terrestrial Reference Frame*) basado en el sistema ETRS89 y densificado en España a través de la Red *REGENTE (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales)*, como se detallará más adelante.

Para completar la definición de un Sistema de Referencia o Datum, se ha de elegir la Proyección Cartográfica a aplicar para la creación de cartografía. Un sistema de proyección cartográfica es una función biunívoca que permite pasar de las latitudes y longitudes geodésicas a las coordenadas planas. Hace algunos años cada país de la Unión usaba una proyección propia, pero hoy en día la proyección adoptada oficialmente en Europa, y también en nuestro país, es la *Proyección Cilíndrica Universal Transversa de Mercator* o más sencillamente *Proyección UTM*. En general, las proyecciones cartográficas no son exclusivas de ningún Datum en particular, y un mismo Datum puede utilizar varias proyecciones para cubrir necesidades específicas. En consecuencia se pueden obtener coordenadas X,Y planas UTM en el Datum *WGS84 (World Geodetic System 1984)*, propio del GPS, y basadas en el elipsoide del mismo nombre, UTM en ED50 basadas en el Elipsoide Internacional (Hayford) o UTM en ETRS89 basadas en el elipsoide GRS80.

Las coordenadas X e Y, aunque se obtengan a través de una proyección UTM serán diferentes en cada elipsoide de referencia sobre el que se calculen.

El término *georreferenciación* hace referencia al conjunto de operaciones encaminadas a la determinación de la posición de un elemento geográfico respecto a un Sistema de Referencia determinado es decir, tomando como apoyo su Marco de Referencia. El resultado de georreferenciar un objeto es su posicionamiento inequívoco en un mapa bajo los condicionamientos propios del Datum que se considere o que se haya establecido normativamente. Georreferenciación es un término relativamente moderno, muy utilizado en los Sistemas de Información Geográfica pero no exclusivo de este ámbito. En la práctica, georreferenciar un objeto consiste en situarlo usando un Marco Geodésico de Referencia o simplemente Red Geodésica, que es la materialización sobre el terreno de ese Datum.

3.2. ITRS (*International Terrestrial Reference System*)

Un *Sistema de Referencia Terrestre o TRS (Terrestrial Reference System)* es un sistema de referencia espacial que rota de manera solidaria con la Tierra en su movimiento diurno en el espacio. En este sistema, las posiciones de los puntos están ancladas a la superficie sólida de la Tierra aunque estas posiciones pueden tener pequeñas variaciones en el tiempo debidas a efectos geofísicos, como por ejemplo deformaciones tectónicas o cargas de marea. Un *Marco de Referencia Terrestre o TRF (Terrestrial Reference Frame)* es un conjunto de puntos físicos en los que se ha determinado de forma muy precisa sus coordenadas en un TRS específico; se dice que un TRF es una realización de un TRS.

Un Sistema de Referencia Terrestre ideal se define como un marco tridimensional de referencia cercano a la Tierra que rota de manera solidaria con ella. Los sistemas geocéntricos se escogen de manera que su origen sea lo más cercano posible al centro de masas de la Tierra, y su orientación sea ecuatorial, es decir, que su eje Z sea paralelo a la dirección polo norte y polo sur.

El *IERS (International Earth Rotation Service)* es el órgano encargado de definir, realizar y promover el *International Terrestrial Reference System (ITRS)* según se definió en la resolución 2 de la *IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics)* en Viena en 1991. El IERS se encarga de proporcionar valores de referencia de los parámetros de orientación de la Tierra y sistemas de referencia terrestre y celeste.

El *Sistema de Referencia Terrestre Internacional o ITRS* por sus siglas en inglés, es un sistema de referencia geodésico válido para la Tierra y espacio próximo, con un nivel de precisión relativa de 10^{-10} . Su elipsoide asociado es el *GRS80*, que además sirve de referencia para las alturas, denominadas alturas elipsoidales.

Como se decía en el apartado 3.1, un Marco de Referencia consiste en un conjunto de puntos con coordenadas conocidas que materializa un Sistema de Referencia. Los marcos generados por el IERS para ITRS son los denominados Marcos de Referencia Terrestre Internacional

o *ITRF (International Terrestrial Reference Frame)*. Tales marcos están constituidos por las estaciones de seguimiento que integran la Red IERS y sus correspondientes monumentos, con las coordenadas y sus variaciones en el tiempo.

3.3. El European Datum 1950 (ED50)

En 1924, Hayford propuso en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica de Madrid un nuevo Elipsoide Internacional de Referencia¹, cuyo punto astronómico fundamental se estableció en la Torre de Helmert en la ciudad alemana de Potsdam, dando lugar al *European Datum 1950 o ED50*. Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de países, hasta la aparición de soluciones posteriores (ED79, ED87) que adoptaron Múnich como punto astronómico fundamental.

En la orientación del elipsoide de Hayford se estipula que:

- El eje menor del elipsoide de referencia es paralelo a la dirección definida por el origen internacional convencional (O.I.C.) para el movimiento del polo.
- El meridiano de referencia es paralelo al meridiano cero adoptado para las longitudes (Greenwich).

En España se adoptó en 1970 el Sistema ED50 como sistema oficial, sustituyendo al antiguo con elipsoide de Struve y Datum Madrid (Observatorio del Retiro).

3.4. ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989)

EUREF (European Reference Frame) es el nombre de la Subcomisión para Europa de la IAG (*International Association of Geodesy*), creada en 1987, y cuyo trabajo está orientado a las redes de control vertical y horizontal, de ámbito nacional, continental o global, mediante técnicas espaciales, así como sus conexiones y evoluciones.

EUREF nace como consecuencia de la utilidad de las técnicas geodésicas espaciales, en particular el GPS, para el mantenimiento de los Marcos Geodésicos de Referencia global y continental; es por ello que su objetivo principal es dotar de un marco de referencia continental a Europa. Los objetivos de EUREF son los siguientes:

- Realizar un marco de referencia geocéntrico para cualquier proyecto geodésico o geodinámico sobre la placa europea
- Ser una referencia precisa muy cercana a WGS84 para ser usada no sólo en geodesia sino en cualquier tipo de navegación en Europa

¹ Conocido como Elipsoide de Hayford 1909 y denominado posteriormente Elipsoide Internacional de 1924.

- Ser una referencia continental para conjuntos de datos cartográficos

A partir de las series temporales de resultados del IERS, se pone de manifiesto que la Placa Continental Europea mantiene un movimiento bastante uniforme, de unos 3 cm por año, con relación al ITRS, con excepción del extremo sureste de Europa (Grecia y Turquía). Por esta razón, con el fin de mantener unas coordenadas razonablemente estables para Europa, EUREF decidió definir un Sistema ligado a la placa Europea. Este sistema, o Datum, se denomina ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*), ya que fue idéntico al ITRS en el año 1989. Desde 1989, las coordenadas ETRS89 ajustadas con relación a la Placa Europea, han modificado sus valores con respecto a los expresados en ITRS. Sin embargo, esta modificación es conocida, por IERS y EUREF, y es posible realizar transformaciones entre unas y otras con exactitud de 1 cm para la mayor parte.

La mayor parte de las actividades de EUREF han sido el establecimiento y el mantenimiento del ETRS89 y EVRS (*European Vertical Reference System*). ETRS89 proporciona un posicionamiento tridimensional con precisiones de pocos milímetros, mientras que EVRS tiene la misma funcionalidad para las alturas. Estos dos sistemas constituyen la base de la georreferenciación en Europa.

El instrumento clave para el mantenimiento de ETRS89 es la *Red de Estaciones Permanentes EPN (EUREF Permanent Network)* que cubre toda Europa. Las estaciones EPN proporcionan datos GPS y GLONASS para garantizar la estabilidad a largo plazo de ETRS89. De la misma forma, EPN contribuye al Servicio Internacional GNSS (IGS) para la realización del ITRS, para monitorizar las deformaciones de naturaleza tectónica en Europa, cambio climático y el desarrollo de los estándares, así como proporcionar los medios operacionales para la distribución de sus productos a través de Internet.

El ETRS89 lleva asociado el elipsoide de referencia GRS80, adoptado por la IAG en 1979, completamente equivalente a nivel de usuario al WGS84 (*World Geodetic System 1984*) utilizado por el sistema GPS. De hecho, el WGS84 deriva del GRS80, los semiejes mayores de los dos elipsoides son iguales, y la diferencia entre semiejes menores es de alguna décima de milímetro, por lo que su excentricidad difiere ligeramente. Pero a nivel práctico se puede confundir el GRS80 con el WGS84, siendo equivalentes en la gran mayoría de aplicaciones topográficas o cartográficas. ETRS89 es el sistema de referencia geocéntrico oficial en Europa de precisiones mucho más elevadas que la solución WGS84.

Desde la aprobación del *Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España*, el Sistema de Referencia oficial en nuestro país es el *ETRS89*, que sustituye al previo ED50. Para adaptarse a la nueva norma, se establece un periodo de transición desde la aprobación del Real Decreto hasta el 1 de enero de 2015 durante el cual los dos sistemas de referencia podrán convivir. A partir de esa fecha el único sistema oficial en España será el ETRS89.

El ETRS89 cuenta con una realización sobre el terreno denominada ETRF89 (*European Terrestrial Reference Frame*) que constituye el Marco de Referencia del sistema, formado por vértices geodésicos con coordenadas en el sistema ETRS89. La materialización de este Marco de Referencia en España es la denominada *Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)* como se verá en próximos apartados.

3.5. Marcos de Referencia en España

La *Red Geodésica Nacional* constituye la base geométrica del país. Sirve de referencia para todos los sistemas espaciales y es la base de la cartografía. Está constituida por una red de puntos de control, denominados vértices geodésicos, que es la estructura sobre que se apoyan los levantamientos topográficos o cartográficos. El organismo oficial responsable mantener y completar esta red es el *Instituto Geográfico Nacional (IGN)*.

Para determinar las coordenadas de los vértices geodésicos se parte de las del Punto Astronómico Fundamental, también llamado *Datum*, que se determinan por procedimientos exclusivamente astronómicos. El *Punto Astronómico Fundamental* es el primer punto de la red, y a partir de él, se van determinando las coordenadas de todos los demás.

La *Red Geodésica Nacional* era inicialmente una red planimétrica, con Datum Potsdam y elipsoide de referencia Internacional o Hayford, siendo el Sistema de Referencia el *European Datum 1950 o ED50*. Además, todo vértice geodésico de la Red Nacional lleva asociada una cota o altitud sobre el nivel medio del mar pero, antiguamente esta coordenada solía ser de inferior precisión a las coordenadas planimétricas, puesto que se obtenían por métodos distintos de los utilizados para la Red Altimétrica.

En cuanto a la Altimetría, la referencia son los clavos de la *Red de Nivelación de Alta Precisión (RedNAP)* y el Punto Fundamental Altimétrico la señal NP1 (cota 3,4095m) enlazada con el mareógrafo de Alicante.

Como ya se ha mencionado anteriormente, para realizar trabajos cartográficos, además de contar con un *Datum o Sistema Geodésico de Referencia*, se necesita una materialización de ese sistema sobre el terreno, con una serie de puntos físicos, perfectamente materializados, con coordenadas previamente conocidas y que se puedan utilizar como referencias de partida para el posicionamiento, lo que se conoce como Marco de Referencia. Hoy en día están disponibles dos Sistemas de Referencia en España, el ETRS89 cuyo Marco es el ETRF89, y el ED50, cuyo marco estaba constituido por las antiguas redes de 1^º, 2^º y 3^º Orden, prácticamente desaparecidas y, hoy en día, por la *Red de Orden Inferior (ROI)*. El ED50, al haberse materializado por métodos clásicos, está ya obsoleto y desaparecerá oficialmente a partir del 1 de enero de 2015, para dejar paso al ETRS89 utilizado a nivel europeo y mundial.

El ED50 se materializó sobre el terreno con más de 11.000 de vértices geodésicos, consistentes en unos cilindros verticales de hormigón armado de 1,20 m de altura y 30 cm de

diámetro anclados a un prisma de hormigón también, de mayor o menor altura según el caso; cada uno de ellos lleva una placa de identificación del IGN. Esta red de vértices geodésicos, cuyas coordenadas se calcularon sobre el elipsoide de Hayford 1909² es lo que se conoce hasta hoy en día como Red de Orden Inferior y constituye el Marco de Referencia del ED50.

El nuevo Sistema ETRS89 cuenta con su propio Marco de Referencia, el ETRF89, cuya densificación se ha realizado a través del proyecto REGENTE, completado en el año 2001. Los vértices geodésicos de la red REGENTE se calculan utilizando el sistema ETRS89, que usa el Elipsoide GRS80, casi idéntico al WGS84 utilizado por el GPS. Los vértices de la Red REGENTE son en realidad vértices de la red ROI y disponen de coordenadas calculadas en ambos sistemas ETRS89 y ED50, lo cual permite obtener los parámetros de transformación entre ambos sistemas con precisión.

La evolución de la Geodesia a Técnicas Espaciales, como el GPS, obliga a realizar estas transformaciones de coordenadas entre el Sistema de Referencia WGS84 usado para las observaciones GPS y el Sistema ED50 usado para la Cartografía puesto que son muy diferentes. La ventaja del paso de la Cartografía del ED50 al ETRS89 es, precisamente, evitar las transformaciones entre sistemas. Como el elipsoide GRS80 utilizado en el ETRS89 es prácticamente coincidente con el elipsoide WGS84 utilizado por el GPS, las observaciones GPS se pueden obtener directamente sobre el ETRS89 y la cartografía se genera directamente sobre este sistema. Esto evita tener que realizar transformaciones entre sistemas como ocurría anteriormente al trabajar con el ED50.

3.5.1. Red Antigua Nacional de Primer, Segundo y Tercer Orden

Para gestionar adecuadamente la propagación de errores, la Red Geodésica Nacional se proyectó inicialmente con tres órdenes de precisión decrecientes desde el 1º orden hasta el 3º. Estas redes se obtuvieron por métodos de Geodesia clásicos, basándose en redes de triangulación.

La Red Geodésica de 1º Orden estaba formada por triángulos de 30 a 80 km de lado, pudiendo llegar en casos excepcionales a más de 200 km, como el caso del enlace con África, con el lado Mulhacén-Sierra Nevada/Filhaussen-Argelia de 270 km.

Los triángulos estaban constituidos por un total de 573 vértices con separación media entre vértices de unos 40 km. La monumentación se realizó con vértices de base prismática hormigón armado de dimensiones 2,50 m de lado por 1,20 m de altura y pilar cilíndrico también de hormigón con 1,20 m de altura y 0,20 m de diámetro.

La Red de 2º Orden se apoyó en la de 1º Orden con triángulos de lado entre 10 y 30 km. Constaba de 2170 vértices; todos los vértices de primer orden se incorporaron también a esta red,

² Adoptado en 1924 por la *International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG*, y denominado desde entonces Elipsoide Internacional 1924. La IUGG recomendaba su uso en todo el mundo.

formando una malla continua en todo el territorio español. La monumentación se realizó con una base de 1,00 x 1,00 y 1,00 m de altura, y un pilar cilíndrico de 0,30 cm de diámetro y 1,20 de altura.

Los triángulos de 1º y 2º Orden se calcularon sobre el elipsoide ya que en esas dimensiones no se podía prescindir de la esfericidad terrestre.

La Red de 3º Orden se apoyó sobre la de 2º Orden con triángulos de lados entre 5 y 10 km y contaba con unos 12.000 vértices. Su precisión era de 10 a 20 cm y se compensó por Comunidades Autónomas, lo que trajo consigo algunos problemas de solape. La señal utilizada tenía una base de 1,00 x 1,00 m con una altura variable, y el pilar cilíndrico era de 0,30 de diámetro y 1,20 de altura.

Los triángulos de tercer orden se calcularon como triángulos planos. Esta red dio origen a la conocida como la Red de Orden Inferior, que se verá a continuación.

3.5.2. Red de Orden Inferior ROI

Entre los años 1982 y 1992 el IGN procedió a reconstruir la Red Geodésica Nacional, colocando nuevos monumentos de hormigón armado que sustituyeran a los de la Red Antigua (RA) y que ha constituido el Marco de Referencia o materialización práctica del Sistema Geodésico de Referencia European Datum 1950 (ED50).

Este plan reorganizó la Red en dos partes:

- Red de Primer Orden (RPO), con unos 680 vértices y una longitud de lados entre de 30 y 40 km. Se observó mediante triangulación o trilateración, y su cálculo y compensación se realizó sobre el Sistema ED50.
- Red de Orden Inferior (ROI) con casi 11.000 vértices y una longitud media de lados de 7 km, es decir, con densidad de un vértice por cada 45 km². En su mayor parte se observó mediante triangulación por el método de vueltas de horizonte y se calculó constriñendo a la RPO y la red de nivelación.



Figura 1. Vértice de la Red ROI (Fuente: IGN)

La monumentación de la Red Geodésica Nacional se formó generalmente por una base prismática cuadrada de altura variable y de 1 m de lado para los vértices de la ROI y de 3 m para los vértices de la RPO. Sobre esta base se colocaba un pilar cilíndrico de 1,20 m de altura y 0,3 m de diámetro para los vértices de la ROI y 0,4 m de diámetro para los vértices de la RPO.

En 1993 el IGN finalizó los trabajos de construcción de la Red de Orden Inferior (ROI), cuyas condiciones debían satisfacer los siguientes puntos:

- La red debía cubrir todo el territorio nacional con una malla continua de triángulos, a la que pertenecían todos los vértices de la red de primer orden.
- La longitud de sus lados quedaba comprendida como límites mínimos y máximos entre 3 y 12 kilómetros.
- La configuración de la red permitía, en general, la observación angular, sin estaciones excéntricas de los vértices, asegurando la intervisibilidad entre vértices vecinos.
- A cada vértice geodésico se le asignaba un nombre y un número de 6 cifras, siendo las tres últimas el número de la hoja del Mapa Topográfico Nacional en la que se encontraba.



Figura 2. Distribución de los vértices de ROI en España y Baleares (Fuente: IGN)

La Red de Orden Inferior fue observada angularmente con teodolito de 1^{cc} por el método de vueltas de horizonte; la calidad de esta red está entre 10 y 30 cm, siendo el Sistema de Referencia Geodésico asociado el ED50.

3.5.3. Red De Nivelación De Alta Precisión REDNAP

La *Red de Nivelación de Alta Precisión*, o *REDNAP*, es en la actualidad la referencia altimétrica oficial para los trabajos cartográficos. La monumentación, observación, cálculo, compensación y mantenimiento de la REDNAP es competencia del IGN. La red se compone de líneas de nivelación, a su vez formadas por vértices materializados con clavos de nivelación que no tienen relación con los vértices de las redes planimétricas.

La referencia altimétrica básica para la Península es el Nivel Medio del Mar en Alicante que se obtiene mediante un mareógrafo situado en su puerto marítimo. La red está compuesta por

líneas de nivelación en todo el territorio con inicio y referencia en el clavo NP1, situado el primer peldaño de la escalera del Ayuntamiento de Alicante, con enlace al mareógrafo del puerto. Las características principales de la REDNAP son las siguientes:

- Observación de nivelación geométrica y gravimétrica a lo largo de las líneas
- Determinación de las cotas geopotenciales de los nodos
- Obtención de precisiones del orden de 0,8 a 1,5 mm/km
- Estabilidad en las señales

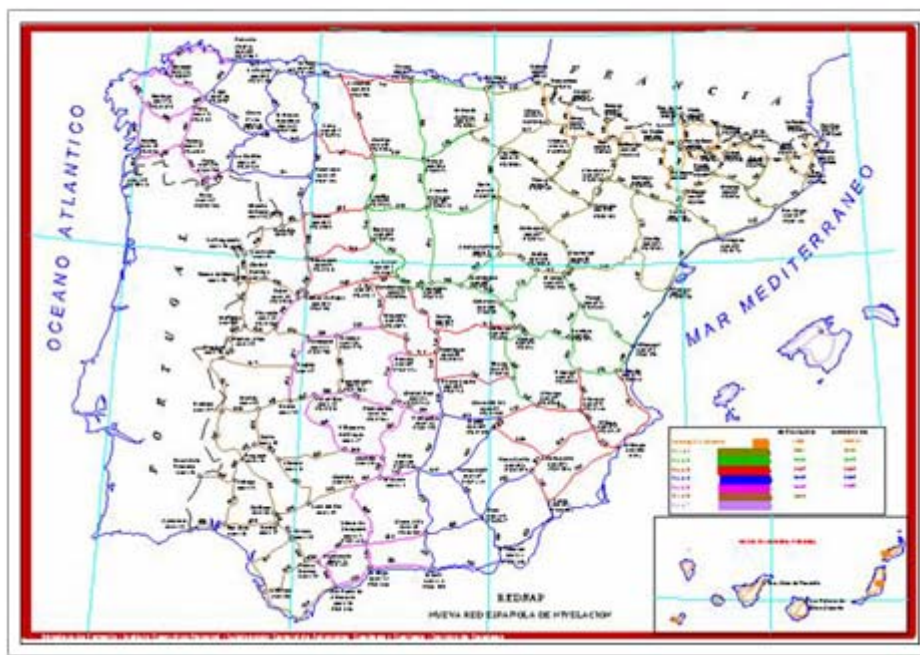


Figura 3. Líneas de Nivelación de la REDNAP (Fuente: IGN)

3.5.3.1. El proyecto REDNAP

La Red de Nivelación de Alta Precisión, tal como se conoce hoy en día, se inició en 1999 y se terminó en 2007 en la Península y un año después en Baleares. En la Península la REDNAP tiene una longitud de aproximadamente 16.500 kilómetros mientras que en las Islas Baleares la red cubre una longitud algo superior a 600 kilómetros. Todas las líneas discurren a lo largo de carreteras, autopistas y autovías, con señales separadas aproximadamente 1 kilómetro. La referencia altimétrica utilizada es el Nivel Medio del Mar en Alicante, mientras que en las islas la referencia es local enlazándose las redes con el nivel medio del mar en cada una de ellas.

Tras los trabajos de observación, la red peninsular ha sido compensada en bloque en 2008, a través del ajuste REDNAP2008, de tal forma que se procedió a realizar, en cotas geopotenciales, un ajuste de mínimos cuadrados de la red compuesta por los 136 nodos que constituyen el bloque peninsular y los 14 falsos nodos situados en los puntos fronterizos. Para la compensación se adoptó un único punto fundamental: el nodo de Alicante, materializado por la señal NP1, que ha sido la

señal fundamental en todos los cálculos de la red altimétrica española realizados hasta la fecha y cuyo valor geopotencial es de 3,34142 ugp (unidades geopotenciales), referido al nivel medio del mar en el puerto de Alicante.

El cálculo conjunto de todas las líneas arroja un residuo promedio de 0,16 ppm, lo cual indica la gran calidad de las observaciones en su conjunto. Como se puede ver en la Figura 4, los vectores de error van aumentando a medida que los nodos se alejan de Alicante.



Figura 4. Errores promedio de los nodos de la REDNAP (Fuente: IGN)

A partir de 2008, con el objetivo de reducir los polígonos de REDNAP a una longitud máxima de 400 kilómetros y mejorar la precisión de la carta del geode en aquellas zonas con poca densidad de líneas de nivelación, se procedió a establecer líneas complementarias hasta un total de 3.200 kilómetros, lo que extendería la red peninsular hasta los 20.000 kilómetros.

3.5.4. Proyectos *IBERIA 95* y *REGENTE*

Al objeto de establecer una cartografía europea unificada, era necesaria la conversión de las coordenadas de los Marcos de los Sistemas Geodésicos Nacionales al Marco ETRF89. En el caso de la Península y Archipiélagos, el IGN decidió resolver el problema a través de la campaña *IBERIA 95* y *BALEAR 98*, densificando posteriormente con el proyecto *REGENTE* (*Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales*) y que consisten en una densa red GPS de alta precisión, con estaciones coincidentes con vértices de la red ROI y clavos de las líneas de nivelación de la REDNAP.

3.5.4.1. IBERIA 95 y BALEAR 98

El *Instituto Geográfico Nacional* de España y el *Instituto Portugués de Cartografía e Cadastro* acordaron llevar a cabo una nueva campaña GPS que, bajo la denominación IBERIA 95, abarcase un total de 39 estaciones, 12 portuguesas y 27 españolas, homogéneamente distribuidas por todo el territorio peninsular.

El objetivo primordial de IBERIA95 es la densificación en la Península Ibérica del ETRF89 y la mejora de precisiones de la campaña EUREF89 en España y Portugal, estableciéndose así una red geodésica tridimensional de alta precisión, alguna de cuyas estaciones coincide con la campaña EUREF89.



Figura 5. Proyecto IBERIA95 (Fuente: IGN)

La elección de los vértices geodésicos integrantes de Iberia 95 obedeció a diversos criterios, entre los que merecen ser destacados:

- Distancia entre estaciones adyacentes compatible con el número escogido de vértices.
- Monumentación estable y perdurable
- Eliminación de los errores de centrado mediante un dispositivo de centrado forzado
- Ubicación de los vértices en lugares que permitan su nivelación geométrica o geodésica de alta precisión
- En las proximidades de las estaciones no deberán existir posibles interferencias de radiofrecuencia ni obstáculos generadores de posibles trayectorias múltiples.
- Las estaciones deberán ser fácilmente accesibles

Además, para completar el trabajo anterior, en abril de 1998 el IGN y el *Servicio Geográfico del Ejército (SGE)* llevaron a cabo conjuntamente la observación de la campaña *BALEAR98* con dos objetivos primordiales:

- Densificación de ETRF89 en el Archipiélago Balear
- Mejora de las precisiones de la campaña GPS EUREF89 en las islas

De esta manera, se estableció en las islas una red geodésica tridimensional de alta precisión similar a la constituida en la Península con IBERIA95.

3.5.4.2. Proyecto REGENTE

Por su parte, la estructura de la red geodésica del Proyecto REGENTE está constituida por aproximadamente 1.150 vértices, incluidos los situados en las islas, de forma que quedara un vértice por cada hoja del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Además, como las altitudes que se consideran en el Proyecto Regente son geodésicas, es decir, referidas al elipsoide WGS84, se contempla la realización de observaciones gravimétricas en todos ellos e imponiéndose la condición de que al menos un 10% de tales vértices estuvieran enlazados con la REDNAP, para así poder relacionarlas con las altitudes ortométricas.



Figura 6. Proyecto REGENTE (Fuente: IGN)

El Proyecto REGENTE constituye la formación de una red tridimensional que podríamos llamar de Primer Orden, es decir de máxima precisión. Los objetivos que se pretende alcanzar con el Proyecto REGENTE son los siguientes:

- Materialización, observación y cálculo de coordenadas, para toda España, de una red geodésica básica tridimensional de Primer Orden, con precisión absoluta, a priori para cada coordenada equivalente a 5 cm.
- Obtención de parámetros precisos de transformación entre el Sistema de Referencia de la Red Geodésica Nacional (ED50) y el de REGENTE (ETRS89).

- Facilitar datos válidos para la depuración del geoides español de precisión centimétrica. Se apoya el proyecto REGENTE con observaciones gravimétricas, por el método de relativas con gravímetros Lacoste-Romberg, en cada uno de sus puntos.
- Facilitar apoyo al elevado número de usuarios de la técnica GPS, de modo que un punto cualquiera del territorio nacional se encuentre dentro de un círculo de radio máximo de 15 Km con centro en un vértice REGENTE.

Debido a que se había previsto desde el principio la obtención de parámetros de transformación para toda España entre los sistemas ED50 y ETRS89, los vértices utilizados en REGENTE tienen coordenadas calculadas en ambos Sistemas.

	<i>Coordenadas geodésicas</i>	<i>Coordenadas planas (UTM)</i>	<i>Altitudes</i>	<i>Elipsoide</i>
ED50	$\varphi - \lambda$	$X_{ED50} - Y_{ED50}$	H (ortométrica)	Internacional (Hayford)
ETRS89	$\varphi - \lambda$	$X_{ETRS89} - Y_{ETRS89}$	H (elipsoídica)	WGS84-GRS80

Tabla 1. Características de los sistemas de referencia utilizados en España actualmente

Para ello, más de un 80 % de los puntos de la red pertenecen simultáneamente a ROI, por ser vértices geodésicos. En todos esos puntos se dispone del doble juego de coordenadas geodésicas ED50 y ETRS89, lo que hace posible la obtención de parámetros de transformación de coordenadas entre ambos sistemas con una alta fiabilidad para toda España.

3.5.4.3. Evolución del proyecto REGENTE

El Proyecto REGENTE se inicia oficialmente en marzo de 1994. En el mes de Abril del mismo año se dio comienzo a la observación GPS. Participaron en el proyecto el *Instituto Geográfico Nacional* y el *Servicio geográfico del Ejército* en la totalidad de las campañas y otras instituciones como el *Real Observatorio de la Armada* y el *Instituto Cartográfico de Cataluña*. El método GPS utilizado en la observación de REGENTE fue el estático relativo, observándose simultáneamente bloques de 9 vértices, con 9 receptores de doble frecuencia.

En Octubre de 2001, finalizaron las campañas de observación del proyecto. La red REGENTE quedó constituida por 1.108 vértices de la Red de Orden Inferior (ROI) y 196 clavos de Nivelación de Alta Precisión (NAP) homogéneamente distribuidos por todo el territorio español, en todos los cuales se han determinado las coordenadas WGS84 con alta precisión.

Tras la terminación de los trabajos de observación total de la red, se realizaron los trabajos de análisis, cálculo y compensación en bloque de la misma, apoyada en la de orden superior IBERIA95, con objeto de obtener las coordenadas definitivas para cada punto REGENTE en el Sistema de Referencia Terrestre Europeo ETRS89. Los cálculos y compensaciones se llevaron a cabo utilizando Efemérides Precisas obtenidas del Internacional GPS Service (IGS). Se obtuvieron así

coordenadas con una exactitud centimétrica y una precisión del orden de 10^{-1} ppm, es decir, muy superior a la de una red de primer orden convencional.

Asimismo un 20% de los puntos REGENTE disponen de un doble juego de altitudes ortométrica y elipsoidal (WGS84) de alta precisión, lo que hace de la red una herramienta de importancia para el incremento en la precisión de la carta del geoide.



Figura 7. Observación del Proyecto REGENTE (Fuente: IGN)

De esta forma se da cumplimiento a las recomendaciones europeas referentes a parámetros de transformación, a la adopción de ETRF89 como Marco Geodésico de Referencia Europeo y al establecimiento de la cartografía oficial en ETRS89 y Proyección UTM. España dispone de una red geodésica tridimensional, enlazada con el sistema europeo, de una alta precisión, uniforme y homogénea, válida para servir de apoyo a todos los trabajos y proyectos que se basen en la tecnología GPS.

3.6. Marcos de Referencia Autonómicos. La RGPA

Además, de las redes nacionales gestionadas por el IGN, algunas Comunidades Autónomas han desarrollado sus propias densificaciones a través de redes geodésicas propias.

En el caso de Asturias, existe una red denominada *Red Geodésica del Principado de Asturias o RGPA*, construida en 2003 y que supone la densificación a nivel regional de las redes REGENTE y ROI (Cuadrado et al., 2004). La red se compone de unos 60 vértices de tipo clavo colocados por

toda la región. Inicialmente, la red se materializa para dar apoyo a los trabajos de cartografía del mapa 1:5.000 del principado, pero dada la alta precisión de la red, se considera apta para usos genéricos.

3.7. Marcos de Referencia Locales

En el ámbito local, muchas administraciones necesitan establecer sus propios marcos de referencia o redes locales, para tener una densificación de las redes oficiales de orden superior, nacional y autonómico, que no suelen presentar un nivel de densificación suficiente al objeto de servir de apoyo para el desarrollo de trabajos de cartografía de detalle y, en general, trabajos más localizados.

La densificación a través de redes locales supone muchas ventajas para sus usuarios. Cuanto mayor es la densificación de las redes nacionales, mayor es el grado de proximidad y cercanía de sus señales, y mayor será el grado de simplificación de los trabajos cartográficos, que podrán apoyarse con garantías sobre la red local en lugar de otras redes de orden superior, mucho más inaccesibles.

Una red local de calidad permite a las corporaciones tener un conocimiento mucho más exhaustivo de sus territorios, con cartografías, antiguas y modernas, unificadas y coherentes, lo cual es fundamental para el desarrollo de sus planes urbanísticos. Trabajos de envergadura a desarrollar en este ámbito, como levantamientos fotogramétricos o creación de Sistemas de Información Geográfica podrán apoyarse con eficacia en esta red. Contar con una base geodésica correcta y accesible permitirá obtener cartografías correctamente referenciadas. Si, además, se puede fomentar la obligatoriedad de su uso mediante regulación normativa municipal, la cartografía gana en coherencia y homogeneidad.

Otra ventaja interesante a tener en cuenta en una red geodésica local es que sirva de referencia, tanto planimétrica como altimétricamente, a las obras de construcción. Si las obras están correctamente referenciadas se evitan errores o imprecisiones que pueden provocar incidentes como afecciones a instalaciones y servicios existentes. Es bastante habitual en la ejecución de obras, que se produzcan este tipo de problemas no previstos en proyecto y que se generen retrasos y perjuicios económicos debido a ellos.

Redes locales existen de muy diferentes tipos y en muchos lugares de nuestra geografía. Algunos ejemplos se encuentran en grandes urbes como Madrid, Barcelona o Valencia que cuentan con extensas redes propias, pero también se encuentran en ciudades mucho más pequeñas como Sagunto, Amurrio o Guadalajara; otros ejemplos a nivel regional son Oviedo, Gijón o Avilés.

En todo caso, la creación de una red topográfica local no debe consistir sólo en diseñarla, implantarla y observarla, sino que además, se debe contar con un plan de mantenimiento periódico, al objeto de mantener viva la red, y que permita tener en todo momento conocimiento sobre su estado de conservación. Para conseguirlo se debe contemplar un proyecto a largo plazo

que, además de la creación de la red, contemple protocolos de mantenimiento que incluyan revisiones, reposiciones y actualizaciones de las señales existentes. Sólo así se podrá disponer de una red geodésica local fiable y precisa.

3.8. Redes Geodésicas Activas

Una alternativa más reciente a la densificación tradicional la constituyen las Redes Geodésicas Activas. Este tipo de redes se basa en la moderna tecnología de Geodesia Espacial que se viene desarrollando con mucho éxito desde los años 1970, y que se basa principalmente en el sistema GPS (*Global Positioning System*), creado y mantenido el ejército de los Estados Unidos. Hoy en día se han incorporado a estos sistemas otros nuevos como el sistema GLONASS de origen ruso, cuya utilización conjunta con el GPS ha dado lugar a la tecnología de receptores denominada GNSS (GPS+GLONASS) que se encuentran actualmente en el mercado, y se espera en los próximos años la aparición de los receptores compatibles con el sistema europeo de posicionamiento GALILEO.

Nuestro país no es ajeno a esta tecnología, al contrario. En el ámbito autonómico se están implantando desde hace algunos años redes de Geodesia Activa. Los trabajos relacionados con Cartografía o Geomática en general se pueden apoyar sobre estas redes mediante el uso de receptores GNSS que reciben señales de las estaciones de referencia situadas dentro del alcance, permitiendo el posicionamiento en tiempo real. Algunos ejemplos son la *Red Geodésica Activa del Principado de Asturias (RGAPA)*, la *Red Activa de La Rioja*, la *Red de Estaciones GNSS de Castilla y León (ITACYL)* o la *Red Geodésica Activa de Aragón (ARAGEA)*, aunque muchas otras Comunidades Autónomas disponen también de redes activas propias, y su uso crece cada vez más.

La utilización de estas redes con fines cartográficos es una alternativa real y válida a las redes geodésicas locales pero a menudo plantea una serie de problemas. Las redes activas suelen disponer de pocas estaciones de referencia situadas normalmente en zonas de fuerte desarrollo. En efecto, estas redes de antenas tienen un mantenimiento cuyo coste frecuentemente impide que se amplíe la red hasta cubrir todo el ámbito territorial. En zonas con relieve acusado, como en Asturias, esto puede provocar que algunas zonas no tengan cobertura, o no la tengan siempre, pues la recepción de las señales está muy condicionada por la meteorología.

El disponer de pocas estaciones de referencia plantea otro problema relacionado con la distancia que separa el receptor móvil de la estación de referencia. A mayor separación entre ambos, mayor deterioro de la precisión planimétrica y mayor tiempo de observación para compensar este problema. Muchos trabajos podrán llevarse a cabo en estas condiciones, pero si se requiere una precisión mayor es posible que se tenga que emplear otra solución de tipo convencional.

Lo mismo ocurre con la altimetría. Como es sabido la Geodesia Espacial no permite obtener altitudes ortométricas, es decir referidas al Geoide, sino que proporciona altitudes referidas al

elipsoide de trabajo del GPS, con una diferencia entre ambos conocida como ondulación del Geoide que es diferente en cada punto. Si esta ondulación es conocida en la zona, el método permite obtener altitudes ortométricas a través de modelos de geoide o modelos de transformación que proporcionan las cotas a través de interpolaciones. En zonas donde la ondulación no esté muy estudiada, si las observaciones se realizan en una zona cercana, de pocos kilómetros a la estación de referencia, el error por interpolación que se comete suele ser asumible incluso despreciable dependiendo de los trabajos, pero a medida que el receptor se separa de la estación de referencia, el error en altimetría puede llegar a ser grande.

Además, las redes activas no permiten el uso de técnicas clásicas. Solamente es compatible con el uso de receptores GPS o GNSS, por lo que no se puede utilizar estación total con apoyo en estas redes. Por lo tanto, su uso queda restringido a zonas despejadas donde los receptores puedan recibir las señales de los satélites.

En determinadas zonas de relieve acusado o en zonas de alta concentración urbana, se producen problemas derivados de una recepción deficiente de las señales de satélite. A menudo ni siquiera se obtienen señales suficientes para trabajar por la presencia de obstáculos como edificios, mobiliario urbano, arboleda, etc. Las señales, si se reciben, pueden ser de muy mala calidad debido al efecto multipath o rebote de la señal que se puede producir en los elementos de gran altura, como los edificios. Además, es habitual en las observaciones urbanas tener un GDOP deficiente, es decir, la geometría de la constelación de satélites es desfavorable, lo cual produce un deterioro de la precisión obtenida, típico en las observaciones donde sólo se reciben los satélites situados en la zona cenital del cielo. En zonas urbanas es, por lo tanto, necesario recurrir a instrumentos de topografía clásica cuando la red activa no es utilizable.

Sin embargo, en zonas rurales donde se puede realizar un buen enlace con las estaciones de referencia, la red geodésica activa es una tecnología útil y práctica para densificar una red propia o para realizar trabajos de envergadura en tiempo real sin recurrir a la creación de una red geodésica, siempre y cuando se puedan asumir los errores planimétricos y altimétricos que suelen ser mayores trabajando con este tipo de redes que con redes geodésicas convencionales.

Pero en el ámbito urbano, las técnicas espaciales tienen, como se acaba de ver, algunas limitaciones que limitan su uso. En estos casos, la implantación de redes geodésicas locales es la alternativa válida para disponer de un marco de referencia enlazado con las redes nacionales.

3.9. Redes geodésicas y sus aplicaciones

La información relativa a la implantación de redes geodésicas desde el punto de vista de la gestión de proyectos es escasa. Las redes geodésicas existen en muchos lugares de nuestra geografía en menor o mayor escala, pero se encuentra poca información sobre cómo se gestionan los proyectos que hacen posible su creación o sobre la forma en que se realizan las actualizaciones y revisiones de las mismas.

A gran escala, el Instituto Geográfico Nacional gestiona la red geodésica a nivel nacional, conformada en la actualidad por los vértices la *Red de Primer Orden (RPO)*, la *Red de Orden Inferior (ROI)* y la *Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)*, mediante protocolos que le son propios, pero en un ámbito más regional o local, no existe un protocolo de actuación ni determinado ni único, y parece que cada administración lleva a cabo actuaciones de forma independiente, que muchas veces son definidas por las organizaciones o empresas que llevan a cabo los trabajos, adaptándose a cada caso. Estas actuaciones no están estandarizadas y la mayoría de las veces el único documento en el que apoyarse es el pliego de condiciones que cada administración emite para la contratación externa del servicio como el Pliego del Ayuntamiento de Oviedo (2013) o los pliegos del Gobierno de Navarra (2007). En estos documentos se encuentra información útil para la metodología que se va a desarrollar, que será ilustrativo de lo que las Administraciones Públicas demandan a la hora de plantear un proyecto de este tipo.

Existe mucha documentación relativa a la implantación de redes geodésicas de diverso tamaño, y que tratan aspectos técnicos y de diseño en casos concretos como la construcción de túneles de gran longitud (Velasco, 2010; Velasco et al., 2014), la gestión de Sistemas de Información Geográfica con apoyo en redes microgeodésicas (Miranda et al., 1999). En relación con la Red Geodésica del Principado de Asturias (RGPA) existe un artículo (Cuadrado et al., 2004) sobre la implantación de la red al objeto de tener control sobre la calidad de la cartografía del Principado; esta red existe todavía y viene a densificar a nivel autonómico las redes nacionales que mantiene el IGN.

Existen diversas publicaciones sobre la utilización de redes geodésicas por técnicas espaciales en el ámbito geológico como el análisis de la inestabilidad de macizos rocosos (Duranton, 2000), el estudio de movimientos en laderas (Martínez-Yáñez, 2009), el estudio de deformación en volcanes (Sevilla, Romero, 1991), la monitorización y control de movimientos tectónicos (Ihde et al. 2005), el control de fallas (Ferranti et al., 2014) o el control de terremotos a nivel global (Ozener et al., 2013). También para la monitorización de islas volcánicas (Fernández et al., 2003).

En una temática más cercana, abundan las publicaciones dedicadas al análisis de la precisión de las redes geodésicas y la relación de los observables con los errores de observación. Por ejemplo, hay estudios sobre la detección de errores o desviaciones elevadas usando la media (Hekimoglu et al. 2013), diseño de redes según estimación de errores (Klein et al., 2012) o el análisis de errores en redes robustas aplicadas al análisis de deformaciones debidas a catástrofes naturales (Yetkin et al., 2013).

En el ámbito de la planificación de redes geodésicas, y a nivel internacional, es muy interesante la documentación que publica el Gobierno de Quebec a través de varios organismos, *Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (2012)* y *el Ministère des Transports du Québec (2013)*. Se trata de pliegos de obligado cumplimiento para los contratistas, que desarrollan con bastante detalle los pasos a seguir en la implantación de redes en relación, lógicamente, con las peculiaridades de esa región. Estos documentos no tratan el desarrollo de redes locales, no

llegando a tal nivel de detalle, sino que focalizan un ámbito mayor, regional en este caso, aunque se podría comparar con nuestro ámbito nacional pues la superficie de Quebec es triplemente mayor que la de España. Sin embargo, se pueden tener en cuenta algunas consideraciones para utilizarlas en este trabajo.

Por otro lado, el desarrollo de redes geodésicas parece tomar dos caminos diferentes pero complementarios. Por un lado se desarrollan redes geodésicas locales, que es el tema tratado aquí, y que permiten tanto la utilización de métodos de topografía tradicionales como modernos, es decir, estación total o Geodesia Espacial. Por otro lado, como se mencionaba anteriormente, desde la aparición de la tecnología GPS se están implantando redes de estaciones GPS o GNSS (GPS+GLONASS) permanentes, también llamadas redes de Geodesia Activa. Parareda, Soro, Bosch y Térmens (2007) plantean sus experiencias en relación con el servicio RTKAT que cubre la Comunidad Autónoma de Catalunya. También se encuentran planteamientos similares a nivel internacional en Argentina (Mackern, 2005) como alternativa a las redes convencionales de materialización del marco de referencia geodésico o en Brasil (Chuerubim, et al., 2011) donde se trata del uso de métodos GNSS para la densificación de redes geodésicas nacionales. Más cercano a nosotros es el caso de la red Geodésica Activa de Andalucía (Garrido et al., 2013).

3.10. Conclusiones

De lo visto hasta el momento, queda claro que España dispone de un marco de referencia que cubre todo el territorio nacional, incluidas las islas.

Desde la década de 1980, se dispone de una red geodésica, *European Datum 1950 (ED50)*, obtenida con observaciones clásicas y cuyas precisiones oscilan entre los 10 y 30 cm. A partir de los años 1990, la Red Geodésica Nacional se moderniza con la aparición del proyecto de *Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)*, que utiliza técnicas mucho más precisas de geodesia espacial; esta red se basa en el sistema de referencia europeo *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* y su precisión es del orden de 5 cm. Además, existe también una red altimétrica de alta precisión, la *Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP)*, que se ha ido mejorando y perfeccionando con los años hasta alcanzar valores muy precisos.

Además de las redes gestionadas por el *Instituto Geográfico Nacional (IGN)*, que se acaban de citar, existen otras redes de competencia autonómica gestionadas de forma independiente por cada Comunidad. En Asturias, desde el año 2003 está disponible la *Red Geodésica del Principado de Asturias (RGPA)*, apoyada sobre el sistema ETRS89 y cuya precisión es similar a REGENTE. La mayoría de las Comunidades Autónomas disponen de la suya.

Por otra parte, también existen redes de Geodesia Activa de gestión autonómica también, que suponen una alternativa a las redes geodésicas convencionales. En el caso de Asturias, se trata de la *Red Geodésica Activa del Principado de Asturias (RGAPA)*, aunque casi todas las Comunidades

Autónomas tienen red activa propia. Estas redes se apoyan sobre el ETRS89, pero se limitan a dar apoyo a instrumentación GPS y no son compatibles con la instrumentación tradicional.

Además de las aplicaciones cartográficas mencionadas de las redes geodésicas, se aprecia la existencia de redes a pequeña escala en ámbitos diferentes al tratado en el presente trabajo, como el Control de Deformaciones o la Tectónica de Placas, en los que estas infraestructuras se utilizan como medio de control y seguimiento. Este hecho confirma la precisión de las tecnologías actuales para la definición de redes geodésicas.

Volviendo a la temática cartográfica, los marcos oficiales de referencia, aún siendo perfectamente válidos y precisos, no llegan al nivel de detalle que algunas aplicaciones cartográficas requieren. Al no existir a menudo disponibilidad de marcos más localizados, la utilización de marcos nacionales y regionales de referencia aumenta los plazos y costes de ejecución de determinados proyectos. Así mismo, el disponer de opciones de georreferenciación de distinta naturaleza, introduce un componente de error que puede derivar en problemas de compatibilidad entre cartografías, incluso errores e incidentes no deseados.

Por ello, algunas corporaciones locales optan por establecer sus propias redes geodésicas locales, con mayor o menor acierto según los casos, y adaptando las redes a sus necesidades particulares. En el presente estudio se tratarán estas diferencias y se planteará una metodología que ofrezca solución a los problemas encontrados y aproveche los aciertos de dichas redes.

4. Encuestas

4.1. Introducción

En el marco del presente estudio se han realizado cinco encuestas a personal dedicado a la gestión de redes locales a nivel municipal. Se han elegido los ayuntamientos de Avilés, Oviedo, Gijón, Siero y Nava, que cuentan con redes geodésicas locales propias o se encuentran desarrollándolas en estos momentos. La razón de la elección de estas poblaciones ha sido, además de tener redes propias, conseguir una muestra que fuese representativa de la realidad de la región, eligiéndose los principales núcleos urbanos del Principado, y otros dos ayuntamientos, Siero y Nava, donde predominara el medio rural. Se trata con esto de establecer cómo corporaciones con importantes diferencias geográficas, económicas y presupuestarias gestionan sus necesidades de disponer de marcos de referencia y de las consecuencias que esas diferencias pueden tener en el establecimiento de éstos.

Con las encuestas se ha pretendido determinar las características particulares de cada una de las redes analizadas. Para ello, se han preparado una serie de preguntas que se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Aspectos generales. Antigüedad de la red, nº de señales colocadas, órdenes de precisión, zonas cubiertas urbanas y rurales, fase de realización, etc.
- Aspectos técnicos. Este grupo de preguntas trata de averiguar los métodos utilizados para la observación y cálculo de la red, el Datum utilizado, redes geodésicas de apoyo, las precisiones esperables, amplitud y densidad de la red, entre otros.
- Justificación de la implantación de la red. En este apartado se ha intentado investigar sobre los motivos de la creación de la red e identificar los colaboradores y promotores de la iniciativa.
- Requisitos que la red ha de cumplir. Toda red ha de cumplir con unos requerimientos de partida, que suelen diferir de una localidad a otra. La red ha de adaptarse al entorno físico en el que se implanta y a las necesidades que los gestores tienen.
- Plan de mantenimiento. Estas preguntas se han enfocado a determinar cuáles son los pasos que los gestores han seguido para mantener sus redes en buen estado de conservación y averiguar cuál es su grado de conocimiento de las mismas.
- Divulgación de los datos de la red. En esta parte se ha tratado de saber cuál es la forma en que los gestores de la red la ponen a disposición de los usuarios, puesto que ese es su fin último.

Todos estos aspectos de las encuestas tienen por objeto final determinar cuáles pueden ser las flaquezas y aciertos en la implantación y utilización de las redes geodésicas locales. Con la información obtenida aquí y lo aprendido mediante investigación bibliográfica, se pretende diseñar una metodología que, apoyándose en los aspectos positivos detectados, permita corregir los

defectos que se hayan apreciado, al objeto de establecer una metodología que permita llevar a cabo una organización correcta de cómo gestionar y dirigir un proyecto de este tipo.

Una de los mayores problemas de las redes geodésicas en el pasado ha sido la carencia de planes de mantenimiento a lo largo del tiempo; éste es un aspecto fundamental para la viabilidad y calidad de cualquier red a largo plazo. En el pasado, las redes nacionales han tenido un mantenimiento irregular, por lo que muchos vértices estaban en mal estado haciéndose a veces imposible su uso. Para evitar este problema, las operaciones de mantenimiento deberían ser tenidas en cuenta desde las fases iniciales de los proyectos de implantación de las redes. Con las encuestas se ha tratado de aclarar este punto en particular, para saber si se han definido o no planes específicos que permitan el mantenimiento de la calidad de las redes.

4.1.1. Evolución de la Redes Geodésicas en localidades asturianas

Los municipios de Avilés, Oviedo y Gijón fueron los primeros en instalar redes geodésicas propias. La red de Gijón se instaló en 1991 en el marco de los trabajos realizados para la actualización de su cartografía en el sistema ED50. Oviedo, por su parte, instaló la suya en colaboración con Catastro en los años 90 también, la denominada *Red Urbana de Referencias Topográficas o RURT*, también en ED50. Ninguna de estas dos redes era inicialmente de acceso público, y no tuvieron actualizaciones posteriores más allá de algunas ampliaciones por razones coyunturales y puntuales.

En 2003, Avilés inicia la instalación de su propia red, la *RTLA o Red Topográfica Local de Avilés*, observada y calculada en el sistema ETRS89, y con correspondencia al sistema de coordenadas del ED50. La particularidad de esta red es que desde el principio se concibe para su uso libre por parte de cualquier usuario que lo necesite. En la actualidad, el Ayuntamiento pone a disposición de los usuarios un archivo **.kml* para cargar la información de la red sobre Google Earth, lo cual simplifica las consultas y evita la necesidad de contactar el personal del Ayuntamiento para obtener la información.

Posteriormente, en 2008, Oviedo sigue los pasos de Avilés y crea una nueva red, diferente de la anterior, la *REDGEMO o Red Geodésica Municipal de Oviedo*, también de acceso público. Como en el caso de Avilés, fue diseñada y calculada en el sistema ETRS89, con obtención de sus correspondientes coordenadas en el ED50. Esta red ha tenido una actualización recientemente a finales del año 2013.

En un ámbito más modesto, Siero y Nava consiguen también crear sus propias redes geodésicas, de una envergadura inferior a las anteriores por la menor disponibilidad de recursos. En ambos casos, la instalación de las redes surge a iniciativa de dos proyectos de fin de carrera del Campus de Mieres, cuyo objeto era la implantación de redes geodésicas en esos municipios. Nava cuenta desde entonces con una pequeña red de unas 30 señales ubicadas en casco urbano. En el caso de Siero, y basándose en la red implantada por la Universidad, están desarrollando su propia red al objeto de ampliarla y cubrir todo el municipio.

4.1.2. Problemática municipal y local

La necesidad de implantar redes geodésicas locales es común a todos los ayuntamientos, puesto que el marco de referencia geodésico asturiano se limita a las redes ROI y REGENTE de ámbito y la red *RGPA o Red Geodésica del Principado de Asturias* que densifica las redes nacionales a nivel autonómico, pero que no dispone de señales suficientes a nivel local³. Además, no existe en nuestro país una política global de densificación de estas redes, como ocurre en otros países europeos, que abarque desde el más alto nivel de precisión a un nivel de detalle de tipo local, para el desarrollo de los trabajos cartográficos más habituales.

Se ha podido comprobar en las entrevistas, que este hecho plantea una serie de importantes problemas a nivel local. En primer lugar, el no disponer de un marco de referencia cercano y accesible hace que los levantamientos cartográficos que se realizan se refieran a menudo a sistemas arbitrarios elegidos por los ejecutantes de los trabajos, y que nada tienen que ver con los oficiales. Estas cartografías no coinciden, por tanto, con los sistemas utilizados por las Administraciones, especialmente las locales, que han de dedicar mayores esfuerzos a su correcta georreferenciación. También es frecuente que esos datos ni siquiera se puedan incorporar a los mapas municipales pues al tratarse de planos sencillos, como los requeridos para la solicitud de licencias, no contienen referencias claras lo cual impide su encaje en la cartografía municipal. Con un marco de referencia apropiado sería sencillo evitar el problema y la cartografía obtenida se podría insertar directamente en la cartografía del ayuntamiento.

La carencia de densificación a nivel local, plantea un incremento del coste de los trabajos a nivel particular y diversos errores en los trabajos que se realizan que conllevan importantes pérdidas económicas así como un aumento del tiempo planificado para los mismos. Este incremento tiene una difícil justificación cuando una administración local exige el encaje en el sistema oficial pero no dispone de la densificación apropiada de la red para facilitarlo. Por este motivo, es frecuente encontrar encajes cartográficos aproximados con ortofotografías del Catastro que pueden tener errores cercanos al $\frac{1}{2}$ metro; peor aún si los encajes se realizan con otros proveedores cartográficos aproximados, como Google Earth, que pueden tener errores de posicionamiento mucho mayores, de varios metros incluso.

Es un caso similar al de Catastro. Para llevar a cabo cualquier modificación relativa a la morfología, ubicación o tamaño de una propiedad, no se dispone habitualmente de redes locales accesibles que permitan georreferenciar el trabajo al sistema oficial. Las señales que utiliza Catastro son escasas y no son, en principio, de acceso libre sino de uso propio, lo que obligaría a recurrir a los vértices geodésicos del IGN. Como consecuencia del encarecimiento derivado de la falta de referencias, se recurre a encajes aproximados como los descritos en el párrafo anterior.

³ El Principado de Asturias ha apostado por la RGAPA o Red Geodésica Activa del Principado de Asturias que proporciona apoyo mediante antenas receptoras GNSS con emisión de señales para posicionamiento cinemático en tiempo real.

Por lo expuesto, se aprecia una clara tendencia de las corporaciones locales a implantar redes geodésicas en sus ámbitos de actuación y a fomentar entre los usuarios el uso de estas redes, al objeto de unificar todas las cartografías, las existentes, las de nueva creación y las aportadas por éstos. Esto simplifica enormemente la tarea de su personal, y permite disponer de una sólida base sobre la que apoyar todos los trabajos que realizan en el área de la ordenación del territorio.

4.2. Estudio comparativo y resultados

A continuación se llevará a cabo un estudio comparativo de todas las redes encuestadas. Para más detalle, en el anejo 8.1 se pueden consultar las encuestas realizadas en su totalidad. Para el estudio, se ha creado una tabla-resumen con los datos obtenidos de las encuestas y agrupados por áreas temáticas para mayor claridad y comprensión.

Para realizar la comparación se van a tener en cuenta una serie de parámetros principales que permitan evaluar cada una de las redes geodésicas y compararlas entre sí:

- Amplitud y densidad de señales suficientes para cubrir toda la superficie del territorio pero equilibrada para encarecer o dificultar las tareas de mantenimiento innecesariamente
- Señalización apropiada a las condiciones geográficas
- Métodos de observación y cálculo adaptados a las precisiones requeridas. Las precisiones han de ser suficientes para los objetivos a cumplir. En general, serán lo más elevadas posibles para permitir todo tipo de trabajos, incluso de alta precisión.
- División en órdenes de precisión coherentes con los medios y métodos utilizados. Normalmente, métodos diferentes suelen implicar órdenes también diferenciados.
- Adaptación al sistema de referencia oficial del lugar en el que se encuentre la red y adaptación a otros sistemas si los hay, como es el caso en España
- Mantenimiento activo y realista de la red. Suele ser más barato mantener que volver a implantar. Pero un mantenimiento muy denso es innecesario y caro, por lo que no sería justificable ni viable económicamente.
- Divulgación. El objetivo último de las redes es que sean utilizadas por los usuarios para compatibilizar toda la producción cartográfica realizada. Que la red sea de libre utilización y acceso es un imprescindible para lograr ese objetivo.
- Concienciación de los diferentes actores de la administración local para homogeneizar las cartografías y fomentar la implantación y el uso de las redes locales. Creación de legislación para obligar a la utilización de las redes locales por parte de los usuarios.

4.2.1. Tamaño y amplitud de las redes

Si se considera el número de señales que las forman, algunas redes parecen desmesuradamente grandes. El caso más llamativo es el de Gijón que, si bien es cierto que tiene un

tamaño superior a los demás municipios estudiados, tiene un número de señales muy elevado. En la práctica, esto propicia cierto abandono de la red, pues el coste del mantenimiento si se realizara mediante empresa externa sería difícil de justificar en los presupuestos de la corporación; además, el mantenimiento por parte del personal del ayuntamiento sería inviable por la inmensidad del trabajo que supondría para los recursos disponibles.

El caso de Avilés es un poco diferente, porque aunque no tenga un número de bases tan alto como Gijón, tiene una enorme densidad de señales, muy superior a cualquiera de los casos tratados. Aunque la 1ª fase se realizó en su día a través de subcontratación, las tareas de mantenimiento y ampliación son llevadas a cabo por personal del Ayuntamiento, que lo ha realizado poco a poco desde los inicios de la red y que es perfectamente conocedor de la situación de la misma. Aún así, las dimensiones de la red empiezan a ser grandes, y de producirse cualquier cambio entre el personal, podría darse el caso de la imposibilidad o inviabilidad de realizar el mantenimiento puesto que no disponen de planes de mantenimiento. Además la cobertura actual es muy buena y seguiría siendo buena con menos señales.

Nº de encuesta	1	2	3	4	5
Población	Avilés	Oviedo	Nava	Gijón	Siero
Superficie	26,81 km ²	186,65km ²	95,81km ²	181,60km ²	211,23km ²
Habitantes	82.568	225.089	5.511	275.274	52.301
Año instalación	2003	2008	2010	1991	2014-En curso
Nº de señales	764	283	32	1200	70
Densidad de bases	28 ud/km ²	1,5 ud/km ²	0,33 ud/km ²	6,60 ud/km ²	0,33 ud/km ²
Grado de compleción	1ª fase terminada 2ª fase en curso	1ª y 2ª fase terminadas	Terminada	Terminada	1ª fase en curso
Medios utilizados	Subcontratación en 1ª fase y propios en la 2ª fase	Subcontratación	Propios	Subcontratación	Propios
Zonas cubiertas	Urbanas y rurales	Urbanas y rurales	Urbanas	Urbanas sobre todo. Poca cobertura rural	Urbanas, industriales y consideradas de importancia. No se prevé cobertura en zonas rurales
Promotor	Ayuntamiento	Ayuntamiento	Ayuntamiento	Ayuntamiento	Ayuntamiento
Colaboraciones	-	-	Campus de Mieres	-	Campus de Mieres

Tabla 2. Datos generales

El tamaño de una red geodésica es un aspecto muy importante en la definición de la red; densidades demasiado altas, un elevado número de señales o tener que cubrir grandes superficies son factores que pueden entorpecer, incluso arruinar, la realización de tareas de mantenimiento por ser inviables. Para poder asegurar la fiabilidad de la red, estos aspectos deben tenerse en cuenta desde las fases iniciales del proyecto de implantación, de forma que se pueda disponer de una red que cumpla sus objetivos y se pueda mantener. Esta variable se considera uno de los puntos más importantes de la metodología que se va a desarrollar.

El caso de Oviedo parece más equilibrado que los anteriores. Cuentan con poco menos de 300 señales con buena cobertura del municipio, lo que parece ser una cifra manejable. Desde el Ayuntamiento afirman que es una cifra suficiente para los objetivos que persiguen, y el

mantenimiento es económicamente viable, de hecho, se realiza a través de subcontratas con un coste moderado.

Tanto Siero como Nava disponen de redes pequeñas, sobre todo Nava, con pocas señales y preferiblemente distribuidas en los cascos urbanos. Unas cifras pequeñas o moderadas en cuanto a número de señales posibilitaría la realización de trabajos de revisión y mantenimiento con medios propios municipales o con un coste bajo en caso de subcontrataciones. Los recursos de estos ayuntamientos son mucho más limitados que los demás casos y, por ello, sus redes no son demasiado densas aunque afirman que son suficientes para los objetivos que se marcan en la actualidad.

En general, se observa que las redes que han podido ser ejecutadas total o parcialmente a través de subcontratas tienden a ser de mayor tamaño. Evidentemente, el poder contar con medios externos aporta una ventaja en cuanto a la capacidad de generar una red más completa.

4.2.2. Señalización

En la disposición de las señales todos los encuestados suelen coincidir sensiblemente. En todos los casos, se utilizan clavos de cabeza hemiesférica colocados mediante taladro y recibidos con resina epoxi para su fijación. Suelen preferirse los bordillos, por su estabilidad, mejora de la visibilidad entre señales y fácil acceso. Los clavos tienen la ventaja de garantizar una gran permanencia, son discretos, no generan alteraciones con los elementos urbanos ni molestias a los viandantes, son baratos y de fácil y rápida colocación.

Sólo en algunos casos, se utilizan hitos para poder hacer marcajes en zonas rurales, donde no se dispone de zonas duras o macizos rocosos que pudieran sustituir los elementos urbanos, como es el caso de Nava, aunque no es la señalización más recomendable si se busca permanencia del vértice.

Las señales se colocan de forma que se obtenga la cobertura de todo el municipio o de zonas de especial interés para los desarrollos municipales. Suele haber mayor presencia de señales en zonas urbanizadas frente a las zonas rurales que suelen ser las menos cubiertas, especialmente en los concejos con redes poco desarrolladas, como Siero y Nava, donde solamente se da apoyo desde el casco urbano.

En zonas urbanas, en todos los casos, se busca la adaptación a la morfología de la ciudad para obtener la mejor cobertura posible para el uso de receptores GNSS; la colocación se prefiere en cruces, plazas y, en general, zonas despejadas.

Otra característica común es que las señales se disponen buscando la intervisibilidad entre al menos dos de ellas para posibilitar también los estacionamientos con estación total; en el caso de Avilés, en los cruces se busca la intervisibilidad con más de dos bases para mejorar el cálculo de

coordenadas (aumenta en el número de visuales) y disponer de alternativas en casos de desaparición de señales.

La única red que no está pensada para garantizar la intervisibilidad es la de Siero donde se prefiere la colocación en zonas despejadas para garantizar la cobertura mediante GNSS o GPS, al menos en la fase actual de desarrollo de su red. En cualquier caso, la mayoría de los casos prefieren garantizar la intervisibilidad, de forma que se puedan realizar trabajos mediante todo tipo de equipos.

Nº de encuesta	1	2	3	4	5
Población	<i>Avilés</i>	<i>Oviedo</i>	<i>Nava</i>	<i>Gijón</i>	<i>Siero</i>
Superficie	26,81 km ²	186,65km ²	95,81km ²	181,60km ²	211,23km ²
Habitantes	82.568	225.089	5.511	275.274	52.301
Tipo de señalización	Clavos	Clavos	Clavos	Clavos	Clavos
Disposición de señales	<ul style="list-style-type: none"> - Intervisibilidad: al menos 2 visibles entre sí - Adaptadas a morfología urbana - Situadas en cruces 	<ul style="list-style-type: none"> - Intervisibilidad: al menos 2 visibles entre sí - Adaptadas a morfología urbana - Preferible en cruces 	<ul style="list-style-type: none"> - Intervisibilidad: al menos 2 visibles desde cada señal - Se intenta aproximar a una red de triángulos equiláteros - Se eligen líneas base <250 m - Trata de cubrir todo el casco antiguo 	<ul style="list-style-type: none"> - Intervisibilidad: al menos 2 visibles entre sí - Adaptadas a morfología urbana para permitir los trabajos con estación total - Preferible en cruces 	<ul style="list-style-type: none"> - Intervisibilidad no imprescindible - Cubrir zonas de interés con al menos 2 o 3 señales - Piensan aprovechar las señales de la antigua red de 1994
Requisitos de las señales	<ul style="list-style-type: none"> - Permanencia - No alteraciones del medio ni interferencias - Cubrir todo el municipio - Preferible en bordillos 	<ul style="list-style-type: none"> - Permanencia - No alteraciones del medio ni interferencias - Cubrir todo el municipio - Preferible en bordillos 	<ul style="list-style-type: none"> - Permanencia - No alteraciones del medio. - Cubrir todo el municipio - Preferible en bordillos - En zonas urbanas se colocan bases de hormigón con clavo 	<ul style="list-style-type: none"> - Permanencia - No alteraciones del medio ni interferencias - Cubrir todo el municipio - Preferible en bordillos 	<ul style="list-style-type: none"> - Permanencia - No alteraciones del medio ni interferencias - Cubrir zonas específicas del municipio - Preferible en bordillos

Tabla 3. Señalización

El tipo de señalización elegido en las redes estudiadas se considera apropiado para la metodología a plantear, así como la adaptación de las señales a la morfología urbana. La metodología deberá garantizar una cobertura suficiente en toda la zona a cubrir, especialmente en zonas urbanas o zonas de especial desarrollo. Además, la intervisibilidad entre dos o más señales se considera imprescindible al implantar una red, de manera que sea posible utilizar cualquier tipo de instrumentación, no solamente los receptores GPS.

4.2.3. Órdenes de precisión y métodos de observación

En todos los casos se han elegido varios órdenes de precisión, y ello condicionado generalmente por los métodos de observación que se utilizan y por la amplitud de las redes.

Entre todos los casos estudiados, se dan por dos posibilidades, 2 o 3 órdenes de precisión. En los casos en los que se cubren grandes núcleos urbanos, las redes suelen estar compuestas por 3 órdenes de precisión, mientras que en los casos en los que se cubren zonas más pequeñas y rurales, no suelen tener más de 2 órdenes.

En este caso, cualquier elección puede ser válida, dependiendo de la instrumentación disponible, de la envergadura de la red, de las precisiones requeridas, etc. En la metodología no se dará preferencia a una elección sobre otra, sino que se deberá elegir la organización en órdenes de precisión que mejor se adapte a los condicionantes de cada caso.

Nº de encuesta	1	2	3	4	5
Población	<i>Avilés</i>	<i>Oviedo</i>	<i>Nava</i>	<i>Gijón</i>	<i>Siero</i>
Superficie	26,81 km ²	186,65km ²	95,81km ²	181,60km ²	211,23km ²
Habitantes	82.568	225.089	5.511	275.274	52.301
Órdenes de precisión	3	3	2	2	2
Métodos de observación	Geodesia espacial, Intersecciones y nivelación geométrica	Geodesia espacial, poligonación y nivelación geométrica	GNSS (Métodos estáticos)	Geodesia espacial (métodos estáticos) Topografía clásica	GNSS (RTK)
Marcos de referencia	ROI, REGENTE, RGPA	ROI, REGENTE, RGPA	RGAPA (Antena GNSS de Mieres)	ROI	RGAPA
Datum	ETRS89 con transformación a ED50 Proyección UTM	ETRS89 con transformación a ED50 Proyección UTM	ETRS89 Proyección UTM	ED50 con transformación a ETRS89 Proyección UTM	Antigua red: ED50 Nueva red: ETRS89 Proyección UTM
Referencia altimetría	REDNAP	REDNAP	REDNAP	Cero del Puerto	REDNAP
Métodos de cálculo	MMCC	MMCC	MMCC	MMCC	MMCC
Precisiones en planta	2cm	1 a 2 cm	1,5 cm	13 cm	3 a 5 cm
Precisiones en altitud	2cm	2 a 3 cm	1 a 2 cm	Pocos centímetros	2 a 3 cm

Tabla 4. Métodos de observación y cálculo

4.2.3.1. Redes con 3 órdenes de precisión

El 1º orden se apoya sobre la red principal oficial y se observa con técnicas espaciales mediante observación por el método estático relativo, que es el que permite obtener las máximas precisiones. El 2º orden se apoya sobre el 1º, y suele observarse también con método estático relativo, pero buscando más el equilibrio entre productividad y precisión puesto que las distancias son más cortas y el tiempo de observación puede ser, por ello, inferior. El 3º orden puede apoyarse sobre los órdenes 1 y 2, y suele observarse con técnicas espaciales, con técnicas topográficas convencionales como poligonales o intersecciones, o por combinación de varios métodos. Este es el caso de Avilés y Oviedo.

4.2.3.2. Redes con 2 órdenes de precisión

Igual que en el caso anterior, el 1º orden se apoya sobre la red principal oficial y se observa mediante técnicas espaciales con método estático relativo garantizándose la máxima precisión. El 2º orden se apoya sobre el 1º, y se obtiene o bien por técnicas espaciales más rápidas y de menor precisión o por técnicas topográficas convencionales, poligonales o intersecciones. Es el caso de Gijón y Nava.

El caso de Siero es un poco diferente del resto. Aunque tengan dos órdenes establecidos, no se refiere tanto a la precisión como a la densificación. La red consta, por el momento de un único orden principal, que se verá densificado próximamente con un segundo orden. Se trata en realidad de una segunda fase, pues ambas se miden del mismo modo, con GPS cinemático en tiempo real

(RTK) con referencia a la *RGAPA o Red Geodésica Activa del Principado de Asturias*, lo que permite obtener precisiones entre 3 y 5 cm en toda la red. En realidad la red de Siero, cuando esté concluida tendrá un único orden de precisión.

4.2.3.3. *Precisiones de las redes*

En cuanto a precisiones planimétricas, existen diferencias notables entre algunas redes. La red con menor precisión de las cinco estudiadas es Gijón, como es lógico, puesto que la red de Gijón se ha establecido en el año 1991 con apoyo sobre la Red de Orden Inferior o ROI, que era la existente en ese momento. La precisión de esta red, como se indicaba en el Estado del Arte, es del orden de 10 a 30 cm debido a los métodos de observación clásicos de la época que condujeron a su creación. Aunque la red de Gijón se haya observado con metodologías GPS más modernas, no es posible mejorar la precisión de la red de apoyo, con lo que la ROI transmite su precisión a la red que se apoya en ella.

Sin embargo, las demás redes estudiadas tienen mayor precisión. Al ser más modernas, se han medido tomando como apoyo la red REGENTE, que densifica el sistema ETRS89, y se han observado con métodos GNSS estáticos relativos, por lo que las precisiones son máximas, especialmente en los casos de Avilés, Oviedo y Nava. La red REGENTE, cuyas precisiones son inferiores a los 5 cm, es mucho más precisa que la ROI, por lo que transmite muy poco error a las redes locales, que tienen errores medios no superiores a los 2 o 3 cm aproximadamente.

El caso de Siero es distinto. En las redes de Avilés, Oviedo y Nava, se han utilizado técnicas estáticas relativas de observación, que utilizan dos o más receptores; aunque lentas, estas técnicas son las que mejores resultados proporcionan. Sin embargo, en Siero se trabaja con observaciones en tiempo real (*Real Time Kinematic o RTK*), que sólo utilizan un receptor y que proporcionan resultados en pocos minutos. Estas observaciones en tiempo real son posibles enlazando por radio el receptor a una red geodésica activa, en este caso la Red Activa del Principado. Aunque esta red de apoyo pertenece, igual que REGENTE, al marco ETRF89, por lo que tiene muy buena precisión, este tipo de observación no es tan preciso como los métodos estáticos relativos. De hecho, la precisión de la red de Siero está entre 3 y 5 cm, que será válida para la mayoría de los trabajos, pero no lo será para trabajos de gran precisión.

La elección del método de observación es fundamental para determinar el rango de precisiones que se necesita alcanzar. Lo deseable en la metodología sería, lógicamente, elegir el método más preciso, pero este tipo de elecciones vendrán siempre condicionadas por los recursos y medios disponibles. No siempre será posible contar con el método más adecuado y algunas veces la disponibilidad de recursos puede obligar a usar un método más productivo, aunque menos preciso, como es el caso de Siero.

4.2.4. Sistemas y marcos de referencia utilizados

Como se deduce de la Tabla 4, la red más antigua, la de Gijón, se apoyó inicialmente sobre la red ROI, es decir, los cálculos se realizaron al principio sobre el sistema ED50, oficial en ese momento. Posteriormente, mediante cálculos de transformaciones se obtuvieron sus coordenadas en el sistema ETRS89 que, como ya se indicó en capítulos anteriores, será el único oficial a partir del 1 de enero de 2015, según establece el *Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España*. Es decir, que cada señal o vértice tiene dos juegos de coordenadas uno en el sistema antiguo ED50 y otro en el nuevo sistema ETRS89. La obtención de coordenadas de un sistema más antiguo (ED50) a otro más moderno (ETRS89) no quiere decir que las precisiones vayan a mejorar, aunque el sistema más moderno sea más preciso como en este caso; la precisión se mejoraría sólo con nuevas observaciones y nuevos cálculos. En cualquier caso, las señales disponen de coordenadas en ambos sistemas, lo cual puede resultar muy útil.

En cambio, las demás redes estudiadas se han observado y calculado directamente sobre REGENTE, puesto que son más modernas, es decir sobre el sistema ETRS89, con obtención posterior de las correspondientes coordenadas de sus vértices sobre la ROI (ED50). Complementariamente, algunas redes como Avilés y Oviedo han utilizado como referencia señales de la RGPA del Principado, que también pertenece al ETRS89.

Por otra parte, todas las redes tienen sus coordenadas en Proyección UTM que era y seguirá siendo la oficial en España con el Real Decreto.

Como norma general, en la metodología siempre tomará como referencia el sistema más preciso y moderno, el ETRS89, que además será el único válido a partir de 2015. También será muy recomendable obtener las correspondientes coordenadas de los vértices en ED50, porque existe todavía numerosa cartografía en ese sistema.

4.2.5. Revisión y mantenimiento

El mantenimiento se ha identificado como el punto débil de casi todas las redes. Aunque se observa mucha disparidad entre los casos (Tabla 5), sí hay un rasgo común en todas las redes. Ninguno de los encuestados tiene la intención de establecer planes concretos de mantenimiento, por temor a no poder cumplirlos con los medios disponibles, que suelen ser escasos y dedicados a otras necesidades. Este será uno de los puntos críticos que se han de tener en cuenta en la metodología planteada, debido a que de él depende el que la red no quede obsoleta al poco de construirla.

A pesar de que el mantenimiento no sea una cuestión regulada, algunos ayuntamientos sí llevan a cabo acciones de revisión determinadas. Por ejemplo, en Oviedo, se realizan revisiones y actualizaciones periódicas, la primera y última en el año 2013, 5 años después de la implantación de la primera fase de la red (2008) que cubría sólo el casco urbano; además, con esta revisión se

completó la red en zonas rurales y lugares donde no había cobertura. Se tiene previsto seguir haciendo revisiones aunque no tienen establecido un calendario para ello.

En Avilés, el mantenimiento, revisión y ampliación de la red se lleva a cabo por medios propios de forma constante y continuada desde la implantación de la red pero tampoco existe un plan de revisión y mantenimiento ni un calendario, de modo que el mantenimiento obedece más a la propia voluntad de los gestores de la red que a una política establecida y definida de mantenimiento.

La única red que no se mantiene ni se ha modificado desde su aparición en 1991 es la de Gijón. De hecho, reconocen haber perdido entre un 20 y un 30 % de las señales que la componen, y no se hace un seguimiento de las señales restantes, con lo que en la práctica no tienen información actualizada y fiable sobre el estado de su red. Es fácil comprender que una red de 1200 bases requiere un elevado coste para su mantenimiento o de mucho personal en el caso de hacerlo con medios propios. Por ello, la red sufre cierto abandono. También se da la circunstancia de que la red se ideó inicialmente para dar apoyo a los levantamientos cartográficos contratados por el Ayuntamiento y que, auxiliariamente, serviría de referencia para todo tipo de trabajos pero esa no era su misión inicial. El objeto inicialmente previsto para la red no era crear una red de apoyo genérico, por lo que los condicionamientos de partida fueron diferentes si se comparan con de los demás Ayuntamientos.

Nº de encuesta	1	2	3	4	5
Población	<i>Avilés</i>	<i>Oviedo</i>	<i>Nava</i>	<i>Gijón</i>	<i>Siero</i>
Superficie	26,81 km2	186,65km2	95,81km2	181,60km2	211,23km2
Habitantes	82.568	225.089	5.511	275.274	52.301
Campañas de revisión	No planificadas, se hacen según necesidades	No se planifican. Se revisión cada 5 o 6 años	No previstas	No previstas	No previstas
Tipo de revisión	Visual Reobservaciones	Reobservación completa	-	-	-
Medios de revisión	Propios	Subcontratados	Propios	-	Propios
Ampliaciones	Actualización constante	Simultánea a la revisión	Se añaden señales si es necesario		Se añaden señales si es necesario
Señales desaparecidas	10 señales/año	10 señales/año		20-30% desde 1991	-

Tabla 5. Mantenimiento y control

Los casos de Nava y Siero son singulares. Estas poblaciones tienen redes de mucha menor entidad que las anteriores, que se vienen desarrollando con recursos municipales propios y también a través de colaboraciones, como ocurre en Nava. Debido a sus modestos medios, no se ha previsto mantenimiento externo, sino que se llevará a cabo esta operación con recursos propios, como se viene haciendo desde su implantación hasta la actualidad. En este tipo de redes de pequeña envergadura, el mantenimiento con recursos propios puede ser asumible por las corporaciones municipales. Aún así, ni Siero ni Nava cuentan con un plan establecido de mantenimiento de sus redes, ni tienen previsto implantarlo. Las revisiones y ampliaciones se realizarán en función de sus necesidades.

En general, y pensando en una metodología genérica, será imprescindible desarrollar un plan de mantenimiento. Esto es fundamental para garantizar la fiabilidad de la red de cara a los

usuarios potenciales de la misma. El plan de mantenimiento deberá ser tenido en cuenta desde el inicio del proyecto, de modo que el diseño sea compatible con un control realista y realizable de la red. Una red sin mantenimiento no genera confianza para ser utilizada, y un diseño inadecuado puede dificultar, incluso impedir, un mantenimiento periódico.

4.2.6. Divulgación y concienciación sobre la utilidad de las redes

Se aprecia un claro interés de los ayuntamientos por hacer que las redes sean de libre acceso o, al menos, accesibles mediante contacto previo por parte de los usuarios. En algunos casos, es necesario ponerse en contacto con el personal al cargo de las redes como ocurre en Gijón, Siero y Nava, y en otros, caso de Avilés y Oviedo, los vértices de la red se pueden consultar descargando un archivo que se inserta en Google Earth, y que permite consultar un mapa con la posición de las señales que forman la red; pinchando sobre el icono de cada señal aparece la reseña de la misma o sus datos. Con esta aplicación se puede obtener la información sobre los vértices, lo cual facilita mucho la divulgación del trabajo realizado.

Nº de encuesta	1	2	3	4	5
Población	<i>Avilés</i>	<i>Oviedo</i>	<i>Nava</i>	<i>Gijón</i>	<i>Siero</i>
Superficie	26,81 km2	186,65km2	95,81km2	181,60km2	211,23km2
Habitantes	82.568	225.089	5.511	275.274	52.301
Costes	1ª fase: en torno a 20.000€	Revisión de 2013: 24.000€	-	-	-
Información de las reseñas	Coordenadas Orden de la señal	Coordenadas Precisiones Orden de la señal	-	-	-
Página web	No	Sí	No	No	No
Divulgación	Libre a través de Google Earth	Libre a través de Google Earth	Libre pero contactando personal del ayuntamiento. Tienen previsto usar Google Earth	Red de libre acceso pero contactando personal del ayuntamiento para información	Libre pero contactando personal del ayuntamiento. Tienen previsto usar Google Earth

Tabla 6. Divulgación y costes

En el caso de la RTLA de Avilés se echa de menos algo más de información en los datos que proporcionan a través de Google Earth como las precisiones de las señales, los métodos de observación, etc. El caso de Oviedo es un poco más clarificador, porque cuentan también con una página web específica, en la que se puede consultar información muy básica y complementaria sobre la red, se echa de menos información más profunda sobre la realización de la red por ejemplo.

Mencionar también que todos los consultados que no disponen de página web específica o que no tienen disponible el archivo de Google Earth para su descarga manifiestan su intención de ponerlo a disposición de los usuarios en un futuro, o de llevar a cabo alguna acción divulgativa similar. Además, se echa en falta la generación de reseñas de las señales que incluyan toda la información relativa a la red, no solamente las coordenadas de éstas.

En general, toda iniciativa encaminada a proporcionar libremente la información sobre la red y sus vértices es muy positiva, y se considera parte esencial para una metodología completa.

Por otra parte, todos los encuestados, especialmente en los grandes municipios, manifiestan que existe mucho desconocimiento en cuanto a la utilidad de las redes geodésicas, y que este hecho perjudica notablemente las iniciativas que sus gestores pretenden llevar a cabo en el seno de sus corporaciones para homogeneizar las cartografías. Algunos departamentos, especialmente los de Arquitectura, mantienen sus cartografías por sus propios medios sin utilizar las redes geodésicas disponibles, probablemente por falta de coordinación entre ellos. Algunos indican que ese tipo de situación podría corregirse mediante normativa municipal tanto interna, para la coordinación entre equipos, como externa, a través de ordenanzas o planes urbanísticos para el fomento de la utilización de las redes por los usuarios ajenos a las corporaciones. Algunos manifiestan incluso que las partidas presupuestarias de las obras dedicadas a la reconstrucción o establecimiento de la red se acaban dedicando a otras cosas.

4.3. Análisis DAFO

Con el objeto de analizar mejor las ventajas y desventajas que tiene cada una de las redes que se han analizado, se ha realizado un análisis DAFO de las 5 poblaciones. Este análisis se basa en clasificar sus características internas, fortalezas y debilidades, así como sus características externas, amenazas y oportunidades. Si se combinan los análisis de las 5 redes y se conservan aquellas características más notables que se repiten en todas o en la mayoría de ellas, obtenemos la Tabla 7.

ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL – DAFO Redes Geodésicas Locales	
ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Red con muchas señales o demasiado amplia. Buena densidad pero dificultades de control y mantenimiento - Inexistencia de plan de mantenimiento programado - El mantenimiento se hace por la voluntad de los gestores pero no hay protocolos establecidos. Cambios en el personal de gestión podrían implicar un empeoramiento del mantenimiento - Falta de cobertura de la red en zonas determinadas, por ejemplo urbanas - Red apoyada sobre ED50, precisión mejorable - Métodos de observación no permiten alcanzar la máxima precisión (RTK, etc.) - No se diseña inicialmente como red de libre acceso sino para fines internos 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Red muy grande, muchas señales y alta densidad. Se pueden producir abandonos parciales o dificultades de mantenimiento. Coste de mantenimiento elevado - Red pequeña sin cobertura en algunas zonas. Riesgo de que no se utilice - No se obliga oficialmente al uso de la red por parte de los usuarios - Algunos departamentos ignoran la red y trabajan en su propio sistema. - Mucha cartografía municipal no se ha actualizado a ETRS89 todavía. - Pocos recursos para ampliaciones o planes de mantenimiento. - No disponer de mecanismos de difusión automáticos o divulgación incompleta - Poca fiabilidad de la red. Riesgo de no utilización por los usuarios
<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Red con nº de señales moderado y densidad baja. Buena cobertura del municipio - Cobertura en zonas rurales y urbanas - Máxima precisión planimétrica y altimétrica - Buena distribución de órdenes de precisión - Enlazada a las redes nacionales y regionales (planimetría y altimetría) - Muy controlada a nivel personal por parte de los gestores (también puede ser una debilidad) - Intervisibilidad entre señales: compatible con todo tipo de instrumentos y métodos - Señalización se adapta a la morfología rural o urbana - Garantías de permanencia sin alteraciones de las señales - Acceso libre a través de Google Earth. Única red que dispone también de página web informativa 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pensada desde el principio como red de libre acceso - Métodos de divulgación eficientes - Facilidad de uso por los usuarios ajenos a la red - Exigencia a los usuarios apoyo sobre la red - Posibilidad real para homogeneizar la cartografía municipal sobre la red geodésica - Enlazada con los municipios limítrofes. Posibilidad de enlazar con redes locales vecinas - Si la red no es densa es más sencillo y económico establecer planes de mantenimiento.

Tabla 7. Gráfico DAFO combinado

4.3.1. Conclusiones del análisis DAFO

El objetivo principal de una red geodésica tras su creación debería ser garantizar su fiabilidad; en efecto, la red tendrá sentido si a lo largo del tiempo no hay dudas de su calidad y ésta se puede utilizar sin problemas. En la Tabla 7 se han seleccionado las principales características atendiendo a los criterios de análisis DAFO, de los cuales podemos obtener las siguientes conclusiones, que serán importantes para el desarrollo de la metodología:

- Sería conveniente contar con un plan de mantenimiento específicamente diseñado para la red, lo cual no se da en ninguno de los casos de estudiados
- Las dimensiones de la red deben ser cuidadosamente estudiadas, un tamaño razonable de la red puede favorecer operaciones de mantenimiento. Las redes demasiado grandes se vuelven incontrolables y tendrían costes elevados de mantenimiento, mientras que dimensiones pequeñas favorecen la infrautilización por falta de cobertura o carencia de señales. El número de señales debería ser moderado también pero buscando siempre que la zona afectada tenga suficiente cobertura.
- La organización en órdenes de precisión debería estar adaptada a las necesidades y características de la red, a la morfología del entrono, a la instrumentación disponible. Las precisiones deben ser lo más altas posible utilizando para ello los recursos y métodos necesarios.
- Se debe garantizar la permanencia de la señalización utilizando para ello el tipo adecuado al entorno, por ejemplo clavos en entornos urbanos e hitos o vértices de hormigón en zonas rurales
- Es muy recomendable, imprescindible en determinados entornos urbanos, garantizar la intervisibilidad para el uso de cualquier tipo de instrumento, estación total o receptor GPS.
- Un aspecto importante que pondrá en valor la red es la facilidad de uso y accesibilidad por parte de los usuarios externos. Es necesario para ello tener los medios de divulgación apropiados y diseñar la red desde el principio para un uso libre de la misma.
- Una red geodésica de ámbito local bien planteada es una buena oportunidad para homogeneizar la cartografía. Para ello, pueden ser interesantes propuestas de legislación a nivel municipal para fomentar el uso por parte de usuarios internos y externos, así como de otras instituciones públicas.

Todas estas características serán utilizadas más adelante en la metodología que se va a desarrollar, al objeto de plantear una red que sea fiable.

Para más detalle sobre los análisis DAFO realizados en cada población, se pueden consultar todas las tablas DAFO en el anejo 8.2.

4.4. Diagrama de Ishikawa o de causa-efecto

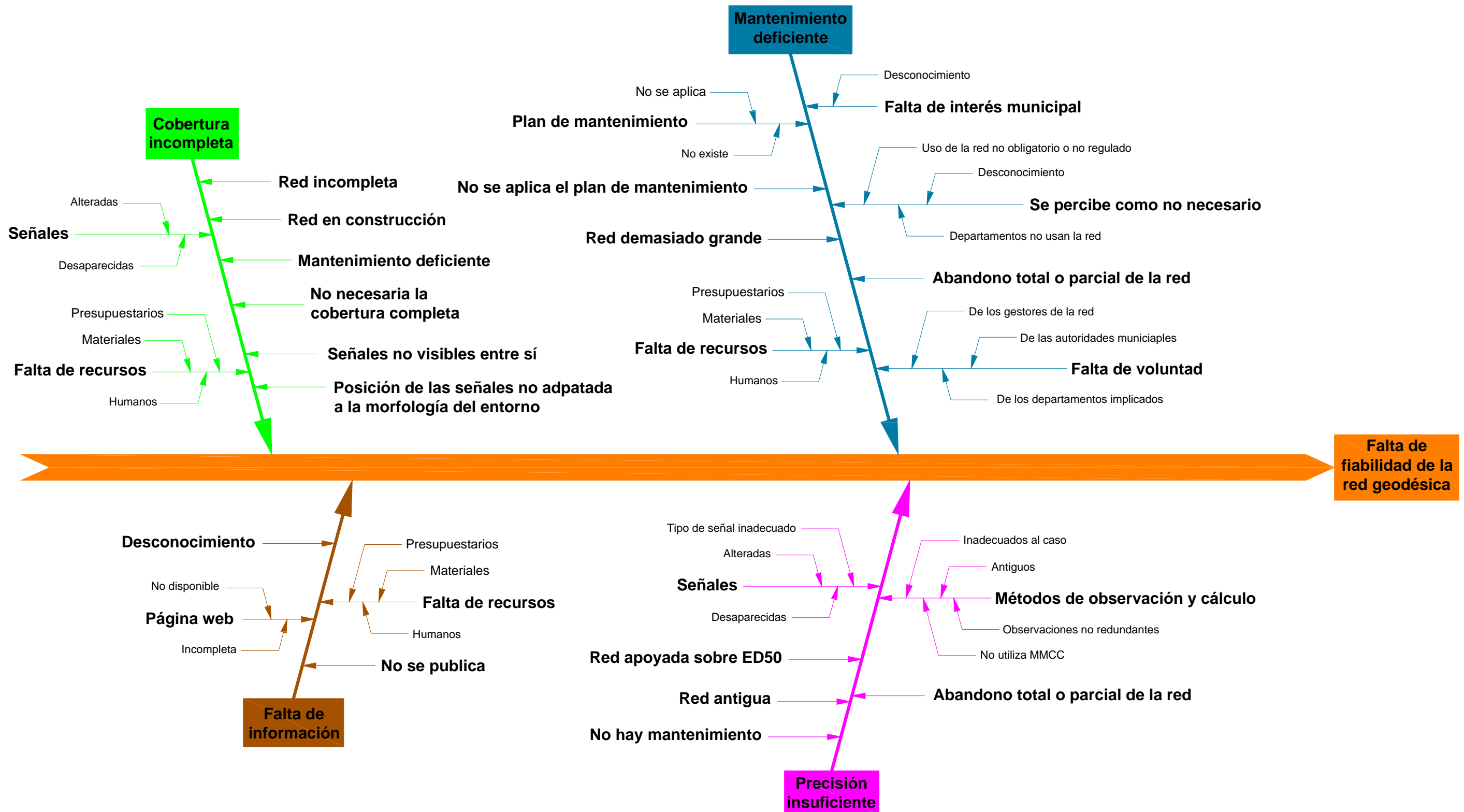


Figura 8. Diagrama de Ishikawa

Basándose en las encuestas realizadas y siguiendo en la línea de establecer los problemas genéricos de las redes geodésicas locales, se propone la creación de un árbol de causas basado en el Diagrama de Ishikawa que ilustre y organice los motivos de los problemas en función del efecto que tienen.

El objetivo de este diagrama es servir de base, junto con el análisis DAFO, las encuestas realizadas y la documentación bibliográfica consultada, para elaborar una metodología que permita generar redes geodésicas correctamente organizadas y que cubran las necesidades para las que se quieran implantar.

4.4.1. Conclusiones diagrama de Ishikawa

Desde el punto de vista del usuario de una red geodésica cualquiera, el problema que se suele manifestar es que la red sufra de falta de fiabilidad. Este problema aparece en casos de redes geodésicas mal planteadas y generará falta de confianza por parte de los usuarios, que preferirán apoyarse en otra red más segura o utilizar un método alternativo que les ofrezca mayores garantías. Si una red peca de falta de fiabilidad puede perder su utilidad y su existencia no estaría justificada, menos aún futuras reformas y ampliaciones.

El problema de falta de fiabilidad es el problema genérico que se toma como punto de partida para definir el diagrama y, a partir de él, se organizan las causas que lo generan agrupándolas en 4 grandes grupos:

- Mantenimiento deficiente
- Precisión insuficiente
- Zonas sin cobertura
- Falta de información

Dentro de cada una de estas causas, aparecen otras que llamamos sub-causas, cada una de las cuales puede generar el problema de falta de fiabilidad aunque, como se ha visto en las encuestas, suele darse una combinación de las mismas en la práctica.

Entre las causas que provocan la falta de fiabilidad de la red, se puede comprobar cómo algunas de ellas se repiten en algunos grupos. La falta de recursos es una causa recurrente en todos ellos, y de difícil solución puesto que es una variable ajena al proyecto y, por lo general, ajena también a sus gestores. La falta de recursos depende más de consideraciones coyunturales y de voluntad política, por lo que la solución no se encontrará en el proyecto. Algunas otras causas tampoco dependen del proyecto pero pueden tener importantes repercusiones sobre él como la falta de interés y falta de voluntad de las autoridades municipales, desconocimiento de la utilidad de estas redes. Estas causas no dependen directamente del proyecto pero los gestores del mismo pueden ayudar a convencer de la necesidad de realizar ciertos esfuerzos para lograr redes fiables.

Sin embargo, otras causas tienen relación directa con el proyecto y se podrán atajar algunos problemas planificando adecuadamente la red como se verá en la parte dedicada a la metodología. Algunos ejemplos de actuaciones que permitirán obtener una red fiable son: amplitud y densidad de la red controlables, establecimiento de un plan razonable de mantenimiento, elección de los métodos de observación y cálculo apropiados, intervisibilidad de señales, divulgación efectiva.

4.5. Conclusiones de las encuestas

Las encuestas arrojan resultados diversos. Las circunstancias en que las redes estudiadas se han creado son muy diferentes, por ejemplo algunas son bastante antiguas mientras que otras son de reciente creación. También los objetivos de su creación son distintos, con lo que los planteamientos de partida son también diferentes. Algunas redes han acertado en sus planteamientos, mientras que otros aspectos son mejorables.

La metodología de este estudio trata de remediar los aspectos negativos y aprovechar los positivos, de manera que se definan parámetros genéricos que puedan servir para la creación de una red geodésica local fiable, útil y duradera. Para ello, y teniendo en cuenta la información obtenida en las reseñas bibliográficas, el estudio comparativo, el análisis DAFO y el diagrama de Ishikawa vistos con anterioridad, se proponen a modo de conclusión algunos parámetros que pueden ayudar en la consecución de ese objetivo.

- Diseño de la red
 - La red deberá diseñarse de manera que abarque toda la zona de interés o de influencia, pero buscando el equilibrio entre cobertura, amplitud y densidad de señales. La red ha de ser lo suficientemente amplia y densa para cubrir las necesidades del municipio y cumplir los objetivos que se marquen.
 - La red ha de ser manejable. Las dimensiones de la red deben ser suficientes pero sin exageraciones en cuanto a número de vértices y su densidad. Debe dar cobertura suficiente a los usuarios pero sin excesos. Una red demasiado grande tendrá un mantenimiento costoso y consumirá muchos recursos sin ofrecer necesariamente más ventajas que una red más equilibrada.
 - Se deben considerar y planificar las fases de mantenimiento desde el inicio del proyecto de implantación de la red. De esta manera se estará en condiciones de planificar una red con garantías futuras de fiabilidad.
 - En general, en el diseño de la red se debe buscar el equilibrio entre tamaño, coste, utilidad y mantenimiento.

- Observación y cálculo
 - Planeamiento de la red. La red ha de estar perfectamente observada y calculada, utilizando los medios adecuados y más modernos. Deberá tener la precisión suficiente para los trabajos que se pretenden apoyar y el uso que se le vaya a dar.
 - La red deberá observarse sobre el sistema de referencia ETRS89, que es el oficial hoy en día, para lo que se deberá apoyar sobre la red REGENTE o sobre cualquier otra red que se base en ese sistema, como la RGPA, y que tenga la precisión suficiente. Opcionalmente, puede ser útil disponer de las coordenadas de las vértices en el sistema ED50, que todavía es utilizado por gran parte de la cartografía.
 - Si se van a establecer varios órdenes de precisión, es conveniente que el primer orden se obtenga con la máxima precisión posible puesto que los demás órdenes se apoyarán sobre ese. Hoy en día, es usual y conveniente utilizar métodos de observación GNSS estáticos relativos con cálculo diferido en post-proceso, que son los que permiten las mayores precisiones.

- Señalización de los vértices de la red
 - Adaptación al entorno. La red de vértices ha de adaptarse a las características del municipio o zona en la que se implante. La red debe concebirse sobre la morfología de la zona, tanto rural como urbana. En caso contrario puede perder su utilidad frente a los usuarios.
 - Estabilidad. La permanencia de las señales ha de garantizarse siempre. Se usará el tipo de señalización adecuada en cada caso.
 - En medios urbanos se preferirá el uso de clavos por su bajo coste, discreción y facilidad de colocación. En zonas rurales, serán más apropiados los hitos o incluso vértices de hormigón.
 - Intervisibilidad. Es conveniente que las señales se distribuyan de manera que haya intervisibilidad entre dos de ellas o más si es factible. De esta forma no se limita sólo el uso de la red a los receptores GNSS sino que se facilita el uso con métodos clásicos.

- Fiabilidad de la red
 - La fiabilidad de la red debe garantizarse desde su creación. Debe estar siempre en buenas condiciones de utilización y los gestores deben conocer su estado en todo momento.
 - El mantenimiento planificado de la red debe considerarse desde las fases tempranas de creación del proyecto. Si las dimensiones de la red son asumibles, se podrá establecer una política de mantenimiento continua en el tiempo que permita

tener la red en buen estado. Una red controlada y mantenida dará confianza a los usuarios.

- Deben tenerse en cuenta revisiones periódicas de la red. Además, es posible que se deban realizar ampliaciones sobre todo en redes de reciente creación. Estas operaciones deben estar previstas desde el principio del proyecto si es posible.

- Divulgación
 - Un aspecto importante es el fomento de uso por parte de los usuarios. Una red conocida, fiable y accesible será muy utilizada.
 - La información sobre la red debería ser de libre acceso para los usuarios. Ésta se debe poder conseguir de forma sencilla a través de los canales de divulgación apropiados como páginas web.
 - Conviene que la información suministrada sea abundante y no se limite sólo a las coordenadas de los vértices. Otros datos pueden ser muy útiles como las precisiones de las bases, los métodos de observación y cálculo empleados, el Datum, las redes de referencia utilizadas, etc., incluso una breve reseña histórica con indicación de las ampliaciones y renovaciones de la red.
 - Los Ayuntamientos pueden regular normativamente la obligatoriedad de uso, a través de sus planes urbanísticos u de ordenanzas municipales, al objeto de conseguir homogeneizar las cartografías disponibles y futuras.

5. Propuesta de metodología para una Red Geodésica Local

El presente trabajo pretende definir una metodología que permita resolver algunos de los problemas observados en los análisis anteriores en relación con la gestión de redes geodésicas locales. La red tendrá sentido y se habrá implantado con éxito si se ofrece fiabilidad a los usuarios y es utilizada por éstos con seguridad y confianza. En cambio, si no se implanta convenientemente o no se realizan tareas periódicas de mantenimiento, muchos usuarios no la utilizarán por falta de garantías en relación con su calidad.

En primer lugar, para la organización de la metodología de proyecto se propone una estructura en seis apartados como la mostrada en la Figura 9. Cada parte de la metodología de proyecto se compone de un grupo de tareas necesarias para la consecución de cada parte. Se introduce brevemente cada

- A. Estudio previo. Trata de recopilar la información disponible que pueda ser de utilidad para la finalidad del proyecto.
- B. Implantación de la red. Fase de diseño de la red y de colocación de las señales atendiendo a distintos criterios.
- C. Planificación de las observaciones. En esta parte se tratan las operaciones de planificación y ejecución de las observaciones
- D. Cálculos y resultados. Fase posterior a la observación de la red en la que se realizan los cálculos que conduzcan a la obtención de las coordenadas buscadas.
- E. Planificación de control y mantenimiento de la red. En esta parte se sientan las bases para el mantenimiento futuro de la red establecida.
- F. Cierre. Con esta etapa se da por concluido el trabajo con la recopilación de toda la documentación y la generación un informe completo de realización.

Todas las fases contempladas en la metodología se desarrollan en lo sucesivo.

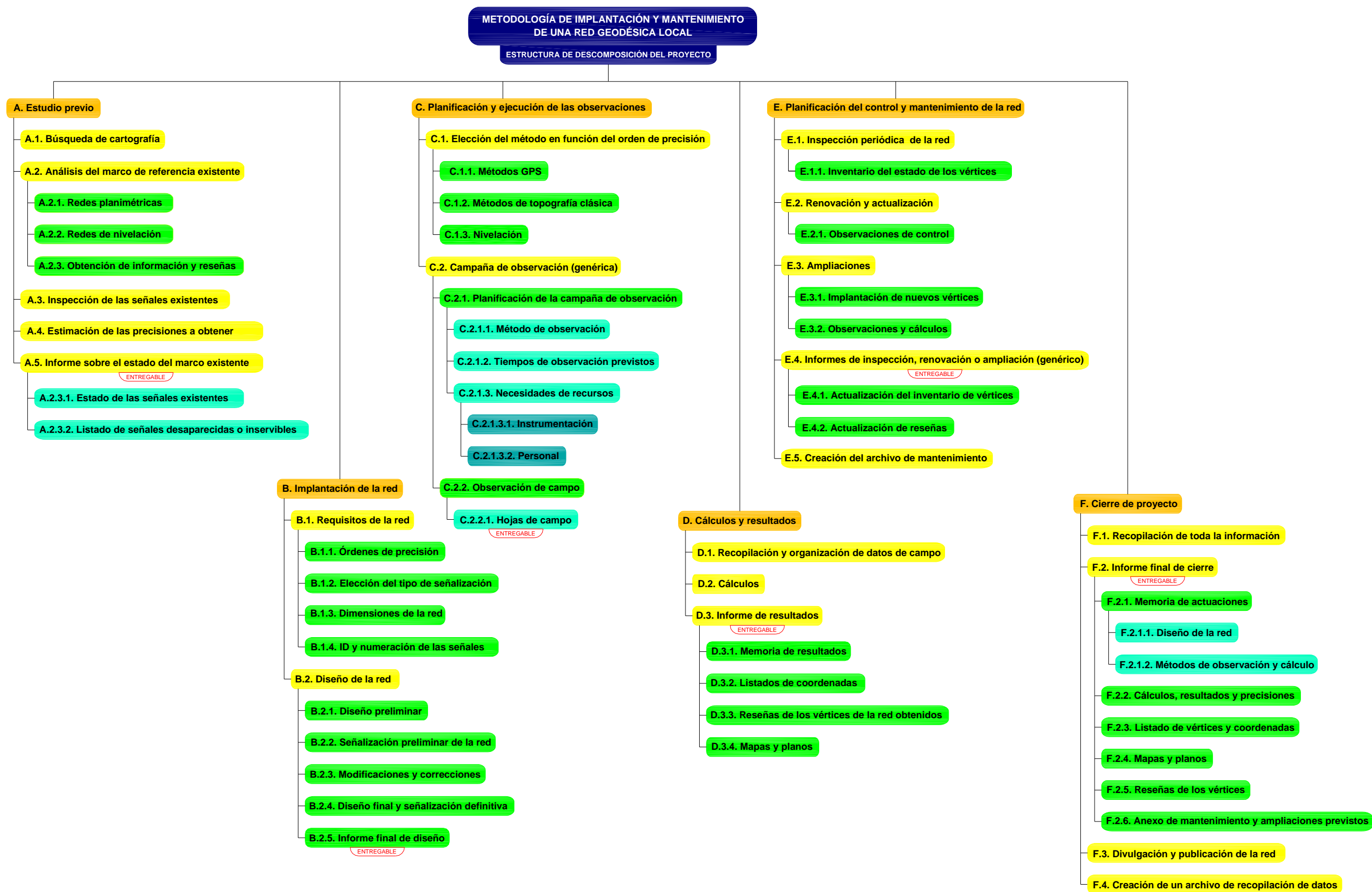


Figura 9. Estructura de descomposición del proyecto (EDP)

5.1. Estudio previo

Antes de iniciar cualquier proyecto de implantación una red geodésica, es necesario realizar una serie de tareas previas que nos permitan desarrollarlo con conocimiento de la mayoría de las variables que van a influir en él.

El primer paso será conseguir la información cartográfica necesaria para estudiar la zona y poder ofrecer la solución mejor adaptada al entorno en el que se vaya a implantar. Con esta información preliminar, será posible hacer una primera aproximación de la morfología de la red, de las precisiones esperables y del coste que supondrá su implantación.

5.1.1. Búsqueda de Cartografía

En primer lugar será necesario reconocer la zona o región donde se va a ubicar el proyecto. Para ello, se necesita recopilar toda la cartografía que pueda ser de utilidad y que afecte a la zona de trabajo. En primer lugar, se debe recurrir a la cartografía de pequeña escala 1:50.000 y 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional, que constituirá la base de partida del trabajo; también hay que tener en cuenta que algunos organismos autonómicos publican cartografía, como el mapa 1:5000 del Principado de Asturias. Esta cartografía es útil en primera aproximación y permite hacerse una idea global de la zona de trabajo, sus poblaciones, la morfología, las vías de comunicación, el relieve existente, la presencia de señales del IGN, etc.

A partir de aquí, especialmente si el proyecto se va a desarrollar en zonas urbanas con gran concentración de población, es muy importante disponer de cartografía de mayor escala. Sobre esta cartografía se va a realizar el diseño previo de la red, por lo que cuanto mayor sea el nivel de detalle mejor.

Hoy en día, la cartografía se obtendrá en su mayoría en soporte digital, con lo que es posible que la escala juegue un papel secundario a la hora de elegir el tipo de cartografía a conseguir. Este formato es, evidentemente, mucho más cómodo que el anterior y permite a menudo disponer de un elevado nivel de detalle, lo cual será muy útil para realizar el diseño teórico previo. Si el detalle de los mapas es alto, el diseño previo será de antemano muy próximo al definitivo, con sólo realizar algunas modificaciones. En cambio, si el nivel de detalle de los mapas es pequeño, el diseño preliminar será muy aproximado, lo cual nos obligará a modificar el diseño sobre el terreno hasta que se adapte justamente a la realidad. En estos casos, las variaciones con respecto al diseño previo pueden ser grandes.

Hay que tener en cuenta que si es necesario obtener cartografía en soporte de papel, cabe la posibilidad de que deba solicitarse con cierta antelación, con lo que es probable también que la recogida de la misma no se produzca hasta unos días después de la solicitud. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta en relación con los plazos.

5.1.2. Análisis del marco de referencia existente

5.1.2.1. Redes Planimétricas

El segundo paso sería investigar las redes geodésicas y topográficas existentes y que deban o puedan servirnos de apoyo para los trabajos. Como punto de partida, se dispone en todo el territorio nacional de vértices del Instituto Geográfico Nacional, en el marco de la Red de Orden Inferior (ROI) y la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE), como ya se ha tratado en capítulos anteriores. También será habitual contar con redes geodésicas regionales, pero el estado de estas redes dependerá de cada administración autonómica y puede ser variable de unas a otras.

Además, puede ser necesario investigar u obtener información sobre las redes locales existentes, en particular si el trabajo consiste en una densificación de estas redes. Si existen señales pertenecientes a Catastro, puede ser interesante obtener su localización, porque es muy probable que deban incluirse en nuestra red para enlazar ambas; hasta hace poco la red de Catastro era la única disponible en la mayoría de municipios como red de usuario, por lo que mucha de la cartografía disponible se encuentra todavía en referenciada al sistema ED50 oficial hasta enero de 2015.

Normalmente, se usarán los vértices del IGN como bases de referencia de la futura red, especialmente los que conforman la red REGENTE, puesto que esta red se ha establecido directamente en el sistema ETRS89, que será el único oficial a partir del 1 de enero de 2015, y es totalmente compatible con los métodos GPS. También se puede hacer uso de las señales de las redes regionales si existen y su fiabilidad está comprobada.

5.1.2.2. Redes de nivelación

Las redes de nivelación se tratarán de la misma manera que las redes planimétricas. Será necesario estudiar las señales disponibles en la zona de trabajo y determinar a qué red pertenecen. Normalmente, el apoyo altimétrico se realizará sobre las señales de la Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) del IGN, pero en ciudades costeras también puede ser necesario referir la red a la referencia altimétrica portuaria, el Cero del Puerto; por ejemplo Gijón utiliza la referencia altimétrica de su puerto, puesto que las canalizaciones de saneamiento se refieren normalmente al nivel del mar, según se desprende de la encuesta.

En cualquier caso, se hace necesario localizar estas señales, para lo cual se deberá buscar la información disponible, en especial, las reseñas de los clavos. Lo mejor, igual que en el caso anterior, es tratar de obtenerlas de forma oficial, eso evitará errores o al menos limitará la responsabilidad durante el desarrollo del proyecto.

5.1.2.3. Obtención de información y reseñas

Siempre que sea posible, se solicitarán las reseñas de los vértices o señales de forma oficial al organismo que corresponda. Con las reseñas se dispone de la información necesaria para localizar los vértices y conocer sus coordenadas; si se trata de una red regional puede ser útil tratar de conseguir información complementaria de cómo se ha implantado la red. El IGN publica esa información de forma pública, pero las Comunidades Autónomas no necesariamente hacen lo mismo. Si no fuera posible obtener dicha información de forma oficial, puede ser necesario realizar observaciones de comprobación antes de iniciar el trabajo en sí, aunque sería prudente realizar comprobaciones siempre.

En el anejo 8.3 se presenta una reseña del IGN del vértice del Pico Paisano en Oviedo, que ilustra el tipo de documentación que este organismo publica. Además de los croquis, mapas y fotografías que facilitan la identificación del vértice y acceso a la zona, la reseña incluye información sobre las coordenadas geográficas, coordenadas cartesianas, proyección, sistemas de referencia utilizados, datos sobre el estado de la señal, etc.

5.1.3. Inspección de las señales existentes

Ésta es una fase muy importante del estudio previo, antes de decidir qué vértices o clavos de nivelación se van a usar como referencia de los trabajos, es imprescindible realizar una inspección de los mismos antes de iniciar la planificación de las observaciones.

Lo primero será comprobar que las señales que nos interesan siguen existiendo y si están en buen estado, en cuyo caso serán operativas. En primer lugar se realiza una inspección visual en la cual se acude al vértice y se determina a simple vista si la señal está en su sitio y el estado de la misma.

Puede ser necesario y conveniente también realizar observaciones previas de comprobación para determinar si alguno de ellos ha sufrido alteraciones, pasando desapercibido en la comprobación visual. En el caso de los vértices planimétricos del IGN (ROI y REGENTE), se puede hacer una pequeña campaña de observación GPS, para establecer posibles diferencias relativas entre ellos; una vez obtenidos los resultados se estará en disposición de seleccionar y descartar los vértices que se considere que puedan empeorar los resultados del trabajo. Hay que tener en cuenta, como ya se indicó en capítulos anteriores, que la red ROI tiene precisiones muy inferiores a la red REGENTE. Siempre que sea posible será mejor ceñirse solamente a REGENTE y evitar ROI.

En el caso de la altimetría, no es sencillo realizar medidas de control. Como no suele ser factible realizar una nivelación geométrica para realizar un tanteo, se puede recurrir a observaciones GPS con modelos de geoide o a nivelaciones trigonométricas. Si no es posible realizar comprobaciones, como mínimo, será imprescindible comprobar la existencia de los clavos que se van a usar y asegurarse de que se encuentran en buen estado, descartándose aquellos que presenten dudas sobre su integridad.

5.1.4. Estimación de las precisiones a obtener

La precisión de cualquier red geodésica o topográfica está condicionada por varios factores que dan lugar a precisiones externas e internas de la misma. Si es necesario estimar las precisiones, se pueden utilizar los programas de ajuste de redes disponibles en el mercado, que permiten hacer estimaciones.

El primer condicionante de la precisión de una red geodésica local es la propia precisión de la red oficial sobre la que se apoya. En este caso, las posibilidades de apoyo para una nueva red son las redes ROI, REGENTE y RGPA en planimetría y la Red NAP en altimetría. Cada una de ellas tiene precisiones diferentes, debido fundamentalmente a los diferentes métodos utilizados para implantarlas. Según datos de la web del IGN, se observa que la red ROI es mucho menos precisa que la REGENTE; esto se debe a la antigüedad de la ROI, que se observó por métodos clásicos mientras la REGENTE es más moderna y se observó con técnicas GPS:

	Precisión
REGENTE	>5 cm
ROI	10-30 cm
REDNAP	16 mm/km (16 ppm)

Tabla 8. Precisiones redes del IGN

La RGPA se observó tomando como referencia la red REGENTE y la REDNAP (Cuadrado et al, 2004), obteniendo las siguientes precisiones internas:

	Planimetría	Altimetría
Interna RGPA	>2 cm	>3 cm

Tabla 9. Precisiones internas RGPA

Lo que en términos absolutos da una precisión para la RGPA de:

	Planimetría	Altimetría
Absoluta RGPA	>5,3 cm	>3,4 cm

Tabla 10. Precisiones absolutas RGPA

5.1.4.1. Precisión interna de la red

Es la precisión derivada de la observación y cálculo de la red geodésica local; en su valor no influye ningún condicionante externo, con lo que sólo proporciona datos sobre la calidad de las observaciones y posterior cálculo, sin tener en cuenta la precisión de las redes de apoyo. Su valor se puede obtener del ajuste por mínimos cuadrados.

5.1.4.2. Precisión externa o absoluta de la red

Es la precisión total de la red geodésica, en la que se consideran tanto la precisión interna de la red como la precisión de las redes de apoyo. Este es el dato que el usuario ha de tener en cuenta al usar la red porque se trata de la precisión real de trabajo. Este es uno de los datos resultantes del ajuste por mínimos cuadrados.

Tanto, la precisión interna como la externa de la red se pueden estimar con el software de ajuste, de manera que se puede tener a priori una aproximación de los valores a conseguir si fuera necesario.

5.1.5. Informe sobre el estado del marco existente

Este documento tratará de informar sobre la situación actual de la zona sobre la que se va a implantar la red geodésica local a proyectar y del estado de las redes geodésicas existentes en los alrededores que sean susceptibles de servir de referencia para los trabajos de implantación de la red.

El informe deberá contener la información que se ha ido recopilando en los pasos anteriores a saber:

- Mapas de la zona objeto de estudio
- Marcos de referencia de la zona o redes existentes
 - Nacionales
 - Regionales
 - Locales
 - Redes geodésicas activas
- Vértices de las redes
 - Pequeño inventario de los vértices inspeccionados
 - Estado de los vértices
 - Propuesta de utilización de vértices en buen estado

5.2. Implantación de la red

En esta fase del trabajo estarán ya disponibles tanto la cartografía como las reseñas de los vértices de la zona de trabajo y se habrán realizado las inspecciones de los vértices, con lo que la decisión de utilizar unos vértices de apoyo u otros estará tomada. Sobre la cartografía conseguida, se procederá a realizar un diseño previo de la red a instalar para lo que se deberán tener en cuenta las consideraciones emanadas de los análisis de las encuestas.

Para el diseño de la red se tendrán en cuenta las apreciaciones detalladas en el apartado 4.5 *Conclusiones de las encuestas*.

5.2.1. Requisitos de la red

5.2.1.1.1. Órdenes de precisión

Éste es otro parámetro muy variable de una red a otra. Se pueden encontrar redes urbanas con un único orden de precisión; es el caso de Siero aunque se divide en dos redes, principal y secundaria. Otras redes tienen dos órdenes de precisión, es el caso de Gijón cuyo 1º orden se ha obtenido con GPS y el 2º orden con métodos clásicos, y de Nava cuyos órdenes de precisión se han establecido mediante GPS pero con observaciones de duración y metodología diferente. Y por último se pueden dar 3 órdenes de precisión, que son los casos de Avilés y Oviedo, donde el 1º orden se obtiene con las técnicas GPS de mayor precisión, el 2º orden se obtiene también con GPS pero con técnicas más rápidas debido a las menores distancias de observación, y cuyo 3º orden se obtiene con técnicas clásicas de poligonación o intersección.

Cualquier configuración es válida con tal de cumplir con los objetivos de la red. Por lo visto, es bastante habitual establecer una diferencia clara entre las señales obtenidas con métodos de Geodesia Espacial (GPS o GNSS) y las obtenidas con métodos de topografía clásica (poligonación, intersecciones, triangulaciones). Esto es totalmente lógico pues, a priori, las precisiones obtenidas con observaciones espaciales por el método estático relativo son más precisas y coherentes (no es el caso de las observaciones en tiempo real) y las señales observadas con estos métodos suelen servir de apoyo a las técnicas clásicas, consideradas normalmente como menos precisas y más aleatorias. De esta manera, es más habitual encontrar al menos dos órdenes de precisión, aunque el caso más elaborado es el de tres órdenes que se detalla a continuación.

- 1º orden. En este nivel se suelen colocar unas pocas señales, 10 a 20 como mucho. Se obtiene con métodos GPS estáticos relativos y cálculo en post-proceso. Suelen requerir observaciones muy largas, superiores a la ½ hora, lo cual permite garantizar muy altas precisiones. El tiempo necesario para observar condiciona este nivel a pocas bases, para obtener cierto rendimiento.

Requiere el uso de múltiples receptores simultáneamente, mínimo tres, pero cuantos más se utilicen, mayor será la consistencia del ajuste y la coherencia de la red aunque se expanda en un área muy grande.

Este nivel es el principal, toma como referencia las redes nacionales y/o regionales y sirve de apoyo al resto de niveles, cuya precisión siempre será inferior a éste por las metodologías usadas.

Las precisiones típicas obtenidas con el nivel principal suelen ser milimétricas si las condiciones de observación son buenas, la geometría y elección de los lugares son los adecuados, los tiempos de observación suficientemente largos para las distancias de las líneas base observadas, que suelen ser largas, 10 a 20 km.

En algunos casos, este nivel no suele estar disponible para los usuarios de la red. Se suele reservar para fines de densificación y trabajos internos relacionados con la renovación y actualización de la red. De hecho, las señales no suelen ser accesibles, sino

que se encuentran en edificios oficiales, depósitos y otros lugares del mismo tipo. Normalmente, los niveles disponibles a nivel de usuario serán los niveles 2 y 3.

- 2º orden. Cuando se usan tres niveles de precisión, el nivel 2 suele obtenerse también con métodos de observación espacial pero densificando sobre el nivel 1. La técnica empleada suele ser el estático relativo también, con observaciones que suelen durar mucho menos, alrededor de 10 a 15 minutos, y se usan menos receptores de forma simultánea, lo cual permite incrementar el rendimiento, observando muchos más vértices en menos tiempo. En este nivel también se pueden usar observaciones en tiempo real (RTK) puesto que al referenciar al nivel 1 las distancias son mucho más cortas y la merma de precisión suele ser aceptable.

Las precisiones obtenidas son obviamente inferiores que el nivel principal y suelen estar comprendidas entre 1 y 2 cm como mucho. Este nivel suele servir de apoyo al nivel 3.

- 3º orden. En este nivel se suelen incluir aquellas señales obtenidas con métodos de observación clásicos, es decir con estación total. Típicamente, pertenecen a este nivel las señales que, por ubicación, no pueden ser observadas con técnicas espaciales, por encontrarse en zonas de edificios de altura, zonas arboladas, túneles, bajo puentes y zonas donde las señales GPS sufren interferencias.

Los métodos de observación utilizados pueden ser poligonación, intersecciones o menos habitualmente triangulaciones. Los instrumentos actuales permiten obtener datos en tiempo real de gran calidad, especialmente en las intersecciones, con lo que se disminuye el trabajo de cálculo posterior y aumenta el rendimiento.

5.2.1.2. Elección del tipo de señalización

Existen muchos tipos diferentes de señalización que se pueden usar en función de la zona donde se van a colocar las señales, el tipo de suelo sobre el que se van a colocar, etc. En general, en cualquier red geodésica o topográfica, los vértices o señales deberán cumplir las siguientes condiciones generales:

- Estabilidad
 - Dimensional. No deben variar su forma o tamaño a lo largo del tiempo
 - Material. Los materiales usados deben ser resistentes a los agentes externos
 - Espacial. La posición absoluta en el espacio de la señal no debe variar
- Materialización sobre el terreno, fina, precisa e inequívoca
- Deben ser fácilmente estacionables
- Deben ser fácilmente visibles desde cualquier otra señal o señales de la zona
- Con visibilidad sobre la zona del proyecto
- De fácil localización
- Deben ser fácilmente sustituibles en caso de desaparición o alteración



Figura 10. Clavo de la red de Gijón



Figura 11. Clavo de la RTLA de Avilés

En el caso de redes urbanas, la señal que se usa de forma habitual es el clavo de cabeza hemisférica, Figura 10 y Figura 11, que presenta muchas ventajas en este entorno:

- No supone molestia para los peatones pues apenas sobresale de la superficie en la que está colocado.
- Son difíciles de encontrar sin información previa, lo que evita en gran medida que sean alterados intencionadamente.
- Fácil colocación. Requiere pocas herramientas
- Gran estabilidad y permanencia. Se suelen colocar con un taladro y se reciben con resinas del tipo epoxi, lo cual posibilita que su extracción sea muy difícil, incluso utilizando herramientas.
- Bajo coste frente a otras señales.

Si se pretende señalar algún vértice de orden superior, fuera del ámbito urbano se pueden usar vértices convencionales del tipo IGN, Figura 12 y Figura 13. En zonas rurales donde no se suele disponer de suelos duros y estables, esta señal es la idónea para conseguir estabilidad y permanencia. Se muestra en el croquis un ejemplo de vértice hormigonado de gran tamaño. Normalmente, en redes locales este tipo de señalización se usará muy poco, en casos muy concretos, limitándose su uso a pocas señales y siempre que pertenezcan al orden superior sobre el cual se van a densificar los demás órdenes.

Otra posibilidad en el ámbito rural es usar señales de tipo hito-feno. No son tan estables como las anteriores, pero para órdenes inferiores pueden ser suficientes y son mucho más sencillas de colocar.

Cuando se pretende señalar vértices del orden superior, muchas veces es suficiente con colocar clavos en zonas inaccesibles, como depósitos de agua, estructuras viarias, edificios oficiales, etc. Esto permite evitar el uso de señales de gran tamaño y garantizar la permanencia de la señal, toda vez que se usa una señal fácil de colocar.



Figura 12. Vértice de hormigón

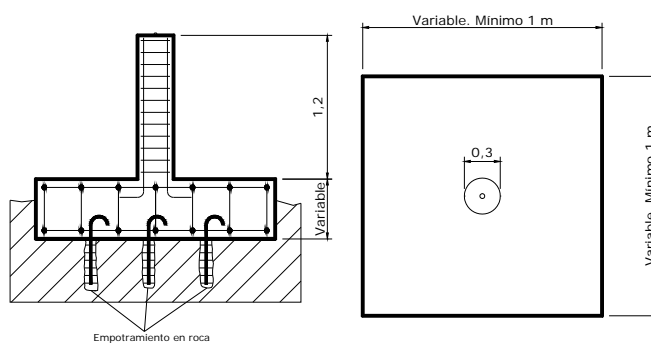


Figura 13. Esquema de construcción de vértice de hormigón

5.2.1.3. Dimensiones de la red. Cobertura, densidad y disposición de los vértices

Un paso fundamental previo al inicio del trabajo es decidir cuáles deben ser la disposición y densidad de vértices que van a componer la red. Las posibilidades son múltiples y cada caso podrá ser completamente diferente de otros. Para definir estos parámetros habrá que tener en cuenta algunas variables:

- Cobertura y relación entre las dimensiones de la zona a cubrir y densidad. La cobertura de la zona de trabajo es un aspecto muy importante de la red geodésica. Cuanto mejor sea la cobertura, mayor será la utilidad de la red. Pero una cobertura muy buena puede plantear algunos inconvenientes que es preciso no perder de vista; si la red es muy extensa es posible que se necesite una densidad baja de señales para evitar que su número sea demasiado alto. Un número muy elevado de señales puede perjudicar seriamente las tareas de mantenimiento como se ha visto en el caso de la red de Gijón. Sin embargo, en una zona menos amplia, será posible aumentar la densidad de señales para tener mayor cobertura, como es el caso de Avilés. Es muy recomendable buscar el equilibrio entre cobertura y número de señales.
- Previsiones de mantenimiento. Como ya se ha mencionado anteriormente, los parámetros de cobertura y densidad de la red influirán en el desarrollo del plan de mantenimiento. Las características de la red deben ser tales que permitan un mantenimiento realista y eficaz de ésta. Unas dimensiones erróneas pueden provocar un mantenimiento deficiente o incluso inexistente de ésta y viceversa, una red demasiado pequeña será fácil y económica de mantener pero puede correr el riesgo de tener poca cobertura y resultar poco útil.
- Morfología del entorno e intervisibilidad. La red de señales habrá de adaptarse necesariamente al entorno en el que se implante, y será recomendable garantizar la visibilidad mutua entre señales, de forma que se puedan llevar a cabo trabajos con todo tipo de instrumentación. La disposición del entramado urbano es especialmente difícil de gestionar por el elevado número de objetos existentes en este tipo de entornos, será imprescindible situar las señales en zonas despejadas como cruces que favorezcan las punterías en múltiples direcciones. A su vez, no será lo mismo densificar una capital de

provincia que una ciudad pequeña, o un municipio con pequeñas zonas urbanas dispersas como los que se encuentran a menudo en Asturias. En zonas rurales, los planteamientos pueden ser radicalmente distintos al no disponer habitualmente de sustratos estables donde colocar las señales, lo que obliga a utilizar vértices de hormigón y a disminuir su número por la dificultad de uso de estas señales.

- Necesidades de densificación. Las necesidades de un municipio a otro pueden ser variables; en algunos casos no se valora el disponer de una red ni de cartografía actualizada, y para otros es crucial disponer de ambas cosas, normalmente en lugares donde la expansión urbanística es grande. Por ello, algunos preferirán tener redes pequeñas y poco densas, si se deciden a ello, y otros elaborarán redes mucho más ambiciosas con buena cobertura y un elevado número de señales disponibles.
- Presupuesto. El establecimiento de una red geodésica dependerá en gran medida de de las posibilidades presupuestarias de cada organismo. Si los recursos económicos son suficientes y el interés por la red geodésica es grande, caso estudiado de Oviedo, la densificación será mayor y de mayor calidad. Si, por el contrario, el presupuesto es más limitado, sería el caso de Nava, la red será más pequeña y menos densa. Incluso puede darse el caso de que sea otro organismo el que la implante, como ha ocurrido aquí.
- Medios y recursos disponibles. Los distintos organismos dispondrán de una serie de recursos que pueden ser tanto medios propios como servicios externos, dependiendo de las diferentes políticas y presupuestos disponibles. Los municipios que precisen tener una red ambiciosa y bien mantenida suelen subcontratar el servicio o gran parte de él, pero eso sólo es posible en ciudades con grandes recursos, como Oviedo o Gijón por ejemplo. Los municipios más modestos que desean tener una red local, normalmente la implantan con medios propios, con lo que sus redes suelen ser de menor envergadura (Nava) y se pueden conformar con una precisión menor (Siero).

En cualquier caso, la densidad de la red será función de los objetivos que se persigan con ella. Si se pretende establecer una red ambiciosa en la que apoyar toda la cartografía, los sistemas de información geográfica, los planes urbanísticos, etc., así como dar servicio a la mayor parte de los usuarios, se tenderá hacia una red densa y bien planteada que facilite su uso. Si por el contrario, se busca una red en un ámbito más modesto, como un departamento de urbanismo, una empresa privada en el marco de una obra o similar, los medios serán inferiores y se tenderá a una red más sencilla pero apta para el uso que se le vaya a dar.

Teniendo en cuenta las variables anteriores, encontrar el equilibrio entre densidad y cobertura de la red no es un asunto sencillo. Por un lado, si la red es muy densa se puede volver inabordable desde el punto de vista del mantenimiento, pero será de más fácil acceso para los usuarios. Si, por el contrario, es poco densa, será más fácil y económica de mantener pero se corre el riesgo de que los usuarios no la usen por carencia de señales y dificultades de acceso en determinadas zonas.

5.2.1.4. Identificación y numeración de las señales

Un aspecto importante de las señales que componen la red es su numeración, especialmente si se van a establecer varios órdenes de precisión. Cada señal debe tener un único identificador y cada identificador debe corresponder a una única señal, de forma que se eviten confusiones. También es conveniente que la numeración sea relativamente sencilla, pero que aporte cierta información, como el nivel al que pertenece la señal. A continuación se enumeran algunas maneras:

- Numeración correlativa. Sería el método más básico, desde una determinada numeración se va añadiendo la unidad para cada nueva señal. El inconveniente es que no aporta ninguna información sobre el nivel al que pertenece la señal ni sobre la procedencia de las observaciones. Este tipo de numeración es conveniente en redes pequeñas, como numeración combinada con las siguientes.
- Numeración por niveles de precisión. Si se ha establecido más de un orden de precisión, se deben distinguir las señales en función de su pertenencia a un determinado nivel. Por ejemplo, las señales del nivel 1 empezarían en 10.001, las del nivel 2 en 20.001, etc. También se pueden asignar letras Nivel A, Nivel B, Nivel C. Así las señales se identificarían como A0025, B0048, C0136, por poner un ejemplo.
- Numeración por zonas. Si la zona a cubrir es especialmente grande, puede ser interesante establecer una numeración basada en zonas o barrios, en combinación con la numeración relativa. La ventaja es que se ubica inmediatamente la zona en la que se tiene que buscar la señal, dentro de la red.
- Numeración en función de la señal que ha servido de apoyo. También cabe la posibilidad de añadir un índice en la numeración que indique desde qué señal se han realizado las observaciones. Esto puede ser muy útil para niveles inferiores obtenidos con GPS mediante RTK, aunque si se observa desde varias señales sólo se debería indicar una para no complicar mucho el método.

Dependiendo del tamaño y densidad de la red se puede elegir una u otra, es muy interesante combinar al menos dos formas de numeración, por ejemplo por zonas y correlativamente dentro de cada zona, o correlativamente dentro de cada nivel, o incluso las tres. De esta forma se obtiene mucha información con un sencillo vistazo al número. En cualquier caso, en redes pequeñas se tenderá a numeraciones sencillas de tipo correlativo, mientras que en redes amplias o muy densas, se preferirá la combinación de varios tipos de numeración, para ofrecer mayor información.

A continuación se muestra un ejemplo. Se trata de una red dividida en 4 zonas, con tres órdenes de precisión. Dentro de cada grupo, compuesto por zona y orden de precisión, las señales se ordenan correlativamente desde el 1 hasta el 999. El primer dígito indicaría la zona, el segundo el nivel, el tercero sería siempre un 0 y los tres últimos la numeración dentro de cada grupo.

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Nivel 1	A10001 - A10999	B10001 - B10999	C10001 – C10999	D10001 – D10999
Nivel 2	A20001 - A20999	B20001 - B20999	C20001 – C20999	D20001 – D20999
Nivel 3	A30001 - A30999	B30001 - B30999	C30001 – C30999	D30001 – D30999

Tabla 11. Numeración de señales

5.2.2. Diseño de la red

Será especialmente importante tener en cuenta las conclusiones del apartado 4.5 en esta fase del proyecto, si se pretende tener una red fiable. Aplicar los conocimientos deducidos de las encuestas permitirá evitar los errores detectados y aprovechar los puntos fuertes de las redes estudiadas. Es esencial que el diseño se realice pensando en el mantenimiento futuro y en plantear una red de acceso libre, cuya información se accesible para el usuario potencial.

Es recomendable dedicar a esta fase el tiempo necesario para obtener un diseño que se adapte a los objetivos que la red ha de cumplir y que pueda al mismo tiempo ser objeto de un mantenimiento duradero. La fase de diseño se ha dividido en varias partes que se detallan a continuación:

- Diseño preliminar. Es una fase teórica del diseño en la que se realizará sobre mapa un primer diseño de la red. El diseño preliminar será a grandes rasgos muy similar al definitivo, pero sufrirá ciertas modificaciones debido a las circunstancias del entorno, que sólo se podrán comprobar durante la siguiente fase de señalización. Se intentará en la medida de lo posible buscar la máxima intervisibilidad entre señales.
- Señalización preliminar de la red. A partir del diseño preliminar, se realiza la primera señalización de la red. Durante la inspección de las zonas a señalar se comprobará la intervisibilidad real de las señales, realizando las modificaciones necesarias para garantizarla.
- Modificaciones y correcciones. Se procederá a modificar el diseño preliminar teórico con las posiciones reales de colocación de las señales en función de las modificaciones que se hayan tenido que hacer durante la colocación éstas.
- Diseño final y señalización definitiva. Con las modificaciones anteriores, se procederá a concluir el diseño y completar la señalización de las zonas en las que se hayan encontrado problemas.
- Informe final de diseño. La fase de señalización y diseño quedará concluida con la elaboración de un sencillo informe en el que se incluirán los mapas y planos del diseño definitivo. Se incorporarán también todos los requisitos que se hayan utilizado en el diseño como los mencionados en el apartado 5.2.1. En la fase de señalización se habrán realizado fotografías de las señales y del entorno en el que se ubican, para incluirlas en las reseñas, cuyos datos se completarán con las coordenadas y datos obtenidos tras las observaciones de campo y posteriores cálculos.

5.2.3. Planificación y ejecución de las observaciones

5.2.3.1. Elección del método en función del orden de precisión

La estructuración de la red en diferentes niveles condicionará la elección de los métodos de observación a utilizar y viceversa. Esta elección dependerá de varios factores, en primer lugar del tamaño de la red; en efecto, se observa de las encuestas realizadas que cuanto mayores son las zonas a cubrir, mayor es el número de órdenes. Las redes pequeñas o de reciente creación tienden a tener menos órdenes puesto que suelen cubrir zonas más pequeñas y cuentan con un menor número de señales.

La elección de niveles también es función de los métodos de observación elegidos. Se observa, por ejemplo, que las redes que se apoyan en las redes geodésicas activas no precisan disponer de más de un nivel, puesto que la precisión de todas las señales es la misma, y viene condicionada por el propio método de observación que es el mismo para todas ellas, en torno a 3-5 cm.

Sin embargo, las redes han sido apoyadas sobre redes convencionales, se basan en técnicas estáticas relativas que ofrecen gran precisión y sí necesitan mayor estructuración en niveles para distinguir las señales obtenidas con unos métodos u otros, cuya precisión es diferente.

5.2.3.1.1. Métodos GPS

Los métodos usuales en la observación GPS de redes geodésicas son los siguientes:

- Método estático relativo. Este modo de posicionamiento consiste en el estacionamiento de al menos dos receptores que no varían su posición durante la etapa de observación. La referencia puede establecerse en cualquiera de ellos y la precisión será función del tiempo de observación, de la geometría de los satélites y del instrumental utilizado. Es el método más apropiado para grandes distancias y el que ofrece mayor precisión, 5 mm + 1 ppm en la longitud de la base línea medida. Se suelen realizar observaciones largas, de hasta una o más horas, con un posterior ajuste por mínimos cuadrados de la red observada. El tiempo de observación suele ser proporcional a la longitud de la línea y también dependerá de otros factores como el tipo de instrumento, la precisión requerida, algoritmos de resolución de ambigüedades, intervalo de toma de datos...etc. (Fuente: IGN)
- Método estático rápido. Es una variante del método estático relativo, pero sólo en cuanto al cálculo, no en cuanto a la observación en sí misma, sólo se reduce el tiempo de observación y el intervalo de toma de datos. Dependiendo del tipo de receptor, cobertura de satélites y distancia, basta con tiempos de observación de 5 minutos con intervalo de toma de datos de 3 segundos. (Fuente: IGN)

Los métodos anteriores implican la corrección diferencial en tiempo diferido, es decir, los datos son almacenados en la memoria del receptor y posteriormente, en gabinete, se calculan las posiciones corregidas de los puntos observados.

- Cinemático en tiempo real (RTK). El fundamento del método consiste en establecer una estación fija de referencia, estática, a la que se introducen las coordenadas de referencia y otra estación móvil llamada "rover" recorriendo los puntos del terreno de los que se desee tomar datos.

Este método presenta la ventaja de que se obtienen resultados rápidos con una precisión centimétrica.

El tiempo real se consigue estableciendo una comunicación directa entre el equipo fijo y el móvil mediante radio-modem, aunque actualmente se impone la recepción de señales desde estaciones permanentes GPS.

El inconveniente principal en la transmisión desde una base a través de radio-modem es la limitación en alcance de emisión y transmisión de datos debido a las licencias de frecuencias y potencias de señal permitidas. Un equipo que funcione con potencias legales de 0,5 W, está limitado a un radio de acción de unos pocos Km, 7 u 8 km como máximo si no hay obstáculos, lo que limita el rendimiento del trabajo.

Este método es actualmente el método que proporciona mayor eficacia, versatilidad y rendimiento en todo tipo de trabajos de Topografía. (Fuente: IGN).

En la determinación del 1º orden, será siempre recomendable la utilización del método estático relativo, por la mayor precisión que ofrece en la observación de distancias largas. En las densificaciones del 2º y 3º orden se podrán utilizar cualquiera de ellos, dependiendo de las precisiones a alcanzar y de la configuración de la red. Normalmente, se podrán utilizar métodos que aumenten el rendimiento de las observaciones, estático rápido o RTK, en distancias cortas, pues la precisión se mantiene en estos rangos.

5.2.3.1.2. Métodos de Topografía clásica

Antiguamente, en la observación de grandes redes geodésicas eran usuales los métodos de triangulación con teodolitos o estación total, pero hoy en día, en la medición de grandes distancias, se utilizan receptores y técnicas GPS que permiten obtener resultados mucho más precisos.

Actualmente, en la elaboración de redes geodésicas, las técnicas topográficas clásicas se limitan a casos particulares en los que los receptores GPS no pueden usarse por la presencia de obstáculos que interfieren o bloquean la recepción de las señales de los satélites. En estos casos se suele recurrir a la utilización de varios métodos topográficos como las poligonales o las intersecciones y, en casos menos habituales hoy en día, las triangulaciones. No se van a detallar aquí estos métodos pues el objeto del presente estudio no es ese, y existe numerosa bibliografía escrita que documenta estos temas (Chueca, 1983), (Ferrer et al., 1991), (Ojeda, 1984), (Sánchez, 2000), entre otros.

En general, estos métodos proporcionan distintos observables como son los ángulos horizontales, los ángulos verticales y las distancias. En cualquier tipo de observación de este tipo, y para garantizar la calidad de los observables obtenidos, será imprescindible aplicar la Regla de Bessel (Domínguez, 2002), que permite eliminar los errores sistemáticos que pueden manifestarse. Será además, muy recomendable utilizar medidas redundantes, que permitan detectar y eliminar observaciones de mala calidad, y realizar los cálculos con métodos de mínimos cuadrados a través de software específico, de cara a mejorar los resultados.

5.2.3.1.3. Nivelación

- Nivelación geométrica. Es un método de observación de desniveles entre dos puntos, que utiliza visuales horizontales; los equipos que se emplean son los niveles o equaltímetros. Existen diferentes métodos de nivelación geométrica, que proporcionan en todos los casos diferencias de nivel; para obtener altitudes, o cotas absolutas, se deben referir esos desniveles a algún punto de la REDNAP. La nivelación geométrica es el método más preciso utilizado en la determinación de altitudes, llegando a valores por debajo del milímetro dependiendo del método, y por ello, se utiliza habitualmente en la implantación de redes geodésicas.
- Transmisión de altitudes mediante modelos de geoide. Esta es una técnica asociada a la utilización de receptores GPS. Las observaciones GPS proporcionan cotas referidas al elipsoide WGS84, mientras que las altitudes oficiales en España están referidas al Geoide. Los modelos de geoide son modelos matemáticos que establecen la diferencia entre ambos, WGS84 y geoide, en una serie de puntos, de manera que un receptor que incorpore un modelo de este tipo podrá proporcionar altitudes basadas en el sistema oficial. El funcionamiento se basa en que el receptor obtiene una cota elipsoidal, que es transformada mediante el modelo, proporcionando una cota referida al geoide. Las precisiones obtenidas con esta técnica son del orden de pocos centímetros, suficiente para la mayoría de los trabajos topográficos.

5.2.4. Campaña de observación (genérica)

5.2.4.1. Planificación de la campaña de observación

Una vez establecida la división en órdenes de precisión y elegidos los métodos de medición, la campaña de observación deberá planificarse cuidadosamente para obtener los mejores resultados con el mayor rendimiento posible. La planificación dependerá, entre otros, de los siguientes factores:

- Método de observación. La planificación será completamente diferente dependiendo de los métodos de medida. La planificación es importante a la hora de realizar cualquier

tipo de observación, pero lo es mucho más en lo se refiere a los métodos que utilizan receptores GPS, debido a lo mucho que las observaciones pueden verse afectadas por condicionamientos externos.

- Condiciones climáticas. Se deben tener en cuenta las condiciones atmosféricas, puesto que algunas circunstancias empeoran la calidad de las observaciones incluso pueden llegar a impedir su realización, por ejemplo la insolación intensa o las precipitaciones importantes. A considerar también las condiciones ionosféricas, que tienen una notable influencia en la mediciones GPS y su calidad.
- Tiempos de observación previstos. Es necesario estimar los tiempos requeridos para las observaciones, especialmente en el caso del GPS, pues de los tiempos de observación dependerá en gran medida la precisión de las observaciones obtenidas. En general, cuanto mayores son los tiempos dedicados a la observación con métodos estáticos, mayor es la precisión obtenida. En efecto, para la observación del 1º orden, será requisito imprescindible obtener la máxima precisión que se puedan, y eso se consigue con tiempos grandes de medición, incluso superiores a 1 hora.
- Necesidades de recursos. Es fundamental tener en cuenta la disponibilidad de recursos, tanto instrumentación como personal. Por ejemplo, la primera fase de implantación de la red, la observación del 1º orden, suele necesitar mucho personal y el mayor número posible de receptores simultáneamente cuando se busca mucha precisión. Las demás fases, normalmente se pueden realizar con menos equipos y personal, dependiendo del plazo disponible.

5.2.4.2. Observación de campo

Las observaciones de campo proporcionarán una serie de datos que se procesarán después en la fase de cálculo. Estos datos suelen quedar almacenados en los instrumentos y volcados posteriormente al software que realizará estas operaciones.

Sin embargo, es necesario dejar constancia de los trabajos que se han realizado en campo, para lo que se deberán generar unas hojas de campo que documenten estas tareas. Normalmente, estas hojas serán de dos tipos, dependiendo de tipo de trabajo:

- Hojas de campo GPS. (Anejo 8.3 Figura 16) Estas hojas contendrán genéricamente los siguientes datos: nombre del proyecto, marca y modelo de receptor, nº de serie de receptor, operador, fecha, nº de sesión, hora de inicio, hora de finalización, nombre del archivo de datos, ángulo de la máscara de elevación, duración de cada observación, altura de la antena, condiciones atmosféricas, etc.
- Hojas de campo de métodos clásicos. (Anejo 8.3 Figura 17) Estas hojas contendrán genéricamente los siguientes datos: nombre del proyecto, método de observación (poligonal, intersección, triangulación, radiación, nivelación, etc.), marca y modelo del instrumento, nº de serie del instrumento, fecha, hora de inicio y final, nombre del

archivo de datos, altura del instrumento, altura de la señal, condiciones atmosféricas, entre otras.

Las enorme cantidad de datos que las observaciones de campo generan en una red de estas características obliga a realizar una gestión apropiada de los datos resultantes de las observaciones. Para evitar errores o pérdidas de datos que obliguen a, por ejemplo, repetir medidas, las observaciones y sus datos deberán estar perfectamente organizados y ordenados para la fase siguiente de cálculo.

5.3. Cálculos y resultados

5.3.1. Recopilación y organización de datos de campo

El primer paso antes del cálculo será recopilar toda la información obtenida en campo, que ya estará perfectamente clasificada y ordenada del paso anterior. En esta fase se podrán realizar comprobaciones y depuraciones de errores groseros, que a veces aparecen involuntariamente, y se tomará la decisión de repetir o no determinadas observaciones si fuera el caso. Al final se dispondrá de una colección de datos lista para ser tratada en la fase de cálculo.

5.3.2. Cálculos

Los cálculos casi siempre se realizarán a través de software específico que permitirá, normalmente utilizar técnicas de ajuste por mínimos cuadrados, siendo esta la metodología la más usual, fundamental en la tecnología GPS. Además de las coordenadas cartesianas que constituyen el dato fundamental que se busca, los cálculos proporcionan datos complementarios que permiten hacer mejoras en los ajustes de observaciones y mejorar los resultados globales. Los datos habituales que un ajuste proporciona son los siguientes:

- Coordenadas cartesianas ajustadas de los vértices de la red
- Coordenadas geográficas ajustadas de los vértices
- Convergencias de meridianos en cada punto
- Factores de escala y de reducción
- Reducciones de distancias al elipsoide
- Coeficientes de anamorfosis
- Desviaciones típicas de las observaciones
- Residuos
- Histogramas de distribución de los residuos
- Análisis estadísticos diversos

Dependiendo de la metodología empleada, los cálculos podrán englobar las observaciones de procedentes de distintos métodos, asignando diferentes pesos según el origen o se realizarán por partes en función de los métodos o de la división en órdenes de precisión.

5.3.3. Informe de resultados

Esta parte del proyecto tendrá también su informe donde se plasmarán los resultados de los cálculos. El informe contendrá genéricamente las siguientes partes:

- Memoria de resultados. En ella se explicará todo el proceso de cálculo para obtener las coordenadas y otros datos. Se explicarán los métodos de cálculo y los programas utilizados.
- Listados de coordenadas. Es el objetivo principal de todo el proyecto. Se preparará un listado completo con las coordenadas de todos los vértices que componen la red. Opcionalmente se pueden añadir otros datos como la convergencias de meridianos, factores de escala, etc.
- Reseñas de los vértices de la red. Toda la información se individualizará en las reseñas. Cada vértice tendrá una y en ella se indicará, como norma general, la siguiente información:
 - Sistema o sistemas de referencia
 - Proyección y huso
 - Coordenadas geográficas, longitud y latitud
 - Coordenadas cartesianas X, Y en el sistema o sistemas de referencia considerados
 - Altitud ortométrica
 - Precisiones
 - Fecha de la última actualización
 - Estado de conservación de la señal
 - Etc.
- Mapas y planos. Por último, es muy útil disponer de un mapa completo de la red, en formato digital, que se incluirá en el informe en formato papel si es necesario. Este elemento proporciona una visión global del conjunto de la red.

5.4. Planificación del control y mantenimiento de la red

Esta parte es fundamental si se pretende que la red mantenga su fiabilidad a lo largo del tiempo, como se viene explicando desde el principio de este trabajo. Aunque algunas redes encuestadas realizan un mantenimiento activo, Oviedo y Avilés esencialmente, se ha podido comprobar que ninguna de ellas dispone de plan de mantenimiento. Realizar tareas de mantenimiento es importante, pero trazar y seguir un plan de mantenimiento garantiza la fiabilidad y calidad futuras de la red, pues ante cualquier imprevisto, existirán protocolos de seguimiento que garantizarán estas cualidades que podrán ser llevadas a cabo por cualquier persona, no solamente

los encargados de planear la red. Sin una organización apropiada a través de un plan de mantenimiento y control, cualquier contingencia que afecta a los gestores de la red podría suponer pérdida de información o abandono de las tareas de control, por poner un ejemplo.

Aunque las redes urbanas por sus características tienden a ser bastante estables, necesitarán cierto mantenimiento a lo largo del tiempo; las redes rurales en cambio sufrirán mayor deterioro con lo que el mantenimiento en estas zonas debería ser algo más intenso. A pesar de ello, las tareas de mantenimiento no deberían verse como operaciones tediosas o imposibles de realizar, al contrario si se han tomado las precauciones de considerar el mantenimiento desde la fase inicial de diseño de la red para que pueda ser razonable y factible desde el inicio del proyecto. En realidad, diseño y mantenimiento deberían ir de la mano desde el mismo planteamiento de la red, de manera que la infraestructura puede tener las dimensiones y características de diseño apropiadas para poder ser mantenida en el tiempo y mantener su fiabilidad. Por este motivo, el diseño es una parte fundamental a la que merece la pena dedicar el tiempo suficiente para lograr estos objetivos de fiabilidad y calidad.

Dentro de las operaciones de mantenimiento consideraremos varias partes que se complementan entre sí y que mantendrán la “buena salud” de la red y un conocimiento actualizado de la misma por parte de los gestores de la red.

5.4.1. Inspección periódica de la red

Esta es la fase de mantenimiento más sencilla, pues se basa en una revisión visual de las señales que conforman la red. Se trata de efectuar inspecciones periódicas de todos los vértices, comprobar su permanencia, estabilidad, nivel de alteración, etc. Este trabajo se puede apoyar con fotografías si se producen cambios en los vértices inspeccionados.

Esta operación genera un inventario de vértices que se mantendrá actualizado periódicamente cada cierto tiempo. Se pueden establecer por ejemplo, inspecciones anuales, bianuales, o más dependiendo de las características de la red o el nivel de alteración o desaparición que sufran las señales. Si son muchas las señales afectadas por determinadas circunstancias que las afectan negativamente, se puede disminuir el tiempo entre inspecciones consecutivas, o al contrario aumentarlo si el nivel de alteración es bajo.

En cualquier caso, cuando se detecten problemas, se hará constar en el inventario de vértices y se hará constar tal circunstancia en la reseña correspondiente para que los usuarios queden advertidos de no utilizar esa señal.

Cuando el número de vértices alterados se considere suficientemente alto, llega el momento de plantear una actualización o una renovación de las señales afectadas. En algunos casos de necesidad, se podría sustituir algún vértice individualmente cuando sea necesario.

5.4.2. Renovación y actualización

Al cabo de algún tiempo, puede ser que alguna zona amplia tenga muchos vértices alterados por causas concretas, como una obra por ejemplo, o simplemente debido a causas coyunturales. A medida que pasa el tiempo, los deterioros y desapariciones se irán haciendo más comunes, hasta tal punto que se podría perder cobertura en algunas zonas si no se remedia. En estos casos, será necesario actualizar la red para volver a colocar señales donde hayan desaparecido, y sustituir las que se encuentren alteradas.

Esto se hará a través de un proyecto similar al tratado aquí pero de menor envergadura, lógicamente. Estos proyectos de renovación o actualización se decidirán en función de los resultados de las inspecciones y podrían llevarse a cabo de forma periódica también o después de determinados sucesos que hayan deteriorado la red en zonas concretas. Estos trabajos darán lugar a observaciones y cálculos que se incluirán en un informe de mantenimiento.

Aunque las que inspecciones puedan arrojar resultados positivos durante largos periodos de tiempo y que no haya que realizar operaciones de actualización por no existir alteraciones o por encontrar muy pocas, sería recomendable planificar observaciones de control de toda o parte de la red, para saber si se han podido producir movimientos inesperados y no detectados en las inspecciones. Estas observaciones de control deben ser planificadas periódicamente, especialmente si hay sospechas de problemas en determinados lugares, y sus resultados se incluirán también en un informe de mantenimiento.

Todas las modificaciones que hayan de realizarse deberán plasmarse en el inventario de vértices y las reseñas se actualizarán también con los nuevos datos.

5.4.3. Ampliaciones

Algunas veces, será necesario realizar ampliaciones de la red. Puede darse la circunstancia de que la red tenga que crecer porque algunas zonas se han ido desarrollando con el tiempo, porque la red no esté del todo completa, por necesidades concretas de densificación, u otras causas.

El caso es que será necesario instalar nuevas señales donde antes no las había, es decir, en la práctica se trata de instalar una nueva red que complemente la anterior. Para llevar a cabo esa tarea, se seguirán los mismos principios descritos hasta ahora en cuanto a diseño y mantenimiento.

Las ampliaciones darán lugar a nuevos proyectos de implantación, como si de una nueva red se tratara, y deberán contar con sus fases de estudio previo, implantación de señales, diseño, observación, cálculos y cierre de proyecto.

Tras cada ampliación, se generará nueva información que actualizará el inventario de vértices, y cuyas reseñas deberán ser actualizadas también. Toda la información relativa a la ampliación de la red deberá figurar en el archivo de mantenimiento que se cree al efecto.

5.4.4. Informes de inspección, renovación y ampliación (genérico)

Cada cierto tiempo previamente establecido se realizarán las tareas de mantenimiento que se acaban de describir. Cada actuación de mantenimiento que suponga alguna modificación de la red, de los vértices o de sus coordenadas generará las siguientes acciones:

- Se deberá actualizar el inventario de vértices
- Se actualizarán las reseñas de los vértices afectados
- Se almacenarán los cambios en el archivo de mantenimiento
- Se generará el correspondiente informe de mantenimiento

Los informes de mantenimiento contendrán toda la información relativa a las modificaciones que se hayan realizado, las observaciones, los cálculos, los resultados, etc., y se archivarán en el archivo de mantenimiento junto con el resto de información de la red.

5.4.5. Archivo de mantenimiento

Se creará un registro donde se almacenarán todos los datos relativos a la red, desde su creación. Se guardarán en él todos los datos de actualización, renovación y ampliación posterior que se produzcan. El archivo contendrá los informes, las reseñas, el inventario y, en general, cualquier dato que afecte o esté relacionado con la red.

5.5. Cierre del proyecto

En esta fase del proyecto de implantación, la red estará ya instalada, observada, calculada y se habrán previsto y planificado las operaciones futuras de mantenimiento. En esta parte todavía quedan algunas tareas por realizar que, por una parte organizarán toda la documentación disponible y, por otra, pondrán los medios necesarios para la divulgación y publicación de los datos susceptibles de ser utilizados por los usuarios.

Con esta fase se da por concluido el proyecto de implantación de la red, y dará comienzo la fase de mantenimiento con duración ilimitada.

5.5.1. Recopilación de la información

Como resultado de todos los trabajos de creación de la red, existirá numerosa documentación disponible que tendrá que ser organizada y clasificada para su inserción en el archivo. Recapitulando un poco, la información disponible debería ser la siguiente:

- Documentación del estudio previo
 - Cartografía de la zona de implantación
 - Reseñas de vértices de redes oficiales

- Análisis del marco de referencia existente
- Informe sobre el estado del marco existente
- Informe final de diseño de la red
 - Requisitos de la red
- Hojas de campo
 - GPS
 - Métodos clásicos (poligonación, intersección, etc.)
- Informes de resultados de los cálculos
 - Reseñas de los vértices de la red
 - Listados de coordenadas
 - Mapa de la red
- Planificación de control y mantenimiento de la red
 - Inspecciones periódicas
 - Inventario de los vértices de la red
 - Renovación y actualización
 - Ampliaciones
 - Archivo de mantenimiento

Toda esta documentación se completará con el informe final de cierre que se verá a continuación.

5.5.2. Informe final de cierre

El informe final de cierre será el último documento que se creará en el marco de la implantación de la red y supondrá la terminación del proyecto en cuanto a creación de la red se refiere. A partir de entonces, se iniciará la fase de mantenimiento y los siguientes informes de control generados versarán sobre esa cuestión.

El informe de cierre constará de las siguientes partes:

- Memoria de las actuaciones. Consistirá en detallar las operaciones realizadas para la consecución de los trabajos de implantación de la red. Esta parte tratará específicamente el diseño elegido para la red detallando los requisitos y condicionantes de la misma, los métodos de observación y técnicas de cálculo por los que se haya optado y, en general, todas aquellas cuestiones que hayan sido determinantes para el desarrollo del proyecto.
- Observaciones. Se incluirán todas las observaciones en bruto obtenidas en campo para posteriores mejoras de los cálculos o revisiones.
- Cálculos, resultados y precisiones. En esta parte del informe se harán constar todos los resultados de los cálculos efectuados.

- Listado de vértices y coordenadas. Se reservará una parte del informe para incluir el listado con las coordenadas de los vértices, para que se puede consultar y obtener datos de manera sencilla y rápida.
- Mapas y planos de la red. Se consignará la representación cartográfica de la red para su consulta si necesario.
- Reseñas de los vértices. También se incluirán en el informe y constituirán uno de los principales documentos de consulta del informe en relación con la utilización de la red.
- Anexo de mantenimiento y ampliaciones previstas. Esta es una parte muy importante porque sienta las bases del mantenimiento a realizar en el futuro. Las consideraciones vistas en el apartado 5.4 darán lugar a una serie de protocolos sencillos de actuación que se incluirán aquí.

5.5.3. Divulgación y publicación de la red

Ya se ha dicho en el apartado 4.5 que la divulgación y publicación de los resultados son aspectos muy importantes a tener en cuenta para el desarrollo de una red geodésica. El libre acceso a la información de la red posibilitará su utilización por parte de los usuarios ajenos a ella que tengan necesidades de georreferenciación.

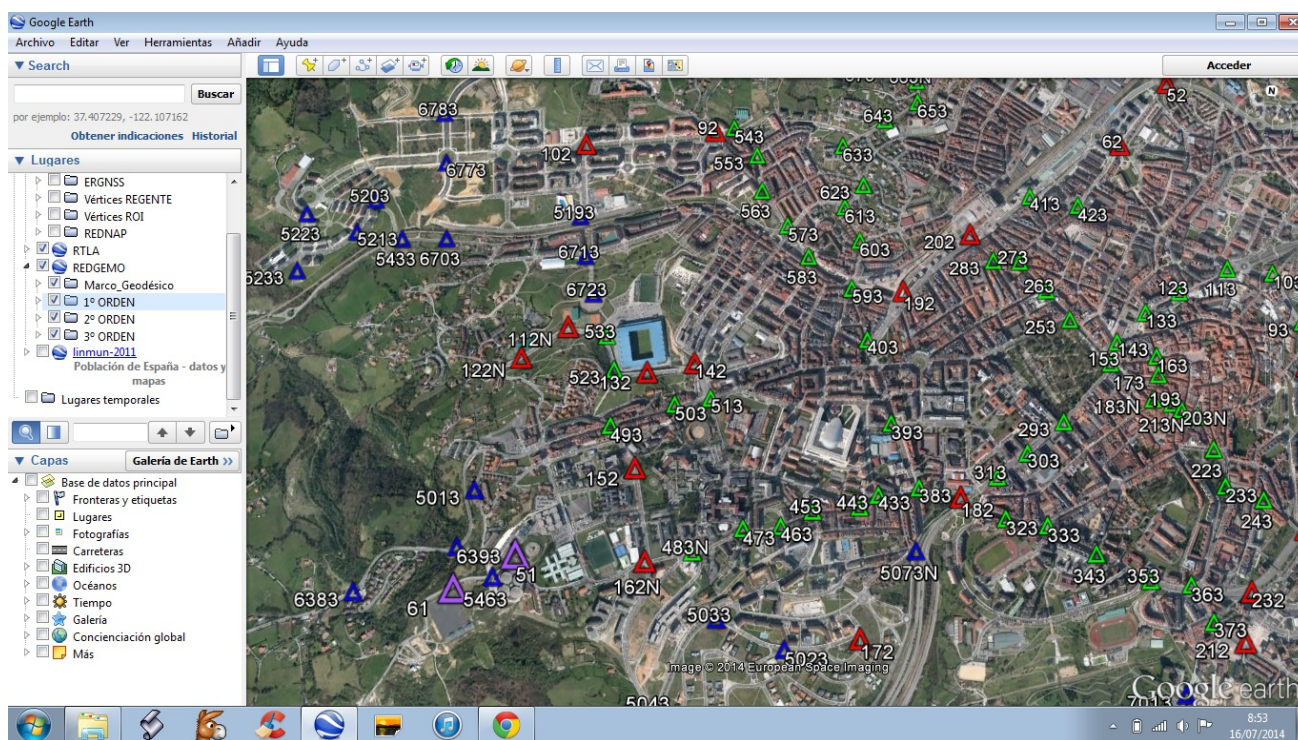


Figura 14. Captura de pantalla de la REDGEMO de Oviedo en Google Earth

Se ha podido comprobar en las encuestas que existen métodos muy efectivos de divulgación a través de internet. Es el caso de Oviedo y Avilés, que utilizan Google Earth para poner sus redes a disposición de los usuarios. A cambio, en muchas ocasiones les solicitan o exigen que adapten sus trabajos al marco de referencia municipal, puesto que se facilitan los medios para ello.

El método se basa en representar mediante símbolos los vértices de la red en su posición real sobre Google Earth, como si se tratara de un mapa convencional. Para ello, se debe descargar un archivo de extensión *.kmz disponible en los sitios web de cada Ayuntamiento y cargarlo en el programa. Los vértices de la red se presentan en pantalla en su posición correcta sobre el mapa digital.

La forma en que ambas redes presentan la información sobre el mapa es similar, cada una de ellas utiliza símbolos propios para representar los vértices de su red. La Figura 14 anterior muestra la REDGEMO de Oviedo, pinchando sobre cada símbolo se abre una ventana con indicación de un enlace para consultar la reseña correspondiente (ver Figura 20 del anejo 8.3).

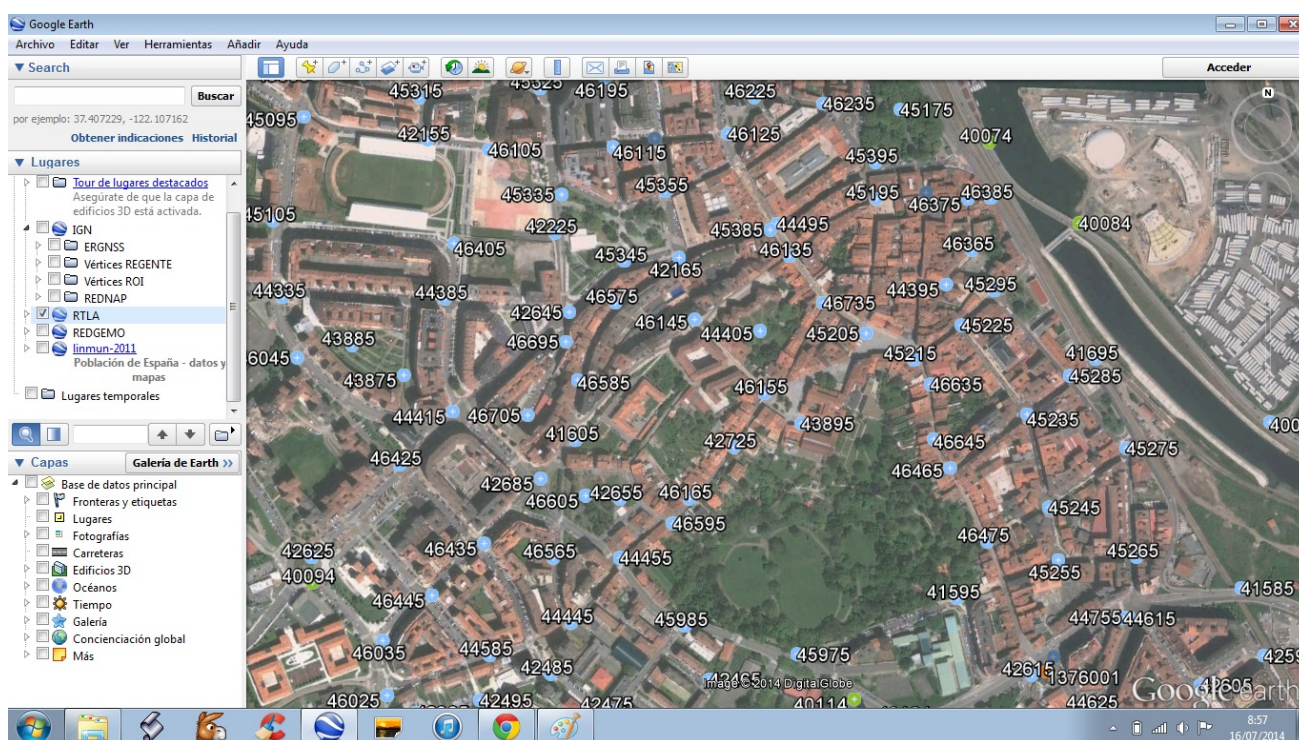


Figura 15. Captura de pantalla de la RTLA de Avilés

El caso de Avilés se muestra en la Figura 15, la presentación es similar a la de Oviedo, pero al pinchar en los símbolos que representan los vértices, se abre en el mismo programa una ventana con indicación de las coordenadas y otros datos de cada vértice (ver Figura 21 del anejo 8.3).

Oviedo cuenta, además, con una página web dedicada a la Red Geodésica del municipio, donde se puede consultar información adicional sobre la red y se presentan algunas aclaraciones sobre su evolución y desarrollo. La página en cuestión se puede consultar en:

<https://www.google.es/#q=redgemo+oviedo>

Todos estos métodos de divulgación o publicación de la información de las redes, son iniciativas muy interesantes, y constituyen ejemplos a seguir en lo que debe ser una red de libre acceso y libre uso. Lo cierto es que el usuario agradecerá la facilidad con la que se puede acceder a

los datos, pero es que además, se fomenta el uso de la red y se facilita el objetivo último de obtener cartografía en un mismo sistema de referencia.

6. Conclusiones

Cuando se plantea la necesidad de realizar un trabajo cartográfico cualquiera surge inmediatamente la pregunta de cuál va a ser la referencia para apoyar dicho trabajo. Sistemas de referencia oficiales que puedan servir a este fin existen varios en España, ya se han citado en el Estado del Arte los marcos de referencia gestionados por el Instituto Geográfico Nacional, y que se materializan a través de las redes ROI, REGENTE y REDNAP. También se mencionaba la existencia de redes de ámbito autonómico, como la RGPA asturiana o la presencia de estaciones GPS permanentes, lo que se conoce como redes geodésicas activas.

Todos estos marcos de referencia, con sus ventajas e inconvenientes, son válidos y tienen la fiabilidad suficiente para las necesidades generales de georreferenciación pero no siempre tendrán el nivel de densificación a nivel local que algunos trabajos puedan requerir. Por ello, es a menudo necesario recurrir a densificaciones localizadas, por ejemplo en obras civiles o municipios, que permitan un acceso más rápido y sencillo a sus señales, al objeto de reducir los costes y tiempos derivados del uso de redes nacionales y de evitar problemas de compatibilidad entre cartografías.

Desde el punto de vista municipal y local, las redes geodésicas de ámbito local se crean a menudo con ese fin, el de tratar de homogeneizar la cartografía disponible que suele encontrarse en muchos sistemas diferentes, algunos de los cuales son incluso desconocidos o arbitrarios. Estas cartografías son incompatibles entre sí y se requiere un único sistema de referencia que permita su ubicación inequívoca, razón por la que se desarrollan estas redes de apoyo.

Se ha realizado un repaso completo de la situación actual a través de una documentación bibliográfica detallada y encuestas realizadas en distintos ayuntamientos con lo que se ha podido conocer cuáles son las fortalezas y las debilidades que se detectan a día de hoy en la implantación de este tipo de redes.

Las fortalezas se pueden resumir en una actualización de las redes a los marcos de referencia actuales, más precisos que los anteriores y la utilización de tecnología moderna y precisa de trabajo, todo lo cual permite obtener redes de calidad. Otro punto fuerte detectado en algunas redes es la divulgación de sus resultados y el planteamiento de red de libre acceso, aunque no se da en todos los analizados. Entre las debilidades más destacables mencionar la falta de fiabilidad por baja precisión, que se ha detectado en la red más importante y la carencia de planes de mantenimiento a largo plazo, problema que se da en todos los casos de estudio. El dimensionamiento es otro aspecto que es claramente mejorable en varios casos.

Éstas y otras características se han utilizado para desarrollar una metodología que aprovecha las fortalezas detectadas y trata de aportar soluciones que mejoren las debilidades. Esencialmente, se trata de adaptar las redes a las tendencias tecnológicas, sacando partido de la alta calidad que los marcos de referencia actuales ofrecen, así como de los métodos de observación modernos que aportan una ventaja clara por las buenas precisiones y los altos rendimientos que permiten. Por otro lado, se considera de la máxima importancia planificar el mantenimiento desde

el inicio del proyecto, para lo que se han de diseñar redes con dimensionamientos acordes a los estándares de revisión que se establezcan y que se puedan llevar a cabo estas operaciones de mantenimiento con un despliegue moderado de recursos. Por último, el planteamiento de red de libre acceso y de libre uso es imprescindible para lograr el objetivo de la cartografía unificada y coherente; los medios de publicación a través de Internet tienen en esto un papel predominante. Todo ello al objeto de conseguir la fiabilidad de la red y que ésta se convierta en una herramienta de uso común por parte de aquellos usuarios con necesidades de georreferenciación.

7. Bibliografía

Libros

Caturla Sánchez de Neira, J.L. (1988). *Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.)*. MOPU. Instituto Geográfico Nacional. Madrid.

Chueca Pazos, M. (1983). *“Topografía. Tomo I”*. Editorial: Dossat. Madrid.

Domínguez García Tejero, F. (2002). *Topografía general y aplicada*. 13ª Edición. Editorial Dossat, S.A. Madrid.

Ferrer Torío, R., Piña Patón, B. (1991). *Metodologías Topográficas*. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Santander.

Hernández Sánchez, S., Pinilla Ruiz, C. (1998). *Capítulo “La red topográfica de la red de carreteras de Andalucía”*. I Congreso Andaluz de Carreteras. Libro: Construcción de carreteras en climas semiáridos. pp. 123-138. Publicado por la Asociación Española de la Carretera.

Hofmann-Wellenhof, B., Liuchtenegger, H., Collins, J. (1994). *GPS Theory and Practice*. Editorial: Springer-Verlag. Austria.

Núñez-García del Pozo, A., Valbuena Durán, J.L., Velasco Gómez, J. (1992). *GPS La Nueva Era de la Topografía*. Ediciones de las Ciencias Sociales. Madrid.

Ojeda, J.L. (1984). *Métodos Topográficos y Oficina Técnica*. Editor: José Luís Ojeda Ruiz. Madrid.

Ruiz Morales, M. (1991). *Manual de Geodesia y Topografía*. 1ª Edición. Proyecto Sur de Ediciones, S.A.L. Granada.

Sánchez Ríos, A. (2000). *Fundamentos Teóricos de los Métodos Topográficos*. Editorial BELLISCO, Ediciones Técnicas y Científicas. Madrid.

Teunissen, P.J., Kleusberg, A. (1998). *GPS for Geodesy*. Editorial: Springer-Verlag. Germany

Tesis doctorales

Aguilera Ureña, M.J. (2001). *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS. Análisis de la influencia de los métodos de cálculo en la precisión*. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica. Universidad de Córdoba

Berrocoso Domínguez, M. (1997). *Modelos y formalismos para el tratamiento de observaciones GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Aplicación al establecimiento de redes geodésicas y geodinámicas en la Antártida*. Tesis doctoral. Universidad de Cadiz.

Camargo Larocca, A.P. (2000). *Analyses of strategies for processing of geodetic networks with the global positioning system – GPS*. Master's Thesis. Universidade de Sao Paulo. Brasil. (<http://www.openthesis.org>)

Hernández López, D. (1999). *Acerca de la compensación de grandes redes geodésicas aplicando teoría de grafos, matrices dispersas y programación orientada a objetos*. Tesis Doctoral. Departamento: Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia.

Prado Martins, A.J. (2006). *Adjustment proposal for improving of the reliability and precision of geodetic network points for local*. Master's Thesis. Universidade de Sao Paulo. Brazil. (<http://www.openthesis.org>)

Velasco Gómez, J. (2010). *Propuesta metodológica de diseño, observación y cálculo de redes topográficas para la construcción de túneles de gran longitud para ferrocarriles de alta velocidad*. Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Madrid

Artículos

Duranthon, J.P. (2000). *Application de la méthode GPS de localisation par satellite à la surveillance de sites naturels instables*. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 228, pp. 47-57.

Chuerubim, M.L., Chaves, J.C., Galera Monico, J.F. (2011). *GNSS network integration: a methodological proposal of the densification of the SIRGAS network in South America*. Boletim De Ciencias Geodesicas. Volumen: 17. Número: 4. Páginas: 477-495.

Cuadrado, O., García-Asenjo, L., Hernández, D., Nuñez, A. (2004). *Planificación y ejecución de redes de control de calidad en Procesos cartográficos. El proyecto RGPA en el Principado de Asturias*. VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía. TOPCART 2004. <http://cartesia.org/geodoc/topcart2004/conferencias/10.pdf>

Ferranti, L., Palano, M., Cannavò, F., Mazzella, M.E., Oldow, J.S., Gueguen E., Mattia M., Monaco, C. (2014). *Rates of geodetic deformation across active faults in southern Italy*. Tectonophysics. Volume 621. Pages 101-122.

Garrido, M.S., Giménez, E., de Lacy M.C., Gil, A.J. (2013). *Dense Regional Active Networks and High Accuracy Positioning Services. A Case Study Based on the Andalusian Positioning Network (Southern Spain)*. IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing. Volumen: 6. Número: 6. Páginas: 2421-2433.

Hekimoglu, Serif; Erdogan, B. (2013). *Application of median-equation approach for outlier detection in geodetic networks*. Boletim de ciencias geodésicas. Volumen: 9. Número: 4. Páginas: 548-557.

Ihde, J., Baker, T., Bruyninx, .C, Francis, O., Amalvictm M., Kenyeres, A., Makinen, J., Shipman S., Simek, J., Wilmes H. (2005). *Development of a European Combined Geodetic Network (ECGN)*. Journal of Geodynamics. Volume 40. Issues 4–5. Pages 450-460.

Klein, I., Matsuoka, M.T., De Souza, S.F.; et al. (2012). *Design of geodetic networks reliable against multiple outliers*. Boletim de Ciencias Geodesicas. Volumen: 18. Número: 3. Páginas: 480-507

Mackern Oberti, M.V. (2005). *Redes de estaciones permanentes GPS. Una respuesta al problema de materializar el sistema de referencia terrestre*. <http://www.acadning.org.ar/anales/2005/II%20-%20Premios/1.%20Baglietto%202004%20-%20Mackern%20Oberti/3.pdf>

Martínez-Yáñez, M., Cabral-Cano, E., Correa-Mora, F., et al. (2009). *Estudio de la ladera occidental del Cerro del Chiquihuite, Ciudad de México mediante SIG y GPS*. Ingeniería, investigación y tecnología. Volumen: 10. Número: 2. Páginas: 99-112.

González-Matesanz, F.J., Quirós, R., Sánchez Sobrino, J.A. , Dalda, A. (2005). *El cambio de Datum ED50-ETRS89: Métodos y resultados*. Topografía y Cartografía. Volumen XXII, nº 130. Septiembre-October, páginas 3-10. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid.

Miranda Barrós, D., Rodríguez Pérez, J.R., Alonso Bouza, J.C. (1999). *Instalación de redes microgeodésicas como soporte para la gestión y mantenimiento de sistemas de información geográfica de ámbito municipal*. <http://buleria.unileon.es/xmlui/bitstream/handle/10612/3045/Ramon.pdf?sequence=1>

Ozener H., Zerbini S., Bastos L., Becker M., Meghraoui M., Reilinger R. (2013). *WEGENER: World Earthquake Geodesy Network for Environmental Hazard Research*. Journal of Geodynamics. Volume 67. Pages 2-12

Parareda, C., Soro, M., Bosch, E., Térmens, A. (2007). *Un año de experiencias con el servicio RTKAT*. Institut Cartogràfic de Catalunya.

http://scholar.google.es/scholar?q=estacion+permanente+mieres+gps&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5

Seeger, H. (1998). *EUREF: El nuevo Datum de referencia europeo y su relación con el WGS-84*. Topografía y Cartografía. Volumen XV, nº 85. Marzo-Abril, páginas 62-71. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid.

Sevilla, M.J., (2006). *IBERGEO 2006: Nuevo Geoide centimétrico de la Península*. Topografía y Cartografía. Volumen XXIII, nº 135. Julio-Agosto, páginas 3-10. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid.

Sevilla, M.J., Romero, P. (1991). *Ground deformation control by statistical analysis of a geodetic network in the caldera of Teide*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Volume 47. Issues 1–2. Pages 65-74.

Velasco, J., Herrero, T., Prieto, J. (2014). *Metodología de diseño, observación y cálculo de redes geodésicas exteriores para túneles de gran longitud*. *Informes de la Construcción*, 66(533): e010, doi:

<http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.007>.

Yetkin, M., Berber, M., Inal, C. (2013). *Robustness analysis of geodetic networks in the case of correlated observations*. *Boletim de Ciencias Geodesicas*. Volumen: 19. Número: 3. Páginas: 434-451 Fecha De Publicación: Jul-Sep 2013.

Pliegos

Ayuntamiento de Oviedo (2013). *Pliego de prescripciones técnicas para la contratación de la revisión y ampliación de la red geodésica municipal*.

Servicio de Proyectos, Ferrocarriles y Obras Hidráulicas. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Gobierno de Navarra. (2007). *Pliego de elaboración de red básica y bases de replanteo para la realización de proyectos. Campaña 2007*.

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. Québec. Canada (2012). *Instructions relatives à l'établissement de réseaux géodésiques*.

http://www.mern.gouv.qc.ca/publications/territoire/instructions_etablissement_reseaux_geod.pdf

Ministère des Transports du Québec. Canada (2013). *Manuel d'Arpentage et de Géomatique*.

<http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/bpm/ManuelArpentageGeomatique-sept2013.pdf>

Páginas Web

Red GNSS Activa del Principado de Asturias (RGAPA). <http://rgapa.cartografia.asturias.es/>

Red Geodésica Activa de Aragón (ARAGEA). <http://gnss.aragon.es/>

Red de Estaciones Permanentes GNSS – La Rioja. <http://www.iderioja.larioja.org/index.php?id=20&lang=es>

Red de Estaciones GNSS de Castilla y León (ITACYL). <http://gnss.itacyl.es/>

La Red Geodésica. <http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesGeodesiaRedqd.do>

Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.es/ign/main/index.do>

8. Anejos

8.1. Encuestas

ENCUESTA Nº1	
RTLA – RED TOPOGRÁFICA LOCAL DE AVILÉS	
Nombre encuestados	<i>José Ron y Javier García</i>
Cargos	<i>Jefe de Sección y Topógrafo</i>
Organismo	<i>Ayuntamiento de Avilés</i>
Fecha	<i>9-4-2014</i>

Red Topográfica	
¿Hay red disponible?	Inicio en 2002
Grado de compleción	1ª fase: 420 bases (ETRS 89) + 20 de Catastro (ED50) Densificación continua desde los inicios con el personal y equipos propios del Ayuntamiento.
Nº de señales de la red	764
Órdenes o niveles de precisión	<u>3º orden</u> : se apoya en la red Geodésica del IGN y la RGPA. Consta de pocas bases que se ubican en zonas inaccesibles como tejados o depósitos de agua. Sirve de apoyo y referencia a los órdenes 4º y 5º. Muy alta precisión <u>4º orden</u> : orden de precisión intermedia, densifica el anterior. <u>5º orden</u> : orden de precisión de usuario (2cm). Densifica los dos anteriores y cubre todo el concejo.
Señalización	Clavos de latón de cabeza hemiesférica con diseño propio y rotulados con las siglas RTLA (Red Topográfica Local de Avilés)
Datum utilizado	ETRS 89 para la red y su densificación ED-50 para Catastro Proyección UTM
Zonas cubiertas	Cubre tanto zonas urbanas como rurales. Mayor densidad en zonas urbanas. Además de Avilés, también se han colocado señales en Concejos limítrofes: Castrillón, Corvera y Gozón.
Observación y cálculo	La 1ª fase se ejecutó mediante empresa externa (Ingecor).

Justificación	
Necesidades y motivos para la implantación de la red	<p>Destinada a proporcionar apoyo y referencia a cualquier usuario en las labores de campo. Se trata de facilitar la tarea a los usuarios para que éstos hagan uso de la red y entreguen sus cartografías en el sistema de referencia municipal (ETRS 89). En especial permite obtener datos correctamente georreferenciados en los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> GIS Cartografía nueva aportada por empresas y usuarios en la solicitud de licencias normalmente Unificación y encaje de cartografías previas Obras civiles y arquitectura de nueva ejecución Planes y desarrollos urbanísticos Expansión de zonas urbanas existentes Creación de suelo urbano
Promotor de la iniciativa	Ayuntamiento a través de la sección de Topografía
Colaboraciones	<p>Administración del Principado: se ha apoyado el trabajo sobre la Red Geodésica del Principado de Asturias, pero no hay colaboración directa.</p> <p>Empresas y usuarios: pueden aportar nuevos datos si se trata de obras civiles o informar de la alteración de señales por la influencia de obras y otras circunstancias.</p>
¿Instituciones son receptivas?	Presupuesto: se obtuvo presupuesto por parte del municipio para la realización de la 1ª fase que fue subcontratada y para la adquisición de equipos de topografía para las densificaciones posteriores: dos receptores GNSS y estación total. Además, los medios humanos del ayuntamiento son 2 topógrafos y 2 trabajadores en prácticas en la sección de Topografía.

PLANIMETRÍA. Observación	
Método de medición	<p>Geodesia espacial GNSS en los tres órdenes</p> <p>Métodos de Topografía clásica: Intersecciones para el 5º orden</p>
Precisiones	En general de 2 cm como máximo (red de 5º orden)

Referencias	Referencias utilizadas: IGN ROI (Red de Orden Inferior) IGN REGENTE (ETRS89) RGPA
Método de cálculo	Con software propio de los equipos utilizados. En general se usa la técnica de mínimos cuadrados

ALTIMETRÍA. Observación	
Altimetría disponible	Las altitudes están referidas a la Red Altimétrica del IGN (nivel medio del mar en Alicante).
¿Señales separadas de la planimetría?	Las señales combinan las coordenadas planimétricas con las altimétricas. No existe una red altimétrica separada.
Referencias	IGN NAP. Se han tomado varias referencias. Un clavo de la red IGN NAP situado en Castrillón. También se ha realizado un enlace mediante nivelación geométrica de alta precisión con un clavo situado en Cornellana (línea NAP del IGN). El Cero del Puerto de Avilés se ha referido también a la red NAP de la ciudad.
Método de medición	Se ha transmitido altitud ortométrica a varios vértices de la RTLA mediante nivelación geométrica. Sobre esta nivelación se establece un modelo de transformación entre geoide (referencia natural de las cotas ortométricas) y el elipsoide ETRS89 (que se usa como referencia del GNSS), de modo que se puedan transmitir las alturas mediante observaciones GNSS con un error mínimo o despreciable (modelo de geoide).
Precisiones	Similares a las planimétricas, en torno a 2cm

Requisitos de la red	
Disposición de las señales	Intervisibilidad Ha de haber al menos 2 señales visibles entre sí para facilitar los trabajos de los usuarios con estación total. Se prefieren las señales situadas en cruces de calles. Se trata de cubrir todo el concejo de Avilés y, en menor medida, enlazar con los concejos limítrofes.
Precisiones mínimas	No hay un mínimo, se busca la máxima precisión especialmente en el orden superior.

Métodos determinados	<p><u>3º orden</u>: pocas bases e inaccesibles para evitar deterioros. Observación , mediante GNSS en modo estático con 5 receptores simultáneamente, colocados en vértices de referencia (IGN y/o RGPA) y vértices de la RTLA, con periodos de 1 hora o superiores en cada vértice, en función de la configuración de la constelación de satélites y el GDOP obtenido.</p> <p><u>4º orden</u>: observación con GNSS en modo estático apoyada sobre el 3º orden, con tiempos de observación de ½ hora, variables según GDOP y constelación.</p> <p><u>5º orden</u>: es el orden con mayor número de vértices. Apoyado en el 4º orden. Observación de dos tipos: con GNSS y tiempos de observación entre 20 minutos y ½ hora o mini red clásica (estación total) considerando todos los vértices visibles desde la señal a observar.</p>
Señales	<p>Condiciones que han de cumplir:</p> <p>Permanencia de las señales: se usan clavos que sobresalen mínimamente del nivel del suelo para no ser arrancadas con facilidad. Se colocan preferiblemente en bordillos, mediante taladro y se fijan con resinas de alta calidad.</p> <p>Se pretende no causar interferencias con los viandantes o el mobiliario urbano y evitar roturas del material urbano durante la colocación.</p>

Divulgación

¿Cómo se transmite la información a los usuarios?

Acceso libre a través de Google Earth: hay un archivo disponible en la web del ayuntamiento para su descarga e inserción en la aplicación. Se tiene así toda la distribución de señales de la red. Pinchando en cada una se obtiene la reseña con los datos geográficos necesarios.

También es posible contactar con el personal del Ayuntamiento de la sección de Topografía.

Anotaciones

Costes de la 1ª fase subcontratada: en torno a 18.000-20.000€ (año 2002).

La RGPA (Red Geodésica del Principado de Asturias) no es de fiar pues no se está manteniendo por parte de la comunidad autónoma. Sí son fiables los apoyos sobre las redes ROI y REGENTE del IGN.

ENCUESTA Nº2	
REDGEMO – Red Geodésica Municipal de Oviedo	
Nombre encuestado	Carlos López Herrero
Cargos	Topógrafo de Planeamiento y Urbanismo, Servicio de Proyectos Obras y Transportes
Organismo	Ayuntamiento de Oviedo
Fecha	9-4-2014

Red Topográfica	
¿Hay red disponible?	Inicio en 2008
Grado de compleción	1ª fase (2008): ubicación en zonas urbanas principalmente en sistema ETRS 89. 124 señales. 2ª fase (2013): densificación de zonas rurales y revisión del resto de la red. 283 señales en total.
Nº de señales de la red	283 señales para 186 km ² desde la conclusión de la 2ª fase.
Órdenes o niveles de precisión	<u>1º orden (9 señales)</u> : se apoya en la red Geodésica del IGN (red constreñida). Se realizan comprobaciones con la RGPA pero se encuentran diferencias importantes, por lo que se limita el apoyo a las redes del IGN. Consta de pocas bases que se ubican en zonas inaccesibles como tejados o depósitos de agua. Sirve de apoyo y referencia a los órdenes 2º y 3º. Elevada precisión. <u>2º orden (36 señales)</u> : orden de precisión intermedia, densifica el anterior. Constituida por pares de señales de inicio y fin para las poligonales. <u>3º orden (238 señales)</u> : orden de precisión de usuario (1-2cm). Densifica los dos anteriores y cubre todo el concejo tanto en zonas urbanas como rurales.
Señalización	Clavos de acero inoxidable de cabeza hemiesférica y diseño propio
Datum utilizado	ETRS 89 para la observación de la red. Se obtienen también las coordenadas transformadas a ED50 puesto que la cartografía del ayuntamiento sigue en ese

	sistema. Proyección UTM
Zonas cubiertas	Cubre tanto zonas urbanas como rurales. Mayor densidad en zonas urbanas.
Observación y cálculo	La 1ª fase (2008) y la 2ª fase (2013) se ejecutaron mediante empresa externa (Ingecor).

Justificación	
Necesidades y motivos para la implantación de la red	<p>La red se define para permitir a los usuarios adaptarse al sistema cartográfico del Ayuntamiento de Oviedo, obligatorio para la obtención de licencias y la realización de trámites. Su objeto es proporcionar apoyo y referencia en los trabajos de campo. Se trata de facilitar la tarea a los usuarios para que éstos hagan uso de la red y entreguen sus cartografías en el sistema de referencia municipal (ETRS 89) y no en sistemas relativos o incluso mal referenciados que no sirven para su encaje en la cartografía municipal. Concretamente, es esencial obtener datos correctamente georreferenciados en los siguientes casos:</p> <p>Para los diferentes GIS del ayuntamiento (urbanismo, medioambiente, etc.)</p> <p>Cartografía nueva aportada por empresas y usuarios en la solicitud de licencias normalmente y otros trámites</p> <p>Unificación y encaje de cartografías previas. La cartografía urbana sigue en el antiguo sistema ED50, lo cual obliga a realizar transformaciones con los nuevos datos que se aportan.</p> <p>Obras civiles y arquitectura de nueva ejecución</p> <p>Planes y desarrollos urbanísticos</p> <p>Licencias</p> <p>Patrimonio</p>
Promotor de la iniciativa	Ayuntamiento a través del Departamento de Topografía
Colaboraciones	<p>Administración del Principado: se ha apoyado el trabajo sobre la Red Geodésica del Principado de Asturias, pero no hay colaboración directa.</p> <p>Empresas y usuarios: pueden aportar nuevos datos si se trata de obras civiles o informar de la alteración de señales por la influencia de obras y otras circunstancias.</p>

¿Instituciones son receptoras?	El ayuntamiento financia las operaciones relativas a la red geodésica a través de subcontratistas. Aunque el personal del ayuntamiento realice comprobaciones y mediciones puntuales, los trabajos a gran escala sobre la red se contratan a empresas externas. La revisión y densificación del 2013 fue realizada por Ingecor.
--------------------------------	--

PLANIMETRÍA. Observación	
Método de medición	Geodesia espacial GNSS (GNSS+GLONASS) en los tres órdenes Métodos de Topografía clásica: poligonales con centrado forzoso para el 3º orden. Se han elegido configuraciones de poligonal con pocas estaciones para disminuir la influencia de la transmisión de errores.
Precisiones	Entre 1 y 2 cm como máximo en el 3º orden
Referencias	Referencias utilizadas: IGN ROI (Red de Orden Inferior) IGN REGENTE (ETRS89) RGPA
Método de cálculo	Con software propio de los equipos utilizados. En general se usa la técnica de mínimos cuadrados

ALTIMETRÍA. Observación	
Altimetría disponible	Las altitudes están referidas al marco de referencia altimétrico del IGN (nivel medio del mar en Alicante).
¿Señales separadas de la planimetría?	Las señales combinan las coordenadas planimétricas con las altimétricas. No existe una red altimétrica separada.
Referencias	La altimetría se refiere al marco oficial de referencia REDNAP del IGN mediante el enlace con nivelación de alta precisión realizado con las líneas 401, 402, 20402 y 23402.
Método de medición	Se ha transmitido altitud ortométrica a un 30% de los vértices de la REDGEMO mediante nivelación geométrica. Sobre esta nivelación se establece un modelo de transformación entre geoide (referencia natural de las cotas ortométricas) y el elipsoide ETRS89 (que se usa como referencia del GNSS), de modo que se puedan transmitir las alturas mediante

	observaciones GNSS con un error mínimo o despreciable (modelo de geoide).
Precisiones	En torno a 2-3cm

Requisitos de la red	
Disposición de las señales	<p>Las señales han de adaptarse a la morfología urbana. Se prefiere su colocación en cruces con cobertura GNSS y también deben servir como extremos de poligonales para las observaciones con estación total en zonas sin cobertura GPS, normalmente en calles no muy anchas.</p> <p>También se pretende que haya visibilidad entre bases, con al menos 2 señales visibles entre sí para facilitar los trabajos de los usuarios con estación total.</p> <p>Desde la revisión de 2013, se trata de cubrir todo el concejo de Oviedo, rural y urbano.</p>
Precisiones mínimas	No hay un mínimo, se busca la máxima precisión especialmente en el orden superior.
Métodos determinados	<p><u>1º orden</u>: pocas bases e inaccesibles para evitar deterioros. Observación , mediante GNSS en modo estático con un mínimo de 3 receptores simultáneamente, colocados en vértices de referencia (IGN y/o RGPA) y vértices de la REDGEMO, con periodos mínimos de 45 minutos en cada vértice, en función de la configuración de la constelación de satélites y el GDOP obtenido.</p> <p><u>2º orden</u>: observación con GNSS en modo estático apoyada sobre el 3º orden, con tiempos de observación mínimos de 20 minutos, variables según GDOP y constelación.</p> <p><u>3º orden</u>: es el orden con mayor número de vértices. Apoyado en el 2º orden. Observación de dos tipos: observaciones aisladas mediante GNSS y tiempos de observación de 10-15 minutos o poligonales observadas con estación total, con inicio y final en vértices del 2º orden.</p>
Señales	<p>Condiciones que han de cumplir:</p> <p>Permanencia de las señales: se usan clavos que sobresalen mínimamente del nivel del suelo para no ser arrancadas con facilidad. Se colocan preferiblemente en bordillos, mediante taladro y se fijan con resinas de alta calidad.</p> <p>Se pretende no causar interferencias con los viandantes o el mobiliario urbano y evitar roturas del material urbano durante la colocación.</p>

--	--

Divulgación

¿Cómo se transmite la información a los usuarios?

Acceso libre a través de Google Earth: hay un archivo disponible en la web del ayuntamiento para su descarga e inserción en la aplicación. Se tiene así toda la distribución de señales de la red. Pinchando en cada una se obtiene la reseña, a través de un enlace, con los datos geográficos necesarios.

También es posible contactar con el personal del Ayuntamiento.

Plan de mantenimiento

Campañas de revisión	<p>No hay una campaña concreta de revisión de la red. Teniendo en cuenta la escasa desaparición de señales se prefiere realizar revisiones cada cierto tiempo, aunque no hay establecida una periodicidad determinada.</p> <p>La primera revisión se hizo a los 5 o 6 años de la instalación de la red.</p> <p>Prefieren realizar nuevas observaciones globales de toda la red, o gran parte de ella, cada cierto tiempo en lugar de completar o corregir la red con observaciones aisladas para mantener la consistencia de la red.</p>
Tipo de revisión	<p>Se comprueba y observa de nuevo el 1º orden.</p> <p>Las densificaciones se hacen con referencia al 1º orden.</p> <p>Los órdenes 2º y 3º no se observan de nuevo, se comprueban visualmente si necesario.</p>
Quien hace las revisiones	<p>Las revisiones y operaciones de mantenimiento se realizan a través de empresas externas.</p>
Ampliaciones de la red	<p>Nº de campañas de ampliación: 1</p> <p>Nº de vértices añadidos: 159 en zonas rurales principalmente</p>
Señales desaparecidas	<p>En 5 o 6 años se han perdido 20% de las señales, unas 10 señales por año.</p>

	<p>Las causas de desaparición más habituales son las obras de construcción en zonas urbanas donde se han alterado las aceras.</p> <p>¿Se reponen? No. Debido a la escasa desaparición de señales se prefiere esperar a la siguiente revisión y realizar una observación global.</p>
--	---

Posibles mejoras

¿Qué es mejorable y por qué?

La colocación en Oviedo de una antena de emisión GPS, como las que el Principado de Asturias pone a disposición de los usuarios. Los usuarios podrían conectarse a ella para realizar observaciones con GPS con un único receptor en el ámbito municipal.

Sería una manera más de facilitar a los usuarios el engancharse a la red de Oviedo.

Anotaciones

Costes de la revisión subcontratada: en torno a 24.000€ (año 2013).

Lo mismo que indican en Avilés, la RGPA (Red Geodésica del Principado de Asturias) no es de fiar pues no se está manteniendo por parte de la comunidad autónoma. Sí son fiables los apoyos sobre las redes ROI y REGENTE del IGN.

Preferible que la red no sea demasiado densa, en cuanto a número de señales, pues se hace muy cara y difícil de mantener.

Tienen problemas de coordinación con otros departamentos del Ayuntamiento que usan sus propios GIS y no se apoyan en la REDGEMO. También advierten sobre que algunos departamentos mantienen sus cartografías en ED50, lo que obliga a realizar transformaciones de nuevas cartografías a ese sistema.

Consideran que sería conveniente incluir en los planes urbanísticos la obligatoriedad de referenciar las nuevas cartografías a la REDGEMO.

ENCUESTA Nº3	
RED TOPOGRÁFICA DE NAVA	
Nombre encuestado	Tomás González Canellada
Cargo	Topógrafo del Ayuntamiento
Organismo	Ayuntamiento de Nava
Fecha	15-4-2014

Red Topográfica	
¿Hay red disponible?	Instalación en 2010
Grado de compleción	1ª fase: 32 señales (ETRS 89). Terminada No se contemplan ampliaciones por el momento.
Nº de señales de la red	32 señales
Órdenes o niveles de precisión	<u>1º orden</u> : consta de dos señales (RGN1 y RGN2) radiadas desde la estación de referencia situada en Mieres en sistema ETRS 89. Sirve de apoyo y referencia al 2º orden. Muy alta precisión. <u>2º orden</u> : 2º orden de precisión compuesto por 29 señales (PT1, PT2, ...), densifica el anterior en el casco urbano.
Señalización	Clavos de acero genéricos de tipo cabeza hemiesférica.
Datum utilizado	La nueva red se ha establecido en ETRS 89 También existen 3 bases de Catastro en ED-50 pero sin relación con la nueva red y que servían de apoyo previamente. Proyección UTM
Zonas cubiertas	Sólo cubre la zona urbana
Observación y cálculo	Los trabajos han sido realizados por alumnos de la Universidad de Oviedo en el marco de un trabajo de fin de carrera, con la ayuda y apoyo del Ayuntamiento de Nava.

Justificación	
Necesidades y motivos para la implantación de la red	<p>Destinada a proporcionar apoyo y referencia a cualquier usuario en las labores de campo y al personal del Ayuntamiento de Nava. Se trata de facilitar la tarea a los usuarios para que éstos hagan uso de la red y entreguen sus cartografías en el sistema de referencia municipal (ETRS 89). En especial permite obtener datos correctamente georreferenciados en los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - GIS del ayuntamiento - Cartografía nueva aportada por empresas y usuarios en la solicitud de licencias - Unificación y encaje de cartografías previas - Obras civiles y arquitectura de nueva ejecución - Planes y desarrollos urbanísticos, expansión de zonas urbanas existentes y creación de suelo urbano <p>Se prevé en el futuro la obligatoriedad de uso de la red topográfica. Se ha solicitado la inclusión de esta obligación en el nuevo plan urbanístico pendiente de aprobación.</p>
Promotor de la iniciativa	La iniciativa parte de la Universidad a partir de un proyecto de fin de carrera, con el apoyo del Ayuntamiento de Nava que ha aportado algunos medios y personal auxiliar para los trabajos de campo.
Colaboraciones	Colaboración entre el Ayuntamiento y la Universidad de Oviedo.
¿Instituciones son receptivas?	<p>No se había planteado previamente la instalación de una red topográfica en Nava. El Ayuntamiento no tenía previsto realizar ningún tipo de inversión en este sentido.</p> <p>Los trabajos anteriores a la instalación de la red se apoyaban en las estaciones de referencia de la RGPA para trabajos en tiempo real, pero se planteaban problemas por la lejanía de sus antenas respecto de Nava, pues no existen estaciones en la zona central de Asturias.</p>

PLANIMETRÍA. Observación	
Método de medición	Geodesia espacial GNSS
Precisiones	1,5 cm como máximo

Referencias	Red RGAPA: estación de referencia GPS situada en el Campus de Mieres en sistema ETRS 89.
Método de cálculo	Con software propio de los equipos utilizados. En general se usa la técnica de mínimos cuadrados

ALTIMETRÍA. Observación

Altimetría disponible	Las altitudes están referidas a la Red Altimétrica del IGN (nivel medio del mar en Alicante).
¿Señales separadas de la planimetría?	Las señales combinan las coordenadas planimétricas con las altimétricas. No existe una red altimétrica separada.
Referencias	IGN NAP. Se han tomado varias referencias puesto que las líneas de nivelación de alta precisión del IGN pasan por Nava.
Método de medición	Se ha transmitido altitud ortométrica a todos los vértices de la red mediante nivelación geométrica. En algunos casos de particular dificultad se ha utilizado nivelación trigonométrica.
Precisiones	En torno a 1-2cm como máximo.

Requisitos de la red

Disposición de las señales	Intervisibilidad: desde una señal han de ser visibles otras dos para facilitar los trabajos de los usuarios con estación total. Se intenta construir una red de triángulos lo más equiláteros posible. Se eligen posiciones para tener líneas base no superiores a 250 m, al objeto de disminuir los errores de observación. Se trata de cubrir todo el caso urbano, especialmente en zonas de reciente de expansión urbanística y con posibilidades de desarrollo en un futuro próximo.
Precisiones mínimas	No hay un mínimo, se busca la máxima precisión especialmente en el orden superior.
Métodos determinados	<u>1º orden</u> : sólo dos señales. Observación , mediante GNSS en modo estático con 2 receptores simultáneamente, colocados en vértices de la red y recibiendo información de la estación de referencia de Mieres. Observaciones muy largas de 2,5 horas, en función de la configuración de la constelación de

	<p>satélites y el GDOP obtenido.</p> <p><u>2º orden</u>: observación con GNSS en modo estático apoyada sobre los vértices del 1º orden, con tiempos de observación de 20 minutos a ½ hora, variables según GDOP y constelación.</p>
Señales	<p>Condiciones que han de cumplir:</p> <p>Permanencia de las señales: se usan clavos que sobresalen mínimamente del nivel del suelo para no ser arrancadas con facilidad. Se colocan preferiblemente en bordillos, mediante taladro y se fijan con resinas de alta calidad.</p> <p>En zonas de tierra se colocan bloques de hormigón con clavo en su centro.</p> <p>Se pretende evitar interferencias con los viandantes o el mobiliario urbano y evitar roturas del material urbano durante la colocación.</p>

Divulgación

¿Cómo se transmite la información a los usuarios?

Es posible contactar con el personal del Ayuntamiento de la sección de Topografía para obtener los datos de la red. También se puede consultar el proyecto en el Campus de Mieres.

Tienen previsto publicarlo en Google Earth en un futuro.

Plan de mantenimiento

Campañas de revisión	No se prevén campañas de revisión de la red por el momento.
Tipo de revisión	
Quien hace las revisiones	
Ampliaciones de la red	Se han añadido dos señales más en el marco de unas obras civiles en la zona de Ceceda. El trabajo ha sido realizado por personal de la empresa contratista.
Señales desaparecidas	

Posibles mejoras

¿Qué es mejorable y porqué?

ENCUESTA Nº4	
RED GEODÉSICA DE GIJÓN	
Nombre encuestado	<i>Agustín Lanero</i>
Cargo	<i>Jefe de Sección – Ingeniero en Geodesia y Cartografía</i>
Organismo	<i>Ayuntamiento de Gijón</i>
Fecha	<i>30-4-2014</i>

Red Topográfica	
¿Hay red disponible?	Se inició en 1991 y se terminó en 1994
Grado de compleción	Completa
Nº de señales de la red	En torno a 1200
Órdenes o niveles de precisión	Dos órdenes de precisión. El 1º orden se ha medido con GPS El 2º orden se obtuvo mediante poligonación. Todas las bases han sido niveladas individualmente.
Señalización	Clavos de acero inoxidable de cabeza hemiesférica para evitar interferencias a los usuarios. En zonas rurales se usaron señales de tipo hito-feno.
Datum utilizado	La red se observó y calculó en ED50. Se obtuvieron también las coordenadas transformadas a ETRS89 para adaptarse a la normativa. Proyección UTM
Zonas cubiertas	Cubre principalmente las zonas urbanas. Las zonas rurales están mínimamente con 25 hitos.
Observación y cálculo	Las observaciones fueron realizadas por una empresa externa de Sevilla subcontratada para ello, que desplegó un equipo de 16 personas repartidos en 3 equipos de Topografía. Los trabajos supusieron más de 6 meses de trabajo. Los cálculos y compensaciones fueron realizados por el IGN a petición de la empresa subcontratada.

Justificación	
Necesidades y motivos para la implantación de la red	<p>La red se implantó en el marco del proyecto de realización de cartografía digital. Surge de un convenio con Catastro que se comprometió a implantar parte de las señales de la red en el casco antiguo de la ciudad.</p> <p>Además, en la actualidad se exige a los usuarios apoyarse en la red del Ayuntamiento de Gijón para la obtención de licencias, trámites, obras y proyectos, aunque como no es todavía obligatorio, no siempre se consigue.</p> <p>El objeto principal es dar apoyo a la cartografía y al GIS del Ayuntamiento.</p>
Promotor de la iniciativa	Ayuntamiento a través del Departamento de Topografía
Colaboraciones	No hubo colaboraciones aunque el proyecto surge de un convenio con Catastro.
¿Instituciones son receptivas?	<p>El ayuntamiento ha financiado las operaciones relativas a la red geodésica a través de subcontratistas. Aunque el personal del ayuntamiento realice comprobaciones y mediciones puntuales, los trabajos a gran escala sobre la red se contrataron a una empresa externa.</p> <p>No se han realizado revisiones como tal, aunque sí se han hecho pequeñas densificaciones por parte de personal del ayuntamiento en función de las necesidades.</p>

PLANIMETRÍA. Observación	
Método de medición	<p>Geodesia espacial GPS en el 1º orden</p> <p>Métodos de Topografía clásica, poligonales con centrado forzoso para el 2º orden.</p>
Precisiones	En comprobaciones posteriores a la implantación de la red mediante estación total, se han encontrado diferencias de hasta 13 cm.
Referencias	Referencias utilizadas: IGN ROI (Red de Orden Inferior)
Método de cálculo	Cálculos realizados por el IGN con software propio. En general se usa la técnica de mínimos cuadrados.

ALTIMETRÍA. Observación	
Altimetría disponible	Todas las señales tienen altitud disponible.
¿Señales separadas de la planimetría?	Las señales combinan las coordenadas planimétricas con las altimétricas. No existe una red altimétrica separada.
Referencias	Altitudes referidas al Cero del Puerto de Gijón para ubicar correctamente el sistema de canalizaciones.
Método de medición	Se ha transmitido altitud ortométrica al 100% de los vértices de la red mediante nivelación geométrica.
Precisiones	Las altitudes tienen gran precisión (pocos centímetros) aunque la diferencia entre el Cero del Puerto y la referencia altimétrica del IGN (Alicante) es de 2,364 m. Es una diferencia normal debida a los diferentes mareógrafos utilizados y no influye en la precisión de la altimetría.

Requisitos de la red	
Disposición de las señales	Las señales han de adaptarse a la morfología urbana. Se pretende que haya visibilidad entre bases, con al menos 2 señales visibles desde cada base, para facilitar los trabajos con estación total.
Precisiones mínimas	No hay un mínimo, se busca la máxima precisión especialmente en el orden superior.
Métodos determinados	<u>1º orden</u> : observación, mediante técnicas GPS en modo estático. Se han usado dos equipos (4 receptores) simultáneamente, colocados en vértices de referencia del IGN. <u>2º orden</u> : observación mediante poligonación para densificar la red y acceder a zonas donde el GPS no puede.
Señales	Condiciones que han de cumplir: Permanencia de las señales: se usan clavos que sobresalen mínimamente del nivel del suelo para no ser arrancadas con facilidad. Se colocan preferiblemente en bordillos, mediante taladro y se fijan con resinas de alta calidad. Se pretende no causar interferencias con los viandantes o el mobiliario urbano y evitar roturas del material urbano durante la colocación.

Divulgación

¿Cómo se transmite la información a los usuarios?

La red es de acceso libre. No está publicada con lo que se debe contactar por correo electrónico o por teléfono con el personal del Ayuntamiento para obtener la información.

Plan de mantenimiento

Campañas de revisión	No se ha previsto realizar campaña de revisión de la red, aunque se han realizado algunas densificaciones por personal del ayuntamiento.
Tipo de revisión	
Quien hace las revisiones	Se pide a las contratatas la reposición de las bases destruidas aunque como no es obligatorio en los pliegos no se suele conseguir.
Ampliaciones de la red	
Señales desaparecidas	Se estima que se han perdido entre un 20 y un 30% de las señales instaladas, siendo las causas de desaparición más habituales las obras civiles de construcción en zonas urbanas donde se han alterado las aceras. No se han repuesto ni se tiene previsto en un futuro próximo.

Posibles mejoras

¿Qué es mejorable y porqué?

Realizar una revisión completa de la red.

Anotaciones

Costes de los trabajos de cartografía en 1991: 103 millones de pesetas – 600.000 € aprox.

ENCUESTA Nº5	
RED GEODÉSICA DE SIERO	
Nombre encuestado	<i>Luís Miguel Pérez</i>
Cargo	<i>Ingeniero Técnico en Topografía – Urbanismo</i>
Organismo	<i>Ayuntamiento de Siero</i>
Fecha	<i>6-5-2014</i>

Red Topográfica	
¿Hay red disponible?	La primera red se inició en 1994 basándose en las señales del Catastro colocadas en el Concejo. Se está haciendo una nueva red en estos momentos.
Grado de compleción	En proceso de ejecución
Nº de señales de la red	Colocadas más de 70 señales.
Órdenes o niveles de precisión	Previstos 2 órdenes de precisión. <u>Red principal</u> : se está desarrollando el orden principal o 1º orden en estos momentos. <u>Red secundaria</u> : está previsto desarrollar un segundo orden densificación del principal con apoyo sobre las señales de la antigua red de 1994.
Señalización	Se utilizan clavos de cabeza hemiesférica colocados mediante de diseño similar a los usados en otros ayuntamientos.
Datum utilizado	ED-50 para la red antigua (obsoleta) ETRS89 para la red en fase de creación. Proyección UTM
Zonas cubiertas	Se cubren las zonas urbanas, no hay previsto disponer señales en zonas rurales, se usaría el apoyo sobre las bases de la zona urbana.
Observación y cálculo	Se usan solamente medios propios del ayuntamiento, con alquiler de equipos GPS cuando es necesario.

Justificación	
<p>Necesidades y motivos para la implantación de la red</p>	<p>El motivo principal es conseguir unificar todas las cartografías que se entregan al ayuntamiento en el mismo sistema utilizado por éste, ETRS89 y proyección UTM. Aunque no es obligatorio en el Ayuntamiento, el departamento de Urbanismo no acepta cartografías que se hayan obtenido en otro sistema. Esta “obligatoriedad” afecta a los siguientes campos de actuación:</p> <p>Cartografía nueva y homogeneización de cartografías Obras nuevas Planes, desarrollos y expansión urbanísticos Creación de suelo urbano</p> <p>También implantan nuevas señales en zonas donde no existan para facilitar el apoyo sobre el sistema del Ayuntamiento a los usuarios que lo necesiten, y que éstos entreguen sus trabajos en el sistema del municipal.</p> <p>Muchos elementos urbanos, en especial los servicios municipales de suministro, no están bien cartografiados, se han observado errores muy importantes. Esto se debe a que la cartografía disponible es muy antigua (1991) y está basada en datos del Catastro que son muy aproximados y carecen a menudo de exactitud. Con la nueva red geodésica del municipio, se trata de dar un soporte más exacto a la cartografía futura y corregir la existente si es posible.</p>
<p>Promotor de la iniciativa</p>	<p>Los topógrafos del Ayuntamiento. Surge de un proyecto de fin de carrera de la Escuela de Topografía de Mieres, que colocó una serie de bases de forma independiente. El Ayuntamiento solicitó esa información a los alumnos, y sobre esa base iniciaron la implantación de la red a gran escala.</p>
<p>Colaboraciones</p>	<p>No existen colaboraciones con elementos externos al Ayuntamiento. La red se obtiene por medios personales y recursos propios. Se alquilan equipos cuando es preciso.</p>
<p>¿Instituciones son receptivas?</p>	<p>El Ayuntamiento no tiene previsto financiar adicionalmente ningún tipo de subcontratación para la implantación de la red, pero no hay inconveniente a que se realicen los trabajos con medios propios y el presupuesto contemplado para gastos.</p>

PLANIMETRÍA. Observación	
Método de medición	Se prefiere la Geodesia Espacial (GNSS) para la observación de las señales dispuestas en el municipio. En casos concretos, como obstrucción de señal de los satélites, se recurre a métodos clásicos de poligonación.
Precisiones	Entre 3 y 5 cm.
Referencias	Se usan prioritariamente las señales de la Red GNSS Activa del Principado de Asturias (RGAPA) para apoyar la Red de Siero en el sistema ETRS89.
Método de cálculo	No se realiza post-proceso. Según los tanteos realizados con métodos de medición cinemáticos en tiempo real (RTK Real Time Kinematic), se obtienen las precisiones requeridas con este tipo de mediciones.

ALTIMETRÍA. Observación	
Altimetría disponible	SI
¿Señales separadas de la planimetría?	NO
Referencias	IGN NAP a través de la línea de nivelación que pasa por Pola de Siero. Los instrumentos GNSS utilizados disponen de modelos de Geoide previamente calculados y cargados que permiten obtener precisiones aceptables, como se ha podido comprobar en los tanteos iniciales.
Método de medición	GPS con modelo de geoide
Precisiones	2-3 cm

Requisitos de la red	
Disposición de las señales	<p>Debido al pequeño número de bases disponibles hasta el momento, la intervisibilidad entre bases no es un requisito fundamental en esta fase. En la red secundaria puede ser un requisito, pero no en la red principal.</p> <p>Pretenden cubrir solamente zonas urbanas y otras consideradas de importancia para el municipio donde se prevea crecimiento urbanístico, como polígonos industriales. En estos lugares se colocan, o se prevé colocar, al menos 2 o 3 señales en cada una.</p> <p>No se cubren zonas rurales por el momento, ni se tiene previsto. Se prevé apoyar los trabajos cartográficos de zonas rurales sobre las señales disponibles en el medio urbano. Piensan aprovechar las señales de la antigua red de 1994</p>
Precisiones mínimas	Se buscan precisiones inferiores a 5 cm en planimetría.
Métodos determinados	Se trabaja con receptores GNSS en tiempo real, que permiten alcanzar las precisiones requeridas con los pocos medios disponibles. Las observaciones se realizan apoyándose sobre las antenas RGAPA (Red GNSS Activa del Principado de Asturias). Con pocas observaciones se obtienen precisiones centimétricas en tiempo real.
Señales	<p>Se colocan en lugares despejados donde se puede realizar observaciones GNSS claras y sin interferencias con los elementos del entorno.</p> <p>De forma semejante a otros municipios, se pretende tener permanencia de las señales, para lo que se usan clavos que sobresalgan mínimamente del nivel del suelo para no ser arrancadas con facilidad. Se fijan al suelo mediante taladro y con resinas de alta calidad. Con el taladro se trata de evitar roturas del material urbano durante la colocación.</p> <p>Se prefiere evitar las interferencias con otros usuarios o con el mobiliario urbano.</p>

Divulgación

¿Cómo se transmite la información a los usuarios?

La red es libre pero se ha de contactar con el personal del Ayuntamiento para tener acceso a los datos.

Se tiene previsto su publicación a través de Google Earth cuando se puede llevar a la práctica la colaboración con los técnicos informáticos del consistorio.

Plan de mantenimiento

Campañas de revisión	No se hacen
Tipo de revisión	No se hacen
Quien hace las revisiones	No se hacen
Ampliaciones de la red	La campaña actual se podría considerar como una ampliación o renovación de la red de 1994, pero en realidad es independiente. La nueva red se establece en ETRS89, la antigua lo estaba en ED50, y la red principal está constituida por nuevas señales que no tiene que ver con la red antigua. Adicionalmente, se piensa en aprovechar las señales de la red antigua para la red secundaria, que se apoyará sobre la principal.
Señales desaparecidas	No se ha tenido en cuenta en la antigua red.

Posibles mejoras

¿Qué es mejorable y porqué?

Convendría disponer de un servicio de cartografía municipal, que asumiría estas tareas y coordinaría las diferentes secciones del Ayuntamiento en cuanto a georreferenciación cartográfica, aunque no hay voluntad política para ello.

Anotaciones

Propone que los proyectos de finalización de obra contemplen una partida para el establecimiento de bases en el sistema municipal y que las obras ejecutadas se referencien correctamente a ese sistema para su incorporación a la cartografía del municipio.

Se ha intentado pero desde otros organismos municipales no se le da importancia y se dedican esas partidas a otras necesidades.

Creen que los problemas de georreferenciación de las cartografías se podrían resolver mediante la inclusión de normativas en los planes urbanísticos o en ordenanzas municipales que obliguen al uso de la red geodésica municipal.

8.2. Tablas de análisis DAFO

A continuación se presentan las tablas de análisis DAFO de cada localidad estudiada.

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL - DAFO Red Topográfica Local de Avilés (RTLA)	
Análisis interno	Análisis externo
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muchas señales y alta densidad: difícil y laborioso de controlar - Inexistencia de plan de mantenimiento oficial aunque se hacen revisiones visuales y nuevas observaciones. El mantenimiento se hace por la voluntad de los gestores pero no hay protocolos establecidos - Cambios en el personal de gestión podrían implicar un empeoramiento del mantenimiento porque no se ha establecido un plan a seguir. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muchas señales y alta densidad. Si la red sigue creciendo se pueden producir abandonos parciales o dificultades de financiación para el control. El coste de un mantenimiento total puede no ser justificable en la corporación municipal - Podría ser útil disponer de una página web con información detallada e histórica sobre la red.
<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muchas señales y alta densidad: red muy completa con muy buena cobertura - Cubre tanto zonas rurales como urbanas - Máxima precisión y buena distribución de órdenes de precisión - Enlazada a la red geodésica nacional y regional, tanto planimétrica como altimétrica - Muy controlada a nivel personal por parte de los gestores (también puede ser una debilidad) - Hay intervisibilidad entre señales: compatible con todo tipo de instrumentos y métodos - Acceso libre con Google Earth. - Señalización adecuada al entorno con garantías de permanencia sin alteraciones. 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pensada desde el principio como red de libre acceso. Métodos de divulgación eficientes - Facilidad de uso por los usuarios ajenos a la red - Exigen a los usuarios apoyo sobre la red - Posibilidad real para homogeneizar toda la cartografía municipal - Enlazada a los municipios limítrofes. Posibilidad de enlazar con redes locales vecinas

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL - DAFO Red Geodésica Municipal de Oviedo (REDGEMO)	
Análisis interno	Análisis externo
Debilidades <ul style="list-style-type: none"> - Inexistencia de plan de mantenimiento oficial programado aunque se hacen revisiones cada cierto tiempo. 1ª revisión +ampliación a los 5 años - Cambios en el personal de gestión podrían implicar un empeoramiento del mantenimiento porque no se ha establecido un plan a seguir. 	Amenazas <ul style="list-style-type: none"> - El Ayuntamiento no obliga oficialmente al uso de la red por parte de los usuarios. Algunos departamentos ignoran la red y trabajan en su propio sistema. - Mucha cartografía municipal no se ha actualizado a ETRS89 todavía. - La página web es un poco escueta, podría contener información más precisa
Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> - Red con nº de señales moderado y densidad baja. Buena cobertura del municipio - Cubre tanto zonas rurales como urbanas - Máxima precisión y buena distribución de órdenes de precisión coherente con los métodos utilizados - Enlazada a la red geodésica nacional y regional, tanto planimétrica como altimétrica. - Señalización adecuada al entorno con garantías de permanencia y sin alteraciones - Hay intervisibilidad entre señales: compatible con todo tipo de instrumentos y métodos - Acceso libre a través de Google Earth. Única red que dispone también de página web informativa. 	Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> - Pensada desde el principio como red de libre acceso. Métodos de divulgación eficientes - Facilidad de uso por los usuarios ajenos a la red - Exigen a los usuarios apoyo sobre la red, pero no hay legislación al respecto - Posibilidad real para homogeneizar toda la cartografía municipal con apoyo sobre la REDGEMO. - Como la red no es muy grande, sería sencillo establecer un plan de mantenimiento.

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL - DAFO Red Geodésica del Ayuntamiento de Nava	
Análisis interno	Análisis externo
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - La red es de reciente creación: pocas señales y densidad muy baja. - Sólo cubre el casco urbano de Nava y zonas de desarrollo previsto, no cubre zonas rurales de momento. - No existe un plan de mantenimiento oficial ni está previsto. El mantenimiento se hace por la voluntad del gestor de la red pero no hay protocolos establecidos - Cambios en el personal de gestión podrían implicar una pérdida de información sobre la implantación de la red. - El 1º orden sólo cuenta con dos señales que han dado apoyo a las de 2º orden. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Red pequeña sin cobertura en zonas rurales. Riesgo de que los usuarios no la utilicen en determinadas zonas. - Podría ser útil disponer de una página web para divulgar la información sobre la red aunque se tiene previsto facilitar el acceso próximamente. - Debería densificarse el primer orden, que sólo consta de dos bases. Si esas bases desaparecieran, se produciría una pérdida de precisión. - Muy pocos recursos municipales para futuras ampliaciones o planes de mantenimiento.
<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Máxima precisión en el 1º orden y distribución de órdenes de precisión - Enlazada a la red geodésica nacional y regional, tanto planimétricamente (ETRS89) como altimétricamente (REDNAP) - Muy controlada a nivel personal por parte de los gestores por su pequeño tamaño - Hay intervisibilidad entre señales: compatible con todo tipo de instrumentos y métodos - Señalización adecuada al medio urbano cubierto con garantías de permanencia y sin alteraciones. - Acceso libre contactando el personal de Ayuntamiento. Tienen previsto facilitar el acceso con Google Earth en el futuro. - Se añaden señales si es necesario. 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseñada desde el principio como red de libre acceso y libre uso. - Procuran facilitar información sobre la red para que los usuarios apoyen sus trabajos sobre ella. Dan apoyo personalizado si necesario. - Posibilidad real para homogeneizar toda su cartografía municipal. - Posibilita el desarrollo municipal, ayudando a actualizar las cartografías municipales en un único sistema enlazado al ETRS89.

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL - DAFO Red Geodésica del Ayuntamiento de Gijón	
Análisis interno	Análisis externo
Debilidades <ul style="list-style-type: none"> - Red con muchas señales (1200) y buena densidad: imposibilidad de control sobre la red por la falta de recursos. - Inexistencia de plan de mantenimiento oficial. No se realiza ningún tipo de mantenimiento. - La red es antigua (1991) y referida al sistema ED50. Posterior cálculo de coordenadas sobre el sistema ETRS89 pero sin nuevas observaciones. No se beneficia de la exactitud de ETRS89. - Precisión planimétrica muy mejorable, en torno a 13cm (ED50 con precisiones del orden de 20 a 30 cm) - No se pensó como red de libre acceso, sino para dar apoyo a los levantamientos cartográficos de principios de los años 90. 	Amenazas <ul style="list-style-type: none"> - Muchas señales y alta densidad. La red está prácticamente abandonada desde su creación en 1991, no se ha hecho ningún control ni ampliación. - Se estima una pérdida de entre el 20 y 30% de las señales. Necesita una revisión urgente con nuevas observaciones de todas las señales sobre el sistema ETRS89 para mejorar la precisión actual. - No existen medios de divulgación automáticos. - La red no es confiable sin comprobaciones previas; muchas señales están desaparecidas y no hay conocimiento exacto del estado de las demás. Algunos trabajos requieren apoyo sobre las redes nacionales o regionales, especialmente los de alta precisión.
Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> - Muchas señales y buena densidad: red muy completa con buena cobertura en todo el municipio. - Cobertura urbana principalmente, poca cobertura rural; hay que tener en cuenta que el municipio es fundamentalmente urbano. - Hay intervisibilidad entre señales: compatible con todo tipo de instrumentos y métodos. - Precisión altimétrica muy buena. - Señalización adecuada al entorno con garantías de permanencia y sin alteraciones. - Inicialmente planteada para adaptarse a la morfología urbana. 	Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> - Enorme infraestructura disponible. Podría utilizarse total o parcialmente para realizar una nueva red con mayores garantías y apoyada sobre el ETRS89. - La existencia de numerosas señales da cierta facilidad de uso por parte de los usuarios ajenos a la red. - El objetivo de homogeneización de la cartografía se ha conseguido. Aunque faltaría actualizar y adaptar la red y la cartografía municipal al ETRS89 de nueva adopción. - Red de libre

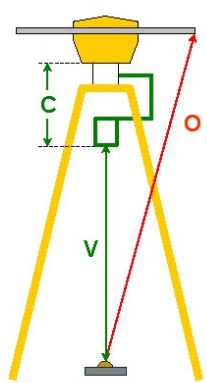
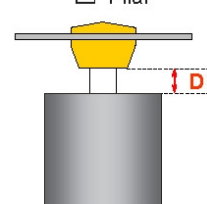
DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL - DAFO Red Geodésica del Ayuntamiento de Siero	
Análisis interno	Análisis externo
Debilidades <ul style="list-style-type: none"> - La red está en fase de creación: tiene pocas señales de momento y su densidad es muy baja. - Sólo cubre las zonas urbanas del municipio de Siero. No se tiene previsto cubrir zonas rurales. - No se dispone de un plan de mantenimiento oficial ni está previsto en el futuro. El mantenimiento se hará por la voluntad de los gestores de la red pero no hay previsto establecer protocolos. - Cambios en el personal de gestión podrían implicar una pérdida de información sobre la implantación de la red. - Sólo utilizan un método de observación: GNSS en tiempo real, con apoyo a la Red activa del Principado de Asturias, con precisiones entre 3 y 5 cm. Suficiente para la mayoría de los trabajos, insuficiente para trabajos de alta precisión. 	Amenazas <ul style="list-style-type: none"> - Red pequeña sin cobertura en zonas rurales. Riesgo de que los usuarios no la utilicen en determinadas zonas alejadas de los núcleos urbanos. - Podría ser útil disponer de una página web para divulgar la información sobre la red aunque se tiene previsto facilitar el acceso próximamente con GoogleEarth. - Muy pocos recursos municipales para futuras ampliaciones o planes de mantenimiento.
Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> - La altimetría se consigue con modelos de geoide (2-3 cm). Método rápido y cómodo. Posibilidad de comprobación sobre las líneas de nivelación del IGN que pasan por Siero. - Enlazada a la red geodésica nacional y regional, tanto planimétricamente (ETRS89) como altimétricamente (REDNAP) - Hay intervisibilidad entre señales: compatible con todo tipo de instrumentos y métodos - Señalización adecuada las zonas urbanas cubiertas con garantías de permanencia y sin alteraciones notables previstas. - Acceso libre contactando el personal de Ayuntamiento. Tienen previsto facilitar el acceso con Google Earth más adelante. - Se añaden señales si es necesario para los usuarios. 	Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> - Sencillez: el método utilizado, aunque no es el más preciso, es rápido y efectivo y permite establecer una red con un único orden de precisión. - Diseñada desde el principio como red de libre acceso y libre uso. - Procuran facilitar información sobre la red para que los usuarios apoyen sus trabajos sobre ella. Dan apoyo personalizado si necesario. - Tienen muchos problemas de encaje de cartografías, con lo que supondrá una posibilidad real para homogeneizar toda su cartografía municipal, aunque no hay voluntad por parte de los demás departamentos. - Homogeneización de cartografía: proponen la normalización de las actuaciones relacionadas con la red geodésica para implicar a otros departamentos y usuarios.

8.3. Ejemplos de hojas de campo

Las hojas de campo que se muestran a continuación son adaptaciones de las hojas publicadas en “*Instructions relatives à l’établissement de réseaux géodésiques*” publicadas por el *Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune* de Québec, Canadá (2012).

OBSERVACIONES GPS Hoja de campo

Proyecto n° : _____		Receptor : _____		
Nombre del proyecto : _____		Marca	Modelo	N° serie
Día GPS / N° sesión : _____ / _____		Antena : _____		
Nombre del fichero : _____		Marca	Modelo	N° serie
Operador: _____		Inicio : ____:____ Fin : ____:____ (hora local)		
Duración medida (sec.) : <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 15 Otro: ____		Fecha : _____ - _____ - _____		
Ángulo de máscara : _____		Año	Mes	Día
		Condiciones atmosféricas : _____		
		T : _____°C	P : _____hPa	Humedad : _____%

<input type="checkbox"/> Trípode 	Altura de antena <input type="checkbox"/> Medida oblicua (O) <input type="checkbox"/> Medida vertical (V) $h_1 =$ _____ m $h_2 =$ _____ m $h_3 =$ _____ m $h_{media} =$ _____ m Antena con constante Constante (C) = _____ m Altura total = _____ m	<input type="checkbox"/> Pilar  $D =$ _____ m $V =$ _____ m Altura total = _____ m
---	--	---

Hora	Comentarios
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____
____ h	_____

Figura 16. Hoja de campo. Observación GPS

8.4. Ejemplos de reseñas



Reseña Vértice Geodésico 21-dic-2013

Número.....: 2893
Nombre.....: Paisano
Municipios: Oviedo
Provincias: Asturias
Fecha de Construcción.....: 07 de junio de 1984
Pilar con centrado forzado..: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 2,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 2,00 m de alto.

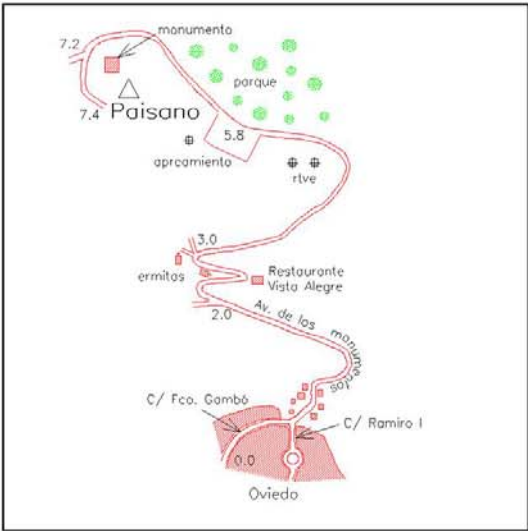
Coordenadas Geográficas:		
Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 5° 51' 43,9797"	- 5° 51' 49,11650"
Latitud.....:	43° 23' 09,2848"	43° 23' 05,34575"
Alt. Elipsoidal...:		691,321 m (CF)
Compensación..:	01 de febrero de 1988	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 30 :		
Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	268154,54 m	268045,461 m
Y.....:	4807737,79 m	4807532,986 m
Factor escala....:	1,000261202	1,000261875
Convergencia....:	- 1° 58' 01"	- 1° 58' 04"
Altitud sobre el nivel medio del mar:	636,297 m. (BP)	

Situación:
 Situado en lo más alto de la sierra del Naranco, al N. de Oviedo, y junto a la escalinata de acceso al Monumento al Sagrado Corazón de Jesús.

Acceso:
 Desde Oviedo, saliendo por la calle de Francisco Gambó y la Av. de los Monumentos, recorreremos 2.0 km. y tomamos a la derecha, pasando por el restaurante Vista Alegre y dos Ermitas a los 3 Km. tomando a la derecha hasta unas antenas de TV y un aparcamiento; bajamos hacia un parque, y sin dejar la carretera llegamos al monumento a los 7.2 Km. recorriendo otros 200m por un camino hasta la señal. Accesible con turismo en cualquier época.

Horizonte GPS:
 Despejado



Observaciones:
REGENTE.
 Colocado el centrado en la campaña de Regente del 2000
 Vértice observado con GPS.

Estado: 29 de agosto de 2011
Pilar: Bueno **Base:** Bueno
 Informe del estado del Vértice: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf)

CF: Centrado Forzado, CP: Cabeza Pilar, BP: Base Pilar, CN: Clavo Nivelado, CS: Clavo Suelo.

Figura 18. Ejemplo de reseña del IGN. 1ª hoja



Cartografía de situación 21-dic-2013

Escala 1:25.000

02893 Paisano

Coordenadas ETRS89. Huso 30

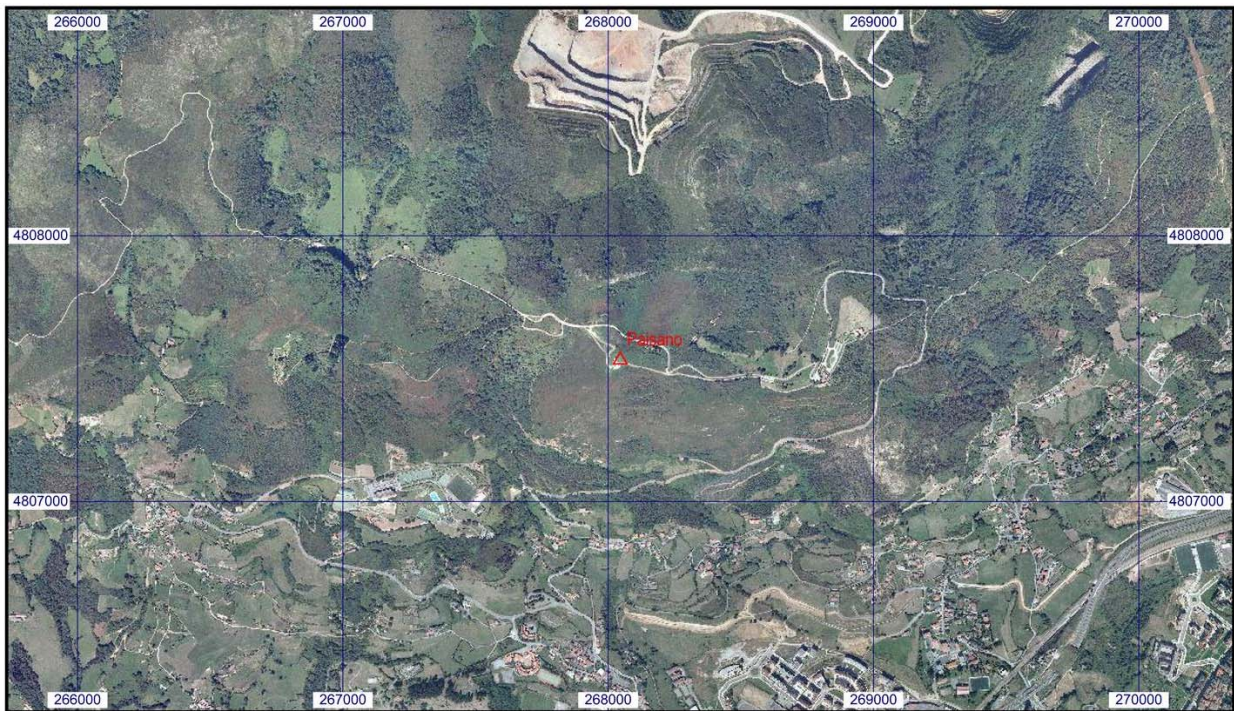
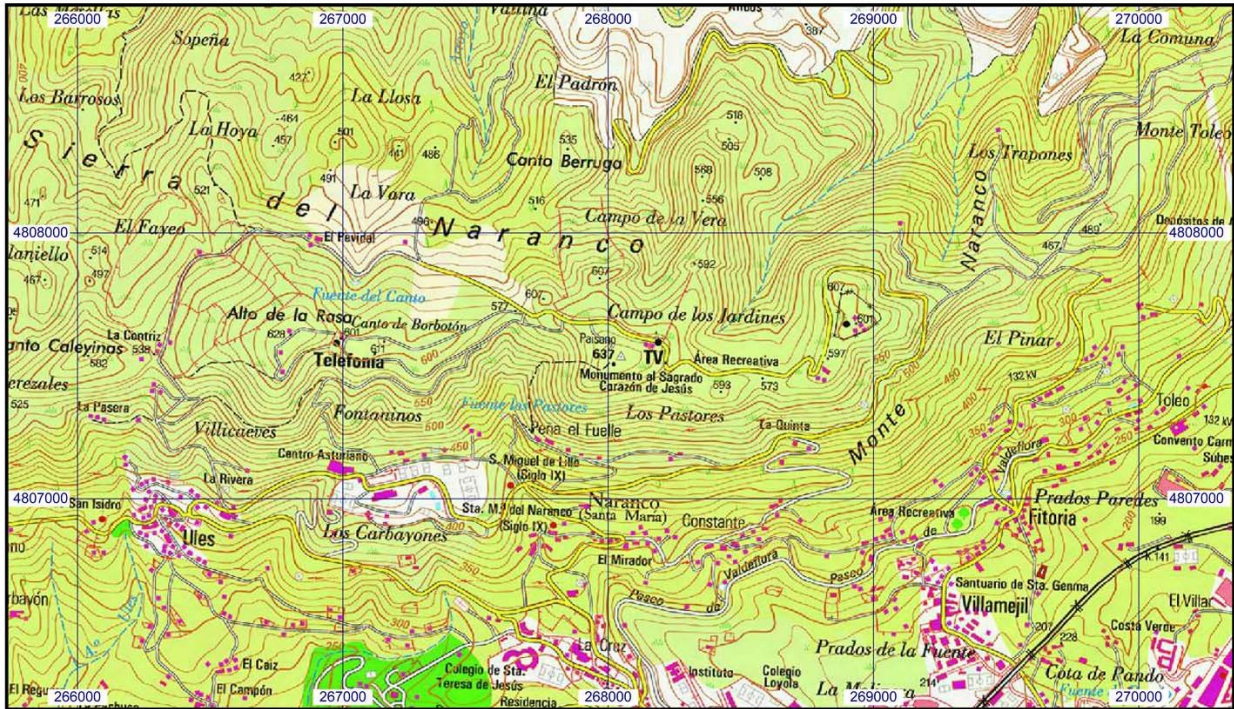


Figura 19. Ejemplo de reseña del IGN. 2ª hoja






 INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA MUNICIPAL DE OVIEDO		Cálculo-Febrero del 2008		
BASE: 000172		Tipo de señal: CLAVO DE LATÓN.		
Descripción: Situada en el bordillo de la acera de la calle de Nava, esquina con la calle Cabranes.				
Orientación con: 00.5023-000182-005073				
	 <p style="text-align: center;">CROQUIS DE SITUACIÓN</p>		 <p style="text-align: center;">DETALLE</p>	
ED-50	COORDENADAS UTM (Huso N° 30): $X = 268428.167$ $Y = 4804045.397$ $H = 240.1934$ (Nivel) $k = 1.00026067$		ETRS 89	COORDENADAS UTM (Huso N° 30): $X = 268319.014$ $Y = 4803840.624$ $H = 240.1934$ (Nivel)
	Datos calculados en coordenadas U.T.M. a partir del ajuste realizado sobre los Vértices Geodésicos: Paisano, Picu Lloi, Grandota, Gortayu y Arnea.			COORDENADAS GEOCÉNTRICAS: $X_{ECEF} = 4621167.790$ $Y_{ECEF} = -474185.630$ $Z_{ECEF} = 4356197.273$
Información adicional: Observación de la Red realizada mediante técnicas gps con ocho receptores en observación simultánea, Ajuste de la Red realizados con las aplicaciones LGO y AJUSTEPOL.				

Figura 20. Ejemplo de reseña de la REDGEMO de Oviedo

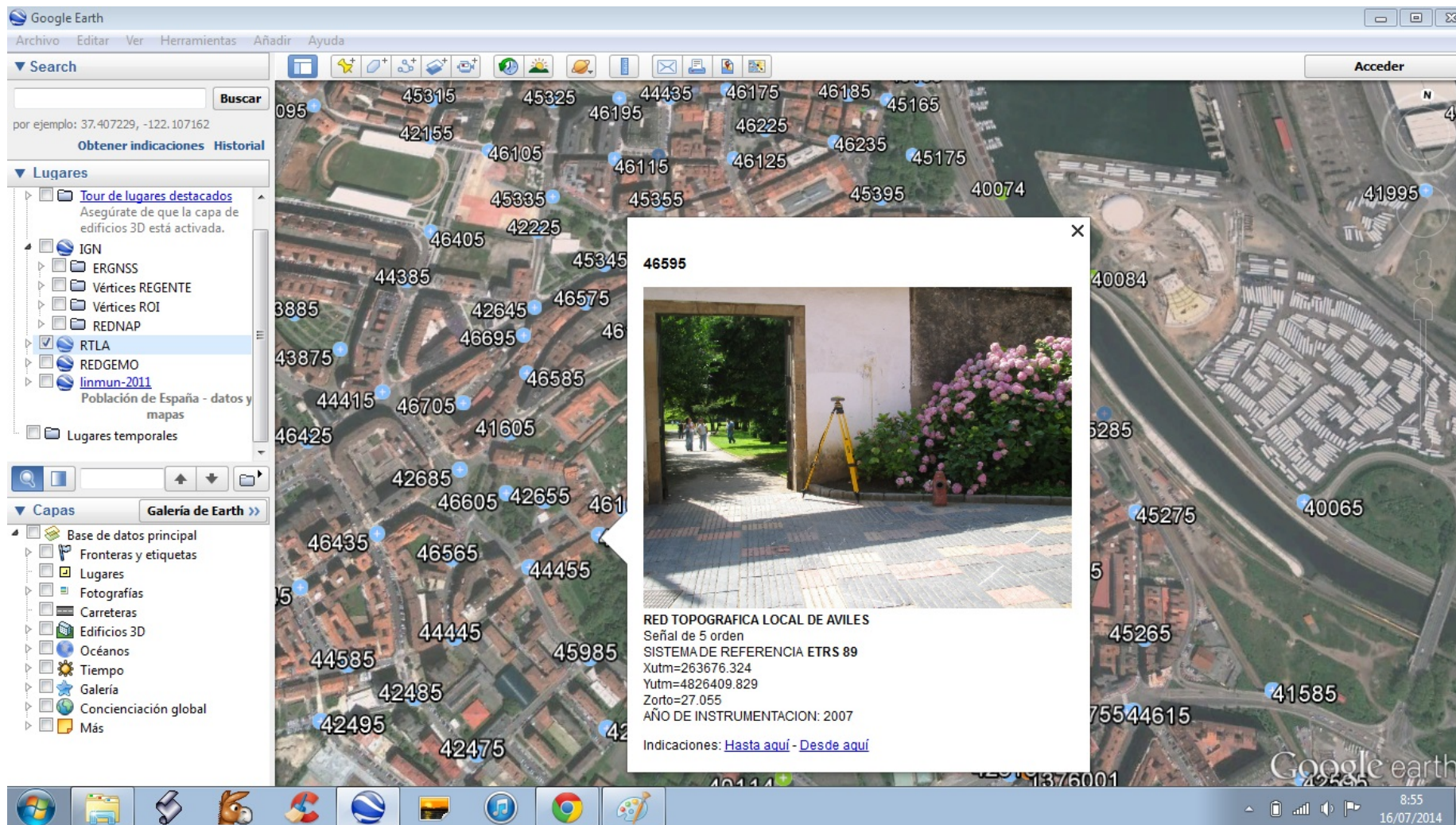


Figura 21. Captura de pantalla con una reseña de la RTLA de Avilés