

# RED DE NIVELACIÓN EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EXTREMADURA: NECESIDAD DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN

Pacomio Peña, M<sup>a</sup> del Mar (1), Atkinson Gordo, Alan D.J.(2); Gil Cruz, Antonio J.(3)

<sup>(1)</sup>Titulado en I.G.C. por la Universidad de Jaén, España  
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
Correo: [atkinson@unex.es](mailto:atkinson@unex.es)

<sup>(2)</sup>Universidad de Extremadura, España  
Dpto. de Expresión Gráfica, Área de I.C.G. y F.  
Correo: [atkinson@unex.es](mailto:atkinson@unex.es)

<sup>(3)</sup>Universidad de Jaén, España  
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
Correo: [ajgil@ujaen.es](mailto:ajgil@ujaen.es)

## RESUMEN

En esta ponencia mostramos la importancia de uno de los aspectos históricamente más olvidados en los trabajos cartográficos: las redes de nivelación de alta precisión. Éstas han cobrado gran relevancia en los últimos años ante las nuevas necesidades que genera nuestra sociedad: cartografía de diferentes organismos sobre grandes extensiones a escala 1/5.000, cascos urbanos (1/500 y 1/1.000), obras de ingeniería (1/1.000), Sistemas de Información Geográfica y un largo etcétera. La calidad altimétrica de los trabajos, quedará condicionada por la fiabilidad de las redes básicas sobre las que se sustente.

Dado el gran estado de deterioro en el que se encuentra la actual red de nivelación en la comunidad extremeña, es de vital importancia la realización de un estudio de actualización en base a las necesidades actuales y futuras de los profesionales de la cartografía.

Las precisiones requeridas en este tipo de trabajos se podrán alcanzar realizando nivelación geométrica y gravimetría, así como por técnicas G.P.S. El estudio analiza ambas metodologías aplicadas sobre la propuesta de una red actualizada, junto a una estimación presupuestaria para su creación.

**Palabras clave:** Nivelación, Gravimetría, G.P.S., Cartografía.

## 1 Introducción

Es de destacar la gran importancia de las redes de nivelación fundamentales de ámbito nacional, entre otros aspectos, por el carácter homogeneizador de éstas en todo tipo de trabajo topográfico y cartográfico. Debido a los grandes avances tecnológicos que se han desarrollado durante las últimas décadas, las labores encaminadas a la producción de cartografía han aumentado considerablemente de forma paralela a su desarrollo. Este aspecto lo podemos apreciar claramente tanto en las zonas urbanas, remodelación y ampliación de vías de comunicación, políticas de desarrollo a diferente nivel (regional, autonómico, nacional e europeo), y un largo etcétera.

Desgraciadamente, todo este tipo de operaciones cartográficas no es realizado siempre por personal debidamente cualificado, lo que a veces conlleva una serie de incorrecciones e inexactitudes que debieran evitarse en la medida de lo posible. Así, nos podemos encontrar con que la representación de un mismo territorio es diferente en

función de quién la haya realizado o, por ejemplo, que al intentar solapar una población con la que se encuentra junto a ella, no coincidan los datos. Para evitar todo este tipo de incidencias, es de vital importancia la implementación de Sistemas de Calidad a la hora de realizar labores de producción cartográfica.

Uno de los aspectos a tener en cuenta, es la necesidad de representar la cartografía sobre un mismo sistema de referencia (p.e. en España el ED-50). La materialización del mismo sobre el terreno se realiza, entre otros, por el Instituto Geográfico Nacional mediante diferentes redes de distinto orden (Red Geodésica de 1<sup>er</sup> Orden y Red de Orden Inferior) en lo que se refiere a planimetría, y mediante las redes de Nivelación de Precisión y de Alta Precisión en lo que se refiere a la componente altimétrica de los datos.

## **2 Antecedentes**

Con esta perspectiva de homogeneizar los trabajos cartográficos, a finales del siglo XIX comenzó la realización de las primeras redes de nivelación. La nivelación de precisión en España ha pasado por varias fases: Red de Nivelación de Precisión y de Alta Precisión [1].

### **2.1 Red de Nivelación de Precisión (N.P.)**

Como resultado de las conclusiones adoptadas en la reunión de Berlín, por la Asociación Internacional de Geodesia (A.I.G.), en el año 1867, se iniciaron en todos los países pertenecientes a esta Asociación los trabajos de nivelación de precisión, con el fin de dar altitud ortométrica a una serie de puntos debidamente señalizados y distribuidos por todo el territorio de cada país. Los primeros trabajos conducentes a establecer en España una red de nivelación, se iniciaron en el año 1870 con la instalación, en el puerto de Alicante, de una escala de mareas con el fin de determinar el nivel medio del mar en dicho punto. En años sucesivos se instalaron diferentes mareógrafos en Alicante, Santander y Cádiz, enlazándolos mediante distintas líneas de nivelación (una de las cuales pasaba por Madridejos para dotar de altimetría de precisión a los extremos de la Base fundamental de la triangulación). A partir de ocho líneas principales, se realizaron nuevas de carácter radial y transversal, que dotaron de altimetría a las capitales de provincia de la península y a cierto número de vértices geodésicos.

La señalización se realizó mediante dos tipos de señales: Principales y Secundarias. Las primeras estaban constituidas por piezas cilíndricas de bronce, distanciadas un promedio de 25 km y ubicadas en edificios significativos y estables, tales como Iglesias, Ayuntamientos, Estaciones de ferrocarril, etc. Las Secundarias estaban materializadas con clavos de bronce empotrados en roca, cuadrados grabados o pintados sobre roca, distanciadas 1 km aproximadamente.

La nivelación se llevó a cabo con diverso instrumental, dado el largo período transcurrido hasta su finalización en 1922, adoptándose como máximo error admisible entre las nivelaciones sencillas constitutivas de una doble el valor 7 mm. En 1925, se publicó el “Catálogo de altitudes de las señales metálicas de la red”, que, finalmente, quedó constituida por 92 líneas con 16.611 km y 18.025 señales, todas ellas dotadas de cota geométrica simplemente calculada y sin corregir ni compensar.

### **2.2 Red de Nivelación de Alta Precisión (N.A.P.)**

En la XVII Conferencia de la Asociación Internacional de Geodesia, celebrada en Hamburgo en el año 1912, se fijaron límites a los errores admisibles en los trabajos de nivelación, acordándose clasificar en categoría de nivelación de alta precisión toda línea

o red de líneas niveladas dos veces en sentidos opuestos, en fechas distintas y cuyo error accidental por kilómetro fuese igual o inferior a  $1,5 \text{ mm} \cdot \sqrt{K}$ .

La red N.A.P. española fue proyectada en 1925 y está constituida por 24 polígonos interiores y 11 polígonos fronterizos (6 con Portugal y 5 con Francia) con un desarrollo total de 11.256 km. Al igual que la N.P., fue materializada con señales: Principales (clavos de dural de 11 cm de longitud terminados en un casquete esférico donde aparecen grabadas las siglas N.A.P. o N.G. y, a continuación, una letra mayúscula seguida de un número de tres cifras) y Secundarias (clavos metálicos de 7 cm. de longitud rematados con una cabeza esférica sin codificación). Cada línea de nivelación es recorrida con un gravímetro que se estaciona en las señales indicativas de los tramos a fin de obtener cotas geopotenciales y, posteriormente, altitudes ortométricas.

Asimismo, se proyectó otra red mareográfica, definitiva del nivel medio del mar en diversos puntos de la costa.

### 2.3 Estado actual de la red en la Comunidad Autónoma de Extremadura

La red de Nivelación de Alta Precisión de la Comunidad Autónoma de Extremadura está compuesta por 8 líneas realizadas entre 1934 y 1984: 27, 29, 30, 37, 127, 132, 134 y 203 [1]. Todas ellas discurren por ferrocarril, a excepción de la 27 y la 134 que lo hacen por carretera (figura 1-a).

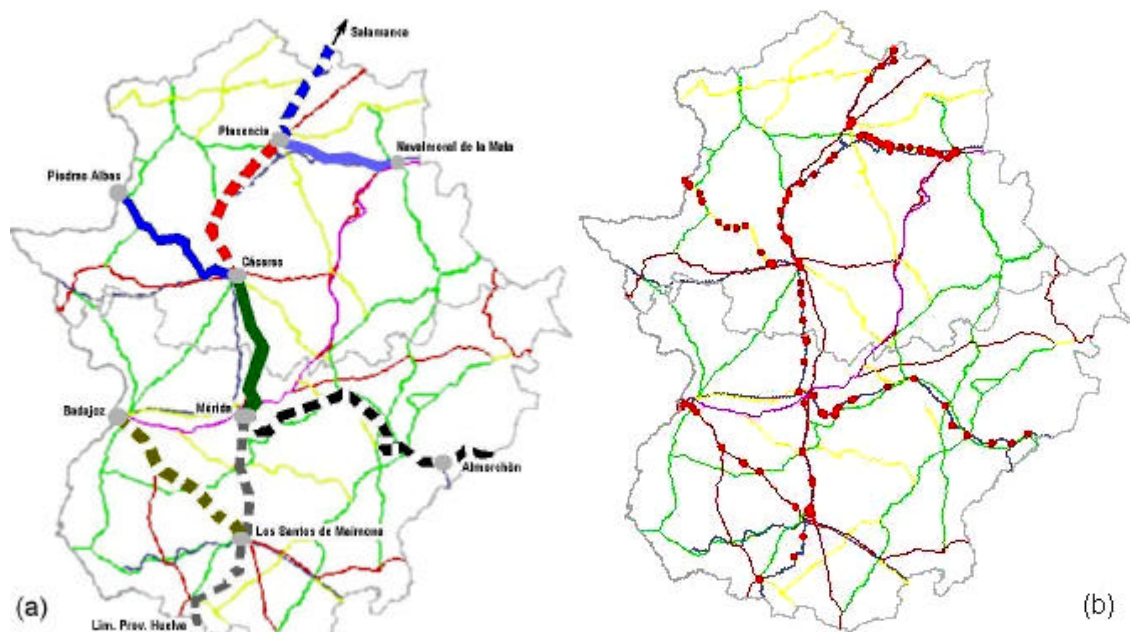


Figura 1: Estado actual de las redes de nivelación en la C.A. de Extremadura: (a) líneas de nivelación y (b) ubicación de las señales existentes mediante circunferencia en rojo.

En la última década se ha realizado una revisión de las señales de nivelación para comprobar su estado de conservación. Podemos comentar que en la C.A. de Extremadura han desaparecido más del 50% de las señales que existían cuando se realizó la red de N.A.P. (figura 1-b). Si difícil resulta la conservación de los vértices geodésicos, puede comprenderse la imposibilidad de mantener las señales de nivelación dado su pequeño tamaño y las constantes obras de remodelación. Si no se realiza una labor de mantenimiento, cualquier posible trabajo quedará condicionado a un plazo temporal relativamente corto.

### 3 Diseño de la red

En la propuesta que presentamos a continuación, el diseño de la red se ha fundamentado en dos premisas básicas: las líneas de nivelación deben establecerse siguiendo una vía de comunicación y la pendiente de éstas no ha de superar el 10%. Para ello, hemos realizado un estudio previo en función de la pendiente para observar qué vías de comunicación no serían aptas para las líneas de N.A.P. El análisis se realizó mediante un Sistema de Información Geográfica de tipo raster (Idrisi), con el que se seleccionaron aquellas vías de comunicación aptas para la red en función de su pendiente [1]. El proceso seguido se puede apreciar en el diagrama de la figura 2.

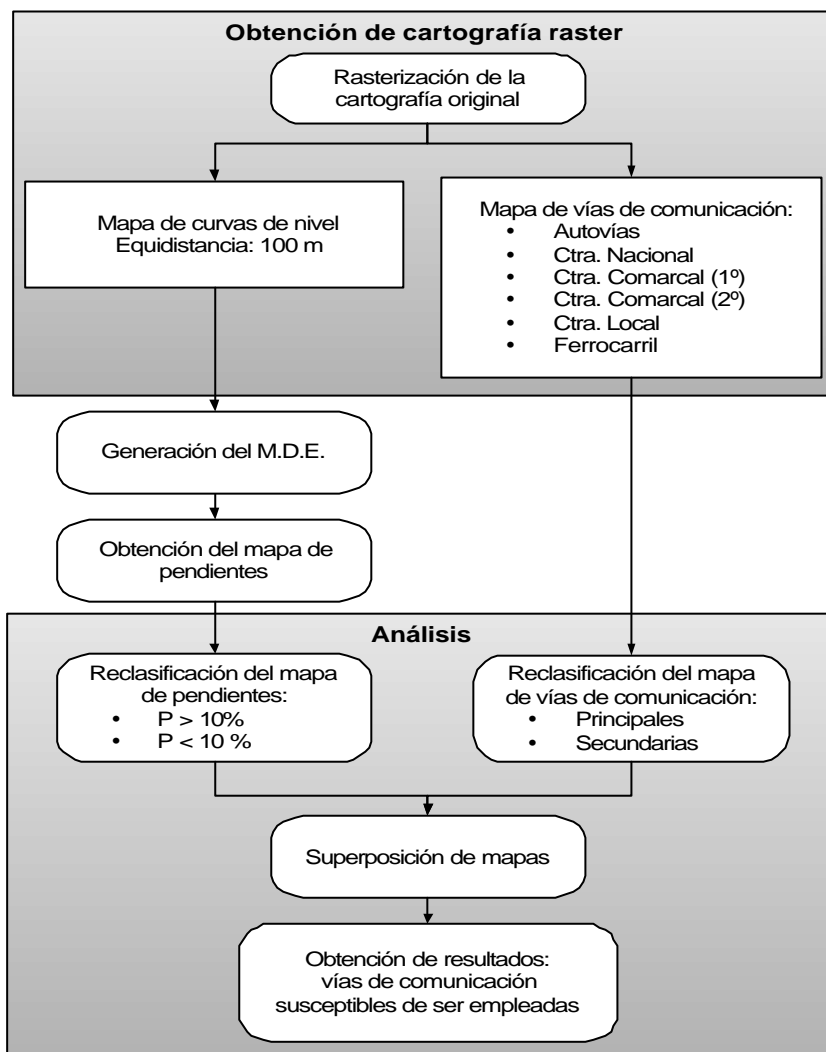


Figura 2: Diagrama de flujo para la obtención de las vías de comunicación susceptibles de ser empleadas en la red.

A partir del mapa topográfico de Extremadura (en formato vectorial a 1/300.000) cedido por la Junta de Extremadura, tras el proceso de rasterización, se obtuvieron dos imágenes: la primera de ellas con la información sobre las curvas de nivel para obtener el mapa de pendientes, y la segunda de ellas con las vías de comunicación. Con la primera se obtuvo un MDE, con el que se calculó del mapa de pendientes (figura 3-a). Éste, a su vez, se reclasificó en función de aquellas zonas que superaban el 10% (figura 3-b).

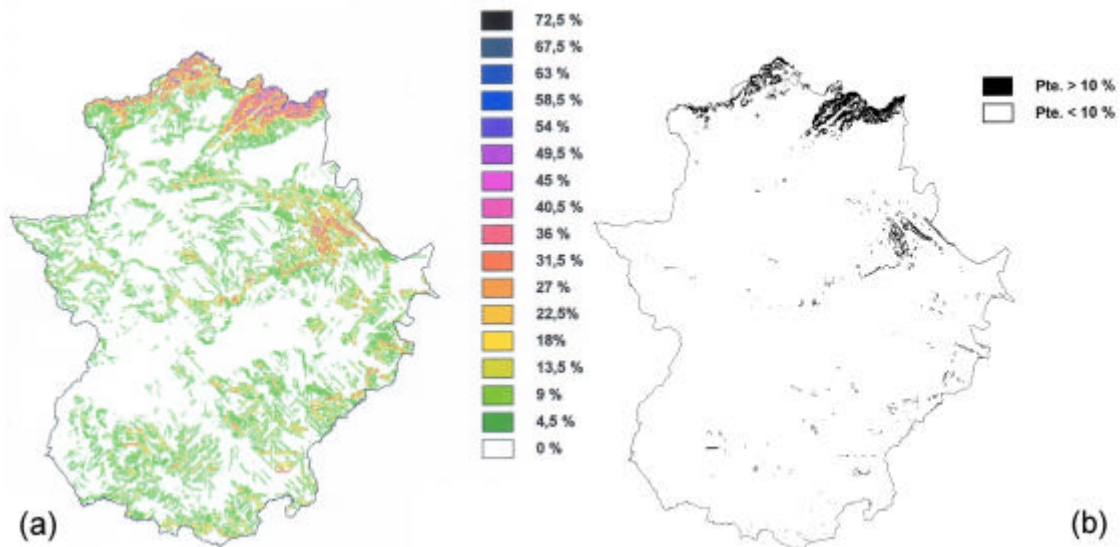


Figura 3: (a) Mapa de pendientes y (b) mapa de pendientes reclasificado.

La realización de la Nivelación de Alta Precisión requiere conocer la altitud de un punto en la zona de trabajo, del cual se derivarán las altitudes de los restantes. Éste puede ser algún punto de la R.E.U.N. (Red Europea Unificada de Nivelación), que se tomará como punto fijo para la compensación de la nueva Red. Todos los puntos que aún se conservan (N.P. y N.A.P.) pueden tener su cota referida a la R.E.U.N.

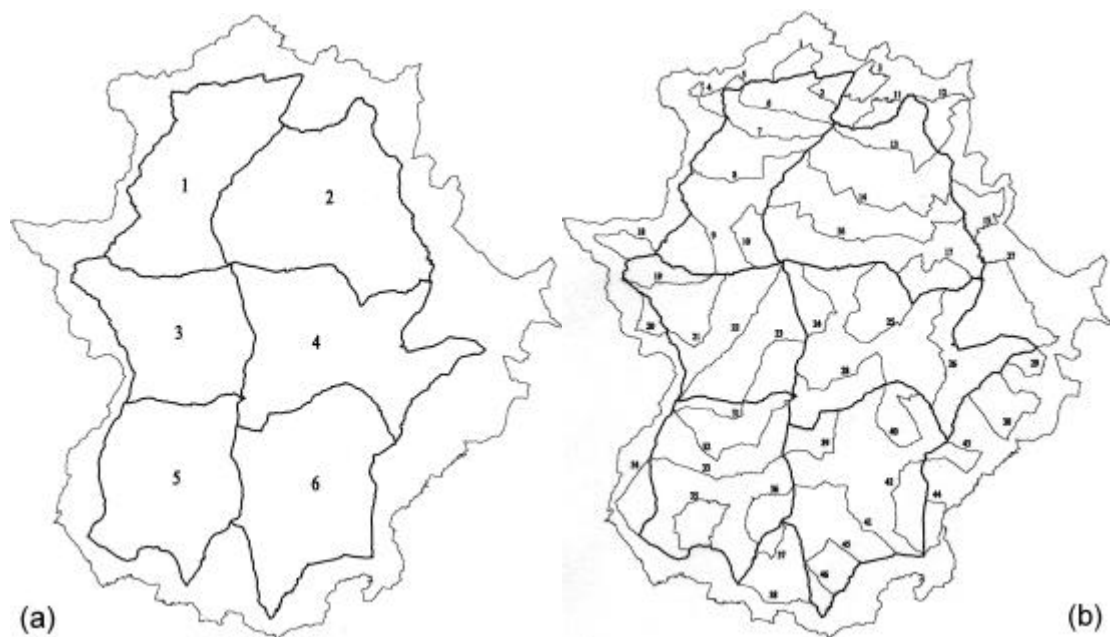


Figura 4: (a) Red de primer orden y (b) Red de segundo orden.

En lo que respecta a las vías de comunicación, éstas se han reclasificado en vías principales y secundarias, de acuerdo con las dos redes de nivelación a establecer. Para decidir qué vías de comunicación serán las más adecuadas, además de no superar el 10% de pendiente, se ha considerado otro factor: la importancia de los núcleos de población en función del número de habitantes. La red principal, además de transcurrir por las vías principales debe hacerlo preferentemente, por aquellas poblaciones con más de 5.000 habitantes; y la red secundaria puede pasar por cualquier vía de comunicación y poblaciones de hasta 1.000 habitantes. Así, la red ha quedado constituida de la siguiente manera: Red de primer orden (compuesta por 6 anillos -figura 4-a) y Red de

segundo orden (compuesta por 46 líneas que empiezan y acaban en puntos de la red de primer orden - figura 4-b).

## **4 Estudio de las diferentes metodologías**

Si bien la técnica más empleada en la determinación de alturas ha sido la nivelación geométrica, destacan las investigaciones orientadas a la obtención altitudes mediante G.P.S. a pesar de que su mayor inconveniente es la necesidad de disponer de un modelo preciso del geoide que proporcione la ondulación respecto al elipsoide en la zona de trabajo. Así, podremos conseguir las precisiones requeridas para este tipo de observaciones, tanto realizando la observación con nivelación geométrica y dotando a las líneas de gravimetría, como por G.P.S. En nuestro caso, la red de nivelación diseñada está formada por una de primer orden y una de segundo orden, cuyas tolerancias serán  $1,5 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$  y  $3 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$  respectivamente.

### **4.1 Nivelación Geométrica**

Por la falta de paralelismo entre las superficies equipotenciales, las diferencias de altitudes obtenidas mediante nivelación geométrica dependen del camino seguido, no siendo únicas, por lo que es necesario tomar medidas gravimétricas. Actualmente la precisión de los gravímetros es muy superior a la necesaria en el cálculo del diferencial de potencial que permite obtener desniveles únicos, quedando limitado el resultado a la bondad de los datos obtenidos en la nivelación.

El proceso seguido para realizar la nivelación geométrica dotando además a las líneas de gravimetría, sería el siguiente:

#### **4.1.1 Diseño y materialización**

Tras el diseño de la red (apartado 3), su materialización se realiza mediante el marcaje con cinta métrica ciñéndose a las longitudes de los tramos, marcando las estaciones de aparato y miras. La distribución teórica de las señales a lo largo de una línea sería de una señal secundaria cada 600 m, un grupo de dos señales principales cada 2 - 2,5 km, y un grupo de tres señales principales cada 10 km como máximo.

#### **4.1.2 Observación**

La metodología a seguir tanto para la observación N.A.P. como para el levantamiento gravimétrico, será la empleada por el I.G.N. (*Manual de instrucciones para la Nivelación de Alta Precisión* [2] y *Manual de instrucciones para Gravimetría* [3]).

#### **4.1.3 Cálculo**

Tal y como hemos mencionado, necesitaremos conocer al menos un *punto altimétrico fundamental* (enlazado con la R.E.U.N.) el cual servirá para dar la altitud al resto de puntos de la red. Si existe más de uno, se enlazarán con los nuevos itinerarios, siendo considerados como fijos en la compensación siempre que tengamos garantías de la bondad de su cota geopotencial. El arrastre de cotas se hará partiendo de las diferencias de nivel de la nivelación geométrica, cuyos errores de cierre deberán cumplir con la normativa especificada por el I.G.N. [2] y los valores de gravedad se obtendrán en todas las señales principales y secundarias.

Para convertir los resultados de nivelación en altitudes ortométricas, se requieren valores de la gravedad real entre el geoide y la superficie terrestre. Al igual que con la nivelación geométrica, se establecerá un punto origen de valores de gravedad tomando alguno existente en la zona (con garantías suficientes para tal asignación) o arrastrando hasta él el valor de la gravedad desde alguno o algunos puntos de la Red I.S.G.N.-71.

Para utilizar estos datos será necesario realizar un ajuste de la red gravimétrica mediante compensación por mínimos cuadrados, donde las observaciones serán las diferencias de gravedad entre dos puntos consecutivos. Una vez realizado el ajuste, se hará un análisis estadístico con el objetivo de encontrar un modelo óptimo. En estos momentos tendremos valores de gravedad observada en cada punto debidamente compensados, que nos servirán, tras aplicarles las correcciones necesarias, para el cálculo de altitudes ortométricas y ondulaciones del geoide.

#### 4.1.4 Compensación

Finalmente será necesario realizar la compensación de la red N.A.P. mediante mínimos cuadrados, determinando los valores más probables de las altitudes. Los modelos matemáticos considerados en redes de nivelación son el de ecuaciones de observación y ecuaciones de condición.

## 4.2 Nivelación G.P.S.

La utilización geodésica del G.P.S. para la determinación de diferencias de altitudes ortométricas está dando buenos resultados. Este método está basado en la relación existente entre las altitudes elipsóidicas ( $h$ ) medidas desde un elipsoide de referencia y determinadas por G.P.S., las altitudes ortométricas ( $H$ ) medidas desde el geoide, superficie equipotencial de la Tierra de cota cero, y obtenidas por nivelación; y la ondulación del geoide ( $N$ ), que es la distancia entre el elipsoide y el geoide. Esta relación viene dada por [4]:

$$h = H + N$$

de manera que, para incrementos de altitudes tendremos:

$$DH = Dh - DN$$

Por tanto, para obtener diferencias de altitudes ortométricas ( $DH$ ) sin nivelación geométrica, necesitaremos conocer, además de las diferencias de altitudes elipsóidicas ( $Dh$ ), las diferencias de ondulaciones del geoide ( $DN$ ). La determinación del geoide es posible utilizando una combinación adecuada de datos gravimétricos, un modelo de geopotencial global y un modelo digital del terreno detallado.

En cuanto al proceso a seguir para realizar la nivelación G.P.S., será:

### 4.2.1 Diseño y materialización

Esta fase coincide con la expuesta en el apartado 4.1.1.

### 4.2.2 Elección del método de observación

El método que nos proporciona una precisión adecuada es el *estático-relativo*, empleando al menos dos equipos bifrecuencia que reciben simultáneamente señales de los mismos satélites. Al estar afectados ambos receptores por errores de observación similares, se eliminarán en la obtención del incremento de coordenadas que definen la línea-base, obteniendo un posicionamiento relativo entre los dos receptores con alta precisión.

Podremos obtener diferentes precisiones en función del tiempo de observación y la separación entre los clavos de nivelación. A mayor separación, deberemos aumentar el tiempo de observación para obtener mayor redundancia en las observaciones y conseguir la exactitud deseada [5]. En determinadas observaciones geodésicas se pueden llegar a obtener precisiones de 0,1 ppm.

Con el método de observación estático-relativo y empleando 4 receptores, podemos establecer una metodología de observación en la que se realicen observaciones de dos horas manteniendo cuatro receptores en cuatro clavos de nivelación consecutivos. Una

vez transcurrido ese tiempo, dos de los receptores se mantienen fijos y los otros dos se desplazan a las dos señales siguientes para comenzar una nueva sesión de dos horas de observación. De esta forma se obtiene redundancia en algunas señales, se reduce el número de sesiones a la mitad y, por tanto, disminuyen los costes.

### 4.2.3 Cálculo de altitudes ortométricas

La metodología seguida en el proceso de cálculo tiene como finalidad la determinación de incrementos de altitudes ortométricas entre clavos de nivelación.

Como resultado de las observaciones con receptores G.P.S., se obtienen altitudes en el sistema de referencia WGS-84, que deberán ser referidas al sistema local. Dado que en España el sistema altimétrico nacional se basa en altitudes ortométricas, necesitaremos conocer el geoide.

Para cada línea-base observada, podremos determinar el incremento de altitud ortométrica partiendo de los incrementos de altitudes elipsóidicas observadas con G.P.S. ( $Dh = DH_{GPS}$ ) y de las ondulaciones del geoide ( $DN$ ) obtenidas mediante técnicas de eliminación-restitución y el método de colocación rápida. Asimismo, y dado que realizamos un posicionamiento relativo, para obtener resultados precisos las coordenadas absolutas del punto de partida en la red han de conocerse con menos de 10 m de error en el sistema WGS-84.

### 4.2.4 Compensación

Finalmente, al igual que en el punto 4.1.4, será necesario realizar el ajuste de la red, obteniendo las altitudes compensadas de todas las señales de nivelación.

## 5 Análisis económico

En función tanto del diseño de la red como de las diferentes metodologías, hemos realizado un estudio presupuestario del proyecto. Para ello, se ha calculado el número total de señales a materializar: en lo que respecta a las señales principales, tendremos 431 grupos de 3 señales y 1.294 grupos de 2, por lo que tendremos un total de 3.881 señales; y en lo que respecta a las señales secundarias (con 12 señales por cada 9 principales), necesitaremos 5.175 señales.

### 5.1 Red de Nivelación de Alta Precisión

En este apartado, distinguimos las fases de señalización y materialización<sup>1</sup> del itinerario, la observación de la nivelación geométrica, el levantamiento gravimétrico y, por último, la fase de cálculo. Debemos tener en cuenta que, aproximadamente, en una semana de trabajo podremos observar una media de 13,5 km; y que previamente a la nivelación, será necesario realizar la señalización y materialización del itinerario, de forma que los clavos estén correctamente situados al menos 4 ó 5 días antes de la nivelación para que estén suficientemente consolidados. Para el levantamiento gravimétrico, se podrán realizar medidas en 5 grupos de señales principales al día, reobservando alguna de ellas para controlar su deriva. De esta forma, considerando las fases de diseño, materialización y observación, así como el cálculo y compensación de la red, el coste de ejecución material por contrata asciende a 1.717.927,06 €

### 5.2 Red de Nivelación mediante G.P.S.

Para el cálculo del presupuesto, supondremos que partimos de las medidas de gravedad necesarias para la determinación de las ondulaciones del geoide a partir del banco de

---

<sup>1</sup> Por señalización entendemos el trabajo consistente en marcar con una cruz los puntos de estación del aparato y con un trazo los de estación de la mira, mientras que por materialización entendemos la colocación de todas y cada una de las señales de nivelación a lo largo del recorrido.

datos gravimétricos del I.G.N. Al igual que sucedía para la N.A.P., el trabajo se dividirá en tres fases básicas: materialización del itinerario, nivelación G.P.S. y geométrica, y la fase final de cálculo. En cuanto a la fase de observación, se ha optado por dar cota con G.P.S. en una de las señales de cada grupo de 3 (de un total de 1.725 grupos), más las señales secundarias (5.175). La observación se realizaría en modo estático-relativo con 4 receptores estacionando un mínimo de 2h en cada punto, y desplazando los equipos por parejas. De esta forma se podrán observar aproximadamente 8 señales por día, con lo que necesitaríamos 863 días para poder observar las 6.900 señales. Mientras se realizase la observación G.P.S., se le podrá dar cota mediante nivelación geométrica al resto de señales que forman cada uno de los grupos sin que ello suponga un aumento en el tiempo.

La realización de la nivelación mediante G.P.S. de todas las señales secundarias supone un importante incremento del coste, alcanzándose valores de ejecución por contrata que superan el 1.240.000 € en más de 1.800 jornadas de trabajo. Por ello, proponemos una solución intermedia para optimizar los costes: observar mediante G.P.S. tan sólo los grupos de señales principales, esto es, 1.725 grupos. De esta forma, el coste de ejecución material por contrata se reduce a 453.770,41 €

## 6 Conclusiones

La necesidad de realizar procesos de actualización y mantenimiento de las redes de nivelación, queda plenamente justificado dado el deficiente estado en el que se encuentran las actuales señales de la red nacional en la C.A. de Extremadura. Si queremos que nuestros productos cartográficos se encuentren a la altura de los avances tecnológicos de los que disponemos hoy en día (teledetección, sistemas de información geográfica, navegación y guiado de flotas por G.P.S., etcétera), no deberemos dejar de lado el mantenimiento de nuestras redes básicas a nivel nacional. Si bien se están realizando grandes avances en las redes planimétricas, con la instalación de estaciones permanentes G.P.S., nos da la sensación de que el aspecto altimétrico está quedando algo relegado de este esfuerzo económico y humano.

Con el diseño propuesto en esta comunicación, pretendemos romper una lanza a favor de las redes altimétricas, destacando la importancia que tiene el mantenimiento de las mismas. Recordemos que ya en el proyecto inicial a finales del s.XIX se mencionaba: *“Sin un servicio debidamente organizado con este objeto, la red de nivelación no tardará en sufrir profundas alteraciones bajo la acción destructora del tiempo y de los hombres. Con la oxidación de las señales, la demolición de los edificios, la incultura del país, etc., etc., (...) la red se verá seriamente comprometida”*.

Así, proponemos dos metodologías diferentes para la elaboración de una nueva red a nivel autonómico, enlazada con la R.E.U.N., que satisfaga las necesidades de la región a nivel topográfico y cartográfico. No obstante, y debido a la problemática presupuestaria existente, proponemos la realización de la misma empleando técnicas G.P.S., materializando las redes de señales principales de primer y segundo orden. De esta forma, podríamos disponer de señales de nivelación cada 10 km, en las intersecciones de las líneas que forman la red, así como en las principales poblaciones de la región a un coste relativamente bajo para un proyecto de estas características. Es importante que tengamos conciencia de que estamos hablando de un servicio público necesario para todos.

## Referencias

- 1) PACOMIO PEÑA, M.M.; *Proyecto para la implantación de una nueva red de Nivelación de Precisión en la Comunidad Autónoma de Extremadura (PFC)*. Jaén (España), Ing. en G. y C., E. Politécnica Superior; Universidad de Jaén, 2000.
- 2) INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL, *Manual de instrucciones para la Nivelación de Alta Precisión*, Madrid (España), Servicio de Publicaciones del Instituto Geográfico Nacional.
- 3) INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL, *Manual de instrucciones para Gravimetría* Madrid (España), Servicio de Publicaciones del Instituto Geográfico Nacional.
- 4) GIL CRUZ, A.J., *Apuntes de la asignatura Redes Geodésicas*, Jaén (España), Ing. en G. y C., E. Politécnica Superior; Universidad de Jaén, 1997.
- 5) KASSER, M.; *Nuevas técnicas para la determinación de altitudes*. Madrid (España): Topografía y Cartografía, V. XVIII, nº 106, pp. 37-40, 2001.