

## **IMPLEMENTATION OF A MICROGEODETIC NETWORK AS PROJECT MANAGEMENT SUPPORT IN CIVIL ENGINEERING WORKS**

González Vázquez, Xesus Pablo; Barrasa Rioja, Martín; Marey Pérez, Manuel  
Francisco

Escuela Politécnica Superior de Lugo. USC

In the present communication the advantages and disadvantages of implementing a Local Network or Microgeodetic Network, with enough precision for the project management on civil engineering works, are analyzed.

We study the materialization of a network that covers an area 12 km long and 5 km wide, in A Coruña (Galicia), supported by two survey points located on the east and west of it. These studies were performed at different stages: <sup>1</sup> Geometric design and network planning. <sup>2</sup> Observation and outdoor network construction, and surveying with classic topographical techniques. <sup>3</sup> Network calculation, error compensation and statistical analysis.

The main conclusion is that the use of microgeodetic networks can provide planimetric accuracies between 1.5 and 4 cm, and altimetry accuracies between 3 and 6 cm, which gives to the project manager a superior precision, compared with other topographical techniques, likewise Global Positioning Systems. All this affects little on the economic costs assigned to the project management.

**Keywords:** Network; Microgeodetic; Topography; Control

## **IMPLANTACIÓN DE UNA RED MICROGEODÉSICA COMO APOYO A LA DIRECCIÓN FACULTATIVA EN EL CONTROL DE EJECUCIÓN DE OBRAS**

En la presente comunicación se analizan las ventajas e inconvenientes que se desprenden de la implantación de una Red Microgeodésica o Red Local, con la calidad suficiente para que se considere apta para la dirección facultativa de obras de ingeniería civil en ámbitos urbanos.

Para ello se estudia la materialización de una Red que cubre una área de 12 km de largo por 5 km de ancho, en un municipio de A Coruña (Galicia), apoyada en dos vértices geodésicos situados en los extremos este y oeste del mismo.

Los trabajos se han realizado en distintas fases: <sup>1</sup> Diseño geométrico y planificación de la red. <sup>2</sup> Observación y materialización de la red en campo, así como observación mediante topográfica clásica. <sup>3</sup> Cálculo, compensación y análisis estadístico de precisiones.

Como conclusión cabe destacar que mediante el empleo de redes microgeodésicas se pueden conseguir precisiones planimétricas entre 1,5 y 4 cm, y altimétricas entre 3 y 6 cm, lo que le aporta a los controles geométricos de las obras unas precisiones superiores a las que se podrían obtener mediante levantamientos topográficos convencionales, así como mediante la utilización de sistemas GPS. Todo ello sin penalizar de forma significativa los costes económicos asignados a la dirección facultativa.

**Palabras clave:** Red; Microgeodesia; Topografía; Control

## 1. Introducción

Para que desde la dirección facultativa se pueda realizar el control geométrico de las obras de ingeniería civil es necesario disponer de un marco de referencia, que esté materializado en el terreno, con una serie de puntos que existan sobre el territorio y que se puedan usar como puntos de coordenadas de partida para los trabajos de posicionamiento (Garthwaite et al. 2015 y Oreni et al. 2014).

Las redes geodésicas nacionales constituyen la base geométrica del país y son la base de la cartografía y referencia para todos los sistemas espaciales. Estas redes son competencia del Instituto Geográfico Nacional. Una de esas redes es la REGENTE (Red Geodésica por Técnicas Espaciales) y se trata de una red tridimensional de orden cero, es decir, de máxima precisión (Regidor et al. 2001). REGENTE surge con el objeto de homogenizar la cartografía europea, para implementar el ETRS-89, mediante la materialización física de un marco de vértices. La densidad de vértices REGENTE es tal que se dispone de 1 vértice en cada hoja del MTN-50 (Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000). De esta forma existe como mínimo un vértice cada 300 km<sup>2</sup> y siempre en un entorno inferior a 20 km.

Por otra parte en España disponemos de la red ROI (Red de Orden Inferior), materializada en la década de los 90, y depurada tras la publicación del Real Decreto 1071/2007 en el sistema ETRS89. La red ROI dispone de 11.000 vértices, con una longitud media de lados de 7 km. El objetivo de la ROI es que la densidad de vértices permita disponer de al menos 1 vértice cada 45 km<sup>2</sup>, es decir, un par de vértices como mínimo en cada hoja del MTN25 (Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000).

Cuando se ejecuta una obra de ingeniería civil es necesario disponer un marco de referencia que permita comprobar geoméricamente la disposición de todos los elementos. Las redes anteriores, tanto REGENTE como ROI, son un marco de referencia válido, pero con una densidad de vértices que en la mayor parte de los casos es insuficiente para poder controlar toda la obra. Por ese motivo, la práctica habitual en las obras de ingeniería es la densificación de esas redes, creando una red de orden inferior y materializando nuevos vértices atendiendo a diferentes factores, como son: morfología del terreno, visibilidad, vegetación, edificaciones, accesos, etc. (Miranda et al. 1999)

Los métodos topográficos usados más habitualmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras son (Barry 1980):

- Uso de poligonales o itinerarios apoyados en la red geodésica existente
- Intersecciones y bisecciones
- Sistemas globales de navegación por satélite (GNSS)

Una poligonal es una sucesión de líneas quebradas, conectadas entre sí en un número determinado de nuevos vértices. Para determinar la posición de esos vértices de la poligonal en un sistema de coordenadas rectangulares planas, es necesario medir el ángulo horizontal en cada uno de los vértices y la distancia horizontal entre vértices consecutivos.

Otro método topográfico utilizado para la densificación de vértices es el método de intersección. La intersección consiste en la medición de ángulos y distancias utilizando para ello dos o más vértices conocidos. De este modo se conforma un triángulo, donde se conocen al menos tres elementos: una distancia y dos ángulos, que mediante la aplicación de trigonometría básica nos permite calcular las coordenadas del vértice desconocido.

Por último es necesario comentar el uso en aumento que se le ha dado a los sistemas de posicionamiento por satélite (GPS, GLONASS, GALILEO). Mediante estos sistemas no se

depende directamente de la disposición o no de vértices de la red geodésica nacional en el entorno próximo de la obra, al ser sistemas de posicionamiento global (Hollman y Welsch 1995).

## 2. Objetivos

Para poder definir el alcance de nuestros trabajos, establecemos unos parámetros límite (tolerancia) para el control geométrico de una hipotética obra lineal de un ensanche y mejora de una carretera.

**Tabla 1. Requisitos previos**

Tipo de trabajo	Tolerancia (mm)
Georreferenciación	200 (Escala 1:100.000)
Puntos de control, puntos del eje, puntos en curva, referencias, etc.	40
Sección transversal y estacas de talud	40
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	60
Límites para roza y limpieza	500
Estacas de subrasante	60
Estacas de rasante	40

En este trabajo se diseñó y materializó una red topográfica, con la calidad suficiente para que se considerase apta para poder realizar la dirección facultativa de una obra de ingeniería civil que respete el requisito mostrado en la tabla anterior.

Esta red se materializó por métodos topográficos clásicos y se enlazó con vértices de la Red Geodésica Nacional construidos y con coordenadas calculadas, en el entorno de la obra. Al tratarse de un municipio eminentemente rural y con núcleos muy diseminados, la Red se centró en el principal núcleo urbano "San Vicente", pero extendiéndose por todo el municipio e incluso se tuvo que apoyar en algún vértice del municipio contiguo.

Uno de los requisitos es que los vértices deben ser visibles entre si y cuyas distancias entre ellos no sobrepasen los dos kilómetros. Se aceptó que vértices Geodésicos de la ROI nacional situados dentro de núcleos y situados en un entorno próximo (hasta 1500 metros con visión directa) sean aprovechados como vértices de la configuración.

El objetivo es poder analizar las ventajas e inconvenientes de este tipo de metodología frente a las técnicas topográficas convencionales.

### **3. Metodología**

Como caso de estudio se selecciona una zona de 12 km de largo por 5 km de ancho, en un municipio de la Provincia de A Coruña, en el que no existe ninguna red local materializada. En el entorno existen dos vértices geodésicos situados en los extremos este y oeste de la zona de estudio.

Los trabajos se han realizado en tres fases, las cuales se ejecutaron en el orden secuencial en que se exponen. A pesar de ello, el paso a la siguiente fase no significa que la fase precedente esté concluida definitivamente, pues resultados de fases sucesivas retroalimentan a las anteriores. Así, por ejemplo, aunque los resultados del diseño y la observación sean buenos, no se pueden dar por cerradas estas fases, hasta tener los resultados finales de precisión y fiabilidad calculados en la fase de cálculo, compensación y precisión, ya que los resultados de esta última fase pueden inducir a modificar el diseño o a poner de manifiesto la existencia de errores groseros en las observaciones.

#### **3.1 Diseño geométrico y planificación de la red**

En esta fase se comenzó por detallar los factores que van a condicionar el diseño de la red, es decir, los requerimientos a nivel de precisión, que se requieren para realizar el control geométrico de obras por parte de la dirección facultativa. De entre todos los requisitos, se destacan:

- La Red de triángulos recubrirá íntegramente la zona objeto del levantamiento.
- Los lados de los triángulos tendrán una longitud media de 2000 metros.
- Los triángulos formarán figuras lo más regulares posibles y en ningún caso se podrán obtener ángulos acimutales inferiores a 30 grados centesimales.
- La Red estará enlazada a la Red Geodésica Nacional por al menos tres vértices comunes con esta, adecuadamente distribuidos.
- Las medidas angulares se efectuarán con teodolitos con precisión mayor o igual a dos segundos sexagesimales: desviación estándar máxima en la medida de ángulos acimutales y cenitales según DIN 18723 igual a dos segundos sexagesimales con dos vueltas de horizonte (anteojo directo e invertido), entre las cuales no puede haber divergencia de más de diez segundos centesimales.
- La observación de la Red de triangulación se complementará con la medida electrónica de lados de la Red.
- El número mínimo de medidas de distancia será de cuatro, uno en cada flanco dominante de la figura.

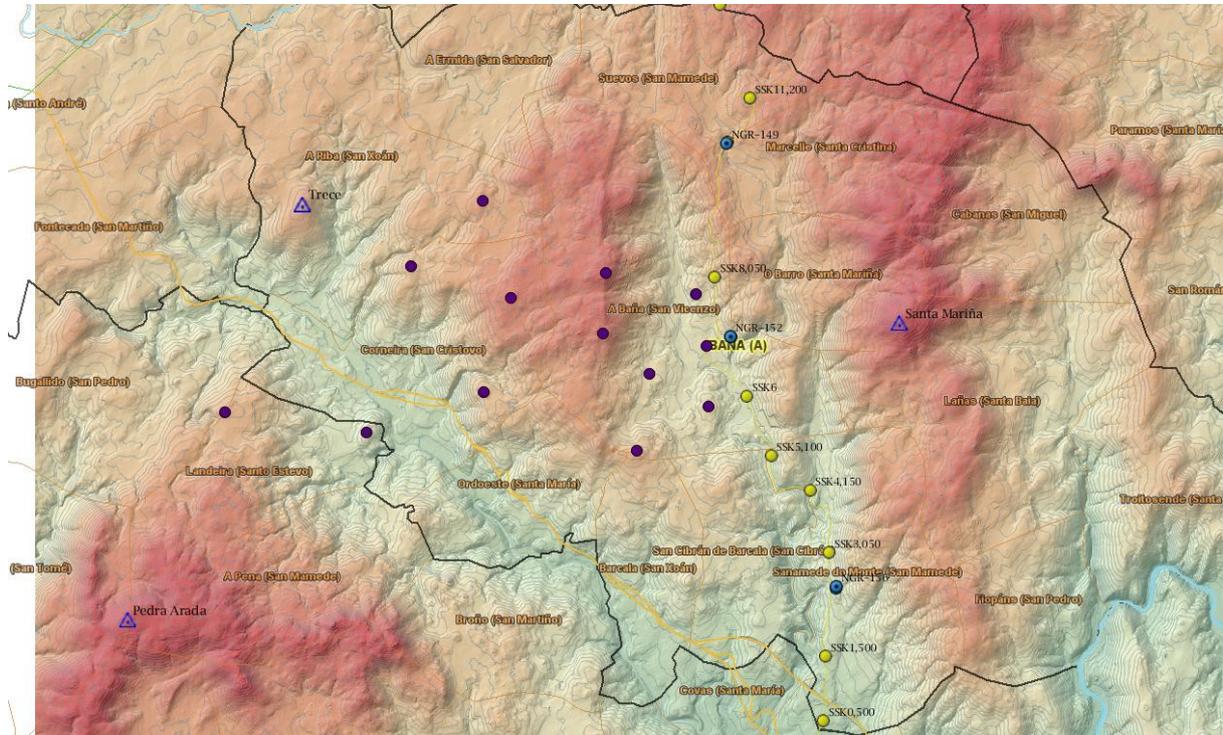
También corresponde a esta fase la determinación del instrumental topográfico a utilizar y estudio del entorno/emplazamiento de la red. De la conjunción de estos tres factores se deducen unos parámetros a cumplir en el diseño de la red.

Una vez establecido el criterio de diseño en primera instancia se realizó una preselección de vértices en función de cartografía (MTN25, MDE, Ortofotos....), y se comprobó en campo la posibilidad de materializar esos vértices y las observaciones.

En la siguiente imagen se puede ver la primera selección de vértices que se realizó basándonos en criterios topográficos, es decir que se encuentren en máximos relativos con

buena visibilidad y que cumplan la geometría que nos marca tanto el instrumental a utilizar como los requisitos de precisión preestablecidos.

**Figura 1: Preselección de vértices**



Nota: Preselección de vértices representados sobre el modelo digital de elevaciones del IGN realizado a partir de levantamiento LiDAR con paso de malla 5 m y mostrado mediante tintas hipsométricas

De la preselección en gabinete se obtienen 13 posibles vértices, siendo conscientes de que esta preselección en base a cartografía va a tender a darnos resultados excesivamente optimistas, hemos preseleccionado un número alto de vértices.

Con los vértices antes deducidos de la cartografía, nos dispusimos a comprobar la viabilidad de los mismos a la hora de ser materializados en el terreno, para eso se hace imprescindible comprobar en campo los siguientes aspectos:

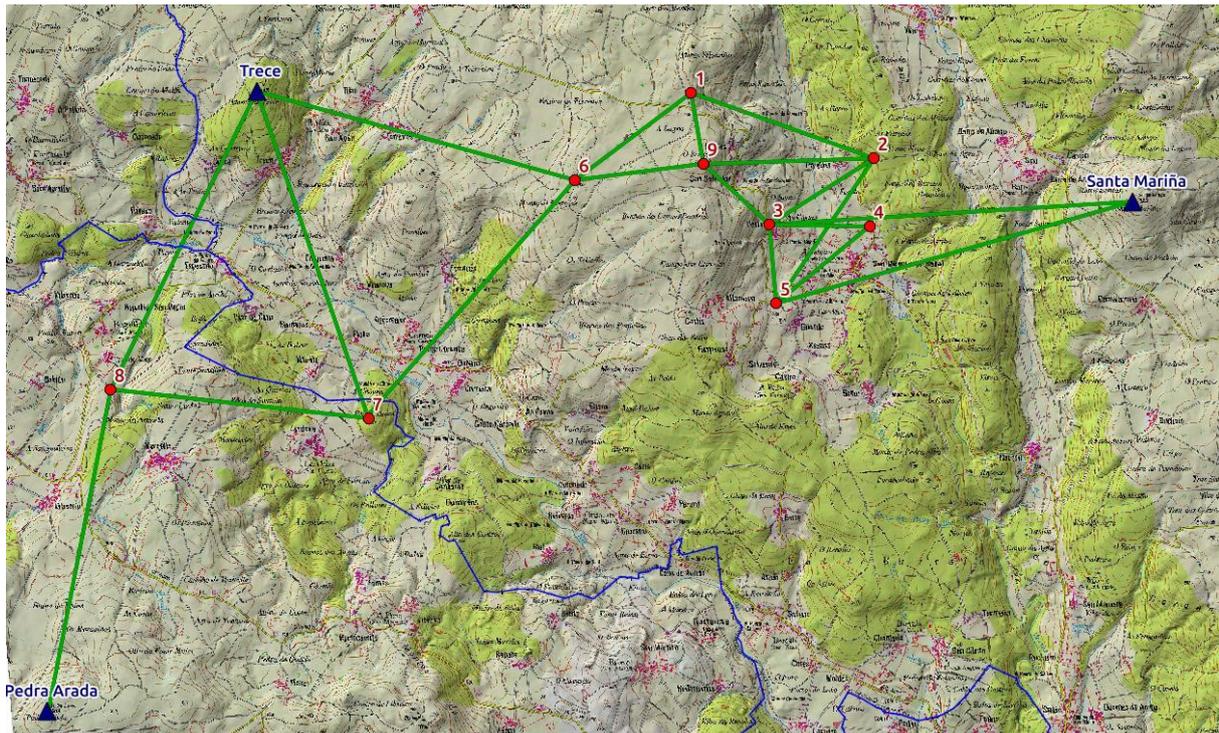
- Estabilidad espacial: que no varíe su situación o posición absoluta en el espacio.
- Que permita una materialización de forma adecuada, fina, precisa e inequívoca.
- Fácilmente estacionable.
- Fácilmente visible desde cualquier otro punto de la zona.
- Con visibilidad sobre la zona del proyecto.
- Fácilmente localizable.
- Fácilmente sustituible en caso de desaparición.

Muchos de los puntos preseleccionados en base a la cartografía fueron inviables, a causa principalmente del estado de la vegetación que impide la visibilidad e incluso el acceso, lo que provoca que las visuales que conectan las parte suroeste de San Vicente con los

vértices geodésicos sean imposibles, al estar franqueada esta zona por un espeso bosque de pinos y eucaliptos, mucho más poblado de lo que se pudo ver sobre la ortofoto.

Este trabajo de selección de vértices supuso 10 días de trabajo y desplazamientos dentro de la propia zona de más de 200 km. Así, tras comprobar todos los vértices, eliminando muchos de ellos, modificando el emplazamiento de alguno e incluso añadiendo nuevos vértices que no estaban previstos, se obtuvo el diseño final de la Red.

Figura 2: Diseño final de la red



Nota: En la ilustración anterior se puede ver representadas mediante líneas verdes todas las observaciones que se van a realizar. Cada línea se corresponde con una distancia (de forma recíproca), también serán observados los ángulos que forman estas líneas.

Por último, una vez diseñada nuestra Red en base a los recursos cartográficos y comprobados los resultados in situ, ya disponemos de un diseño a priori, solo nos faltaría tener la certeza de que este diseño siendo observado con el instrumental del que disponemos nos dará unos resultados aceptables en cuanto a precisiones, esto lo haremos recurriendo a estudios de diseño óptimo.

Según la metodología de trabajo, con la consideración de la situación sobre el terreno de los puntos, se puede establecer la matriz de diseño A del modelo y con las características de la instrumentación topográfica con la que se va a trabajar, unida al método de observación que se utilice, se puede determinar la precisión y con ello la matriz de pesos o matriz de covarianzas a priori  $\sigma^2 Q$  mediante simulación.

La matriz de diseño se conoce si se saben las coordenadas aproximadas de los vértices elegidos. Por otro lado al fijar la instrumentación y el método de observación se determina P. De esta manera se puede obtener la precisión del trabajo sin haberlo realizado ya que la matriz normal N será conocida y con ello:

$$C_{xx} = \sigma_0^2 (A^t P A)^{-1} \quad (1)$$

Una vez obtenida la matrices A y P calcularemos la matriz de Varianzas-Covarianzas y con la diagonal de ésta, obtendremos los errores típicos estimados a para los incrementos en X e Y para cada vértice de la nueva Red.

De los resultados obtenidos podemos concluir que los errores parecen afectar de forma más acuciada a los incrementos en Y, siendo más del doble en la mayor parte de los casos, a excepción de los vértices V8 y V7. Esto es debido a la geometría de la red, que se extiende el triple en el eje X. En el caso de que una vez observada la Red los errores en el eje Y fuesen superiores a los aceptables, tendríamos que densificar la red por el suroeste, es decir, intentar enlazar los vértices V5 y/o V3 con los vértices V7 y/o V8.

### 3.2 Observación y materialización de la red en campo

La segunda fase corresponde con la observación y materialización de la red en campo, así como observación mediante topográfica clásica.

En esta fase se estudiaron los métodos de observación posibles y se eligió el que mejor se adapta al propósito. El método escogido para la observación de ángulos es el Método de Schreiber (pares sobre una referencia), dado que después de probar varios métodos en campo se comprobó que, aunque su ejecución es más lenta, la facilidad a la hora de comprobar la precisión de las observaciones en campo nos garantiza que los resultados sean aceptables y que no tendremos que repetir la estación, algo de vital importancia ya que es imprescindible reducir el número de estaciones si queremos alcanzar una buena precisión. Al realizar la observación por el método de pares sobre una referencia se evitan posibles movimientos del instrumento y es más fácil localizar equivocaciones. Si el número de direcciones es grande se tarda bastante en la observación, pero la seguridad que nos confiere en cuanto a la precisión de las mismas nos hace decantarnos por este método.

Para la realización de las observaciones se dispusieron dos prismas anclados a otros tantos trípodes, situados en el primer par de puntos a visar, debidamente aplomados y a la misma altura que la estación total desde la cual se efectuaran las observaciones, para minimizar errores y agilizar las observaciones. Una vez realizadas las 5 series (en círculo directo e inverso) se comprueban las desviaciones típicas de las observaciones, en caso de no ser satisfactorias se volverán a repetir. Si los resultados entran dentro de las tolerancias requeridas se modificará la situación de uno de los prismas, dejando fijo siempre uno como referencia y desplazando el otro entre los puntos a observar desde esa estación. En el caso de vértices de la red geodésica nacional, se utilizó una basada de centrado construida específicamente para este trabajo.

Las observaciones distanciométricas se tomaron de forma simultánea a las de ángulos, debido a que el instrumental empleado lo permite, de esta forma tendremos una observación distanciométrica por cada observación angular, teniendo en cuenta que se realizaron 5 series en círculo directo e inverso, tendremos 10 distancias para cada observación.

Al realizarse de forma simultánea a las observaciones angulares, también se sigue el mismo criterio en cuanto a tolerancias, es decir, después de realizar las 5 series se comprueban la calidad de los datos in situ y si no están por debajo del límite de tolerancia establecido, se repiten las 5 series.

Por último se materializaron los vértices de la nueva red mediante pintura o en caso de no ser posible, con un clavo de acero, siendo los menos intrusivos posible con el entorno, al tratarse de un trabajo de investigación que no tenía como objeto perpetuar en el tiempo estos vértices.

### 3.3 Cálculo y compensación de la red

Dado que los resultados finales se han de proporcionar en coordenadas UTM, y teniendo en cuenta el método de ajuste de la red que vamos a emplear, será preciso hacer ciertas correcciones a las distancias y ángulos observados, que se pueden dividir en “reducción al elipsoide” y “reducción a la proyección UTM” (Grafarend 1974).

Una vez obtenidas nuestras observaciones y habiéndolas depurado, el siguiente paso fue compensar la red topográfica, para lo cual teniendo en cuenta la posibilidad de programar los cálculos en ordenador y la potencia de los métodos de mínimos cuadrados para la compensación de un grupo de observaciones de diferente naturaleza (Ghilani y Wolf 2006), se opta por este método.

El modelo matemático va acompañado de un modelo estadístico o estocástico, que nos permite realizar el estudio correspondiente de los resultados obtenidos tras el ajuste mínimo cuadrático. Este modelo estadístico (Duncan 2013) está fundamentado en el Modelo Gauss-Markov que establece:

- Los residuos siguen una distribución normal:  $R \sim N(0,1)$
- La esperanza de los residuos es nula:  $E(R)=0$
- La matriz de pesos es diagonal e incorrelada.

La consideración de que la esperanza matemática de los residuos es igual a cero (0), determina que nuestros observables no presentan sistematismos.

Las ecuaciones de observación, una vez linealizadas tienen la forma siguiente:

$$v_{ijk} = -b_1 \cdot \Delta x_i - b_2 \cdot \Delta y_i - b_3 \cdot \Delta x_j - b_4 \cdot \Delta y_j - b_5 \cdot \Delta x_k - b_6 \cdot \Delta y_k - (-f_{ijk}) \quad (2)$$

$$v_{ij} = -b_1 \cdot \Delta x_i - b_2 \cdot \Delta y_i - b_3 \cdot \Delta x_j - b_4 \cdot \Delta y_j - (-f_{ij}) \quad (3)$$

Siendo (2) la ecuación para las observaciones angulares y (3) la ecuación para distancias.

A partir del cálculo de coeficientes para cada observación tanto angular como de distancia, se puede construir la matriz del diseño A, haciendo corresponder para cada ecuación (serán un total de 55, correspondiéndose con el número de observaciones), el coeficiente anteriormente calculado para X e Y de los vértices implicados en la observación y rellenando en el resto de los casos con ceros. Los que nos dará una matriz de 55 filas por 18 columnas. También se incluirán el vector de términos independientes L (diferencia entre observaciones de campo y estimadas) y el vector de pesos W que se calcula en base al inverso de la distancia, tomando como referencia para el peso unidad la distancia más corta.

El modelo matemático de variación de coordenadas, establece la siguiente formulación para la obtención del vector de correcciones a las coordenadas aproximadas:

$$x = (A^T \cdot W \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot W \cdot L \quad (4)$$

Resuelto ese cálculo matricial, se obtienen las coordenadas definitivas para los vértices.

## 5. Resultados y discusión

Mediante la metodología descrita anteriormente, se pueden calcular las coordenadas de los vértices de una obra de ingeniería, de un modo similar al que se obtendrían, mediante cualquier método topográfico convencional, como los enumerados en los antecedentes.

Por ese motivo es necesario analizar estadísticamente los resultados para confirmar matemáticamente que la precisión y fiabilidad de la red cumple con los parámetros necesarios.

En primer lugar se realizó el análisis de los residuos de cada observación.

$$R = A \cdot x - L \quad (5)$$

El 80% de los residuos son inferiores al centímetro, y el sumatorio de los residuos ponderados que, según el modelo estadístico de Gauss-Markov debe ser igual a cero (0), en nuestro caso se obtuvo un valor de  $3,73 \cdot 10^{-5}$  m, siendo este un buen resultado; teniendo en cuenta que nunca se puede obtener un sumatorio igual a cero (0) puesto que implicaría disponer de observables exactos, y por lo tanto una red perfecta.

En segundo lugar se realizó un análisis de varianza y covarianza de los observables compensados. La obtención de unos valores pequeños para los errores medios cuadráticos o desviaciones típicas a posteriori de los observables, es un indicador de la bondad de los mismos. Así en nuestro caso los valores obtenidos para los errores medios cuadráticos están entre 15 y 40 mm.

Para el estudio de la fiabilidad interna de la red se analizaron los siguientes parámetros:

- Redundancia de cada observable. Éste es un parámetro adimensional que muestra lo bien o mal que está controlado cada observable, calculado a partir del cofactor de los residuos a posteriori, ponderados. Clasificamos los resultados en intervalos, definiendo los observables “bien controlados” los que están en el intervalo (1,0.4); “débilmente controlados” al intervalo [0.4,0.1); y mal controlados al intervalo [0.1,0). Más del 90% de las observaciones de distancias se encuentran “bien controladas” mientras que las observaciones angulares se encuentran “bien controladas” en su totalidad. Las observaciones marcadas como “débilmente controladas” se corresponden con observaciones distanciométricas que no han podido ser tomadas de forma recíproca al no ser posible estacionar en los vértices geodésicos VG2, VG3 y el vértice V9 a causa del desarrollo de unos trabajos de desbroce coincidentes en el tiempo con las observaciones. Pese a ello la redundancia media se sitúa en el intervalo “bien controladas” y el sumatorio total indica que los grados de libertad del ajuste es 37, por lo que se dan por buenos los resultados.
- Parámetro de Baarda. Este parámetro depende del nivel de significación y de la potencia de test establecido para la red. El parámetro de Baarda es, junto al mínimo error detectable, uno de los coeficientes que se emplean para rechazar o eliminar un observable. Además este parámetro permite controlar los errores groseros introducidos en la red. De este modo un observable será rechazado cuando el valor del parámetro de Baarda sea superior al punto porcentual establecido para el nivel de significación. En el caso de nuestra red ningún valor sobrepasa el parámetro de traslación asociado al nivel de significación de nuestro test, por lo tanto, podemos aceptar todos nuestros observables descartando errores groseros con una potencia de test  $\beta=80\%$  y un nivel de significación del  $\alpha=99.9\%$ .

En lo que respecta a la fiabilidad externa de la red, los resultados obtenidos para los parámetros de fiabilidad externa se corresponden casi exactamente con los obtenidos para la fiabilidad interna, obteniendo de nuevo los peores resultados en las observaciones distanciométricas en las que no ha sido posible realizar observaciones de forma recíproca. Tal y como se ha comentado anteriormente, se descarta que este resultado se deba a la existencia de errores groseros, sino que son debidos a una menor redundancia en las observaciones en comparación con el resto de la red.

## 5. Conclusiones

Como conclusión cabe destacar que mediante el empleo de esta metodología de implantación de vértices se pudo conseguir una precisión planimétrica en las coordenadas de los vértices entre 1,5 y 4 cm, lo que le aporta a los controles geométricos de las obras unas precisiones superiores a las que se podrían obtener mediante levantamientos topográficos convencionales, en donde para una separación de vértices ROI como la que existe en esta zona piloto, el error se encuentra entre 5 y 10 cm realizando tres poligonales abiertas, de 5 bases cada una (Cook 2006). En el caso de utilizar GPS, en modo RTK la precisión se encuentra entre 3 y 5 cm, midiendo siempre condiciones favorables (Peyret et al. 2000). Por lo tanto, desde el punto de vista técnico, la implantación de una red microgeodésica es una metodología recomendable.

En lo que respecta a coste, la implantación de la red microgeodésica es el método más caro, elevándose su coste a un valor próximo a los 6.500 €. En lo que respecta a los métodos convencionales, el coste de la implantación de vértices mediante poligonales, puede suponer un coste aproximado de entre 5.000 y 6.500 €, mientras que la red establecida con GPS no alcanza los 2.000 € (Rizos 2007).

El tiempo necesario para establecer la red mediante esta metodología requirió un total de 2 semanas (10 días hábiles), por lo que también es superior mediante topografía clásica que con GPS, requiriéndose para este último un 60% menos del tiempo empleado con Estación Total.

En definitiva, se recomienda la implantación de una red microgeodésica cuando se requiera de una precisión más elevada y cuando con GPS no dispongamos de cobertura suficiente en algunas zonas (por apantallamiento, vegetación, etc.).

## 6. Referencias

- Barry, B. (1980). Topografía aplicada a la construcción. México. Limusa.
- Cook, D. (2006). Robotic Total Stations and Remote Data Capture: Challenges in Construction. *Geotechnical News*. N°12, pp. 43-46
- Duncan Carr Agnew (2013). Realistic Simulations of Geodetic Network Data: The Fakenet Package. *Seismological Research Letters*, v. 84, pp. 426-432
- Garthwaite, M.; Hazelwood, M.; Nancarrow, S.; Hislop, A. & Dawson, J. (2015). A regional geodetic network to monitor ground surface response to resource extraction in the northern Surat Basin, Queensland, *Australian Journal of Earth Sciences*, 62:4, 469-477.
- Ghilani, C.D., Wolf, P.R. (2006). *Adjustment Computations Spatial Data Analysis* (4ª ed.), p. 106. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Grafarend., E.W. (1974). Optimization of geodetic networks. *Bolletino di Geodesia e Science Affini*, 33(4): 351-406.
- Hollman, R. Welsch, W. (1998) El GPS en aplicaciones de topografía de ingeniería de precisión. *Topografía y cartografía*. Vol. 12, N°68, pp. 40-50
- Miranda, D., Rodríguez, J.R., Alonso, J.C. (1999). Instalación de redes microgeodésicas como soporte para la gestión y mantenimiento de sistemas de información geográfica de ámbito municipal. En S. Castaño (Ed.) *Teledetección. Avances y aplicaciones*. VIII Congreso Nacional de Teledetección (pp 383-386). Albacete.
- Oreni, D; Brumana, R; S Della Torre; Banfi, F; Previtali, M. (2014). Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the

earthquake (L'Aquila). ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. II.5: 267-273.

Peyret, F., Bétaille, D., Hintzy, G. (2000). High-precision application of GPS in the field of real-time equipment positioning. Automation in Construction. Volume 9, Issue 3, pp. 299–314

Regidor Gutiérrez, J., Prieto Morin, J. F., Sanz Mejía, J. M., Quirós Donate, R., Barbadillo Fernández, A. (2001). El Proyecto REGENTE. Topografía y Cartografía, 18(105). pp. 3-11.

Rizos, C. (2007). Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations. GPS Solutions. Volume 11, Issue 3, pp. 151-158.