

## **XIV CURSOS DE VERANO DE LAREDO**

### **UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

#### **COMUNICACIÓN AL CURSO CARTOGRAFÍA, GEODESIA Y FOTOGRAMETRÍA**

##### **Título**

Redes Microgeodésicas. Aplicación en el término municipal de Lugo.

##### **Autores**

González Vázquez, Xesús Pablo. Ingeniero Agrónomo. Profesor del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Santiago de Compostela.

Rodríguez Pérez, José Ramón. Ingeniero Agrónomo. Profesor del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Departamento de Ingeniería Minera. Universidad de León.

Miranda Barrós, David. Ingeniero de Montes. Becario del Proyecto ADAPT-FSE. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela.

##### **Resumen**

En la presente comunicación se describe el estudio realizado por el Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Santiago de Compostela, para la instalación de una red microgeodésica en el entorno de la ciudad de Lugo. Dicho estudio surge de la firma del convenio entre la Escuela Politécnica Superior y el Ayuntamiento de Lugo.

Con esta red local se pretendía dotar a la ciudad y a sus entornos de una mayor precisión a la hora de realizar trabajos topográficos, cartográficos o incluso fotogramétricos. El convenio también incluye la elaboración de una cartografía digital y la gestión y mantenimiento de un sistema de información geográfica (S.I.G.), cuya aplicación puede ser útil en proyectos de gestión de mejora urbanística y medioambiental.

## 1 INTRODUCCIÓN

Cada vez son más frecuentes las aplicaciones topográficas y no topográficas en las que es preciso proyectar unos puntos en el espacio bajo unas exigencias de precisión muy estrictas. El objetivo del presente estudio fue la creación de una red básica para el término municipal de Lugo.

Esta red puede tener distintas utilidades: trabajos topográficos, trabajos forestales, replanteos, levantamientos a cielo abierto, trabajos catastrales, trabajos fotogramétricos, etc.

Está previsto realizar una cartografía digital, así como un S.I.G., con lo que las aplicaciones se multiplican hasta llegar incluso a disponer de forma georreferenciada de todas las obras y actuaciones urbanísticas. Además de esto la microred se podría utilizar para el estudio del geode en Lugo o para la determinación del parámetro de transformación para GPS o UTM.

## 2 ESTABLECIMIENTO DE REDES GPS PARA CARTOGRAFÍA URBANA

Para la gestión municipal moderna, es imprescindible conocer con exactitud todos los datos, tanto los de existencia física como pueden ser de edificaciones, calles, monumentos, etc., que afecten a servicios, agua, gas, electricidad, alcantarillado, etc., como aquellos datos que no son de existencia física sino jurídica, como la propiedad. La cartografía urbana en escala 1:500 con curvas de nivel equidistantes 0.5 m., es en la actualidad una cartografía apta como elemento básico para ser utilizada como instrumento para conocer el territorio y como soporte de datos referenciables geográficamente constituyendo un Sistema de Información Geográfico (S.I.G.) que va a ayudarnos a crear, unificar, gestionar y actualizar la cartografía municipal en sus distintas clases y escalas, al objeto de servir como soporte a todos los proyectos, trabajos y aplicaciones que requieren una buena cartografía.

Hay que conseguir no sólo hacer una cartografía propia, que siempre la hay en cualquier sitio, sino una cartografía muy exacta y en condiciones de uso informático para utilizarse con rigurosos requisitos, gráficos y numéricos, en cualquier necesidad de las muchas que se tienen en una moderna gestión municipal.

En el año 1.998, fruto de la colaboración entre la Escuela Politécnica Superior de Lugo y el Ayuntamiento de Lugo, se pone en marcha un plan integral de mantenimiento y actualización de datos catastrales de consideración urbana, que se divide en dos grandes apartados:

- a) Mantenimiento y actualización de datos cartográficos actuando sobre la Base Cartográfica que en estos momentos posee el Ayuntamiento de Lugo.
- b) Mantenimiento y actualización de las características que definen la capa catastral que afecta a todos los inmuebles urbanos enmarcados dentro del perímetro de suelo de naturaleza urbana de Lugo, con su correspondiente integración en la Base Cartográfica soporte integral de estos datos.

Para la puesta en práctica del primer apartado, se comenzó por efectuar un análisis pormenorizado de la Base Cartográfica que el Ayuntamiento venía tradicionalmente utilizando, tanto en su aspecto de precisión relativa, como absoluta. De este estudio se deducen varias conclusiones: La garantía relativa de la cartografía no es la adecuada, si bien, no en términos exagerados para la escala 1/500 que se está manejando, por lo que podía habersele dado validez si no se hubiesen dado otros factores que exponemos a continuación. Al analizar el carácter absoluto de la cartografía se comprueba que ésta no posee una georreferenciación claramente definida, es decir, no se ha tenido en cuenta un marco de referencia común a todo el área a cartografiar (Red Geodésica Nacional y densificación posterior de la red, tanto en la parte planimétrica como altimétrica), lo que imposibilita de manera determinante la realización de los trabajos pertinentes para acometer de forma coherente la fase I antes citada.

Este hecho es muy común en muchas actuaciones cartográficas, tanto por desconocimiento de la vital importancia del establecimiento de redes de control de precisión que definan un marco geodésico homogéneo para la totalidad del trabajo, como por la falta durante muchas decenas de años de un marco geodésico adecuado a nivel nacional, esto es, inexistencia de una Red Geodésica Nacional acorde con las necesidades de un país desarrollado como España. Ante estos problemas se ha definido de forma precisa el Sistema de Referencia a utilizar en cualquier actuación cartográfica, para que todo el patrimonio cartográfico cumpla los requisitos de normalización y homogeneidad exigibles a su posterior utilización, que podemos resumir en:

- Sistema de Referencia European Datum 1.950 (ED - 50) en coincidencia con lo adoptado por las Series Cartográficas Oficiales, a partir del Decreto 2303/1.970, de 16 de Julio.
- Sistema geodésico adoptado, es el denominado RE - 50 definido a través de la Red Geodésica Nacional (Ley 7/1.986, de 24 de Enero).
- Sistema Cartográfico de Representación, es el definido por la utilización de la proyección Universal Transversa de Mercator (U.T.M.) adoptado para toda la cartografía del Estado según el Decreto 2303/1.970 ya mencionado.

Como consecuencia de la falta de una georreferenciación homogénea de la Base Cartográfica de Lugo Capital, y ante los costos que supondrían mediante los correspondientes trabajos de campo (análisis métrico exhaustivo) y gabinete, establecer parámetros de transformación por zonas a fin de realizar de forma coherente las transformaciones tipo Helmert para una gran extensión en hectáreas como es Lugo Capital, y conseguir aún de forma expedita dicha georreferenciación, se decidió afrontar el apartado I de actualización mediante la realización de una nueva Base Cartográfica. Para este fin, y como infraestructura fundamental del resto de los trabajos cartográficos, se estudió, se proyectó, se señaló y se observará la Red Topográfica de Control de Lugo, definida con las siglas RTL, como soporte integrador y unitario no solamente para la realización de la nueva Base Cartográfica que se realice en el entorno del municipio de Lugo.

### **3 OBJETIVOS, REQUISITOS Y ALCANCE UTILITARIO DE LA RED TOPOGRÁFICA DE LUGO**

En este apartado trataremos de describir brevemente el objetivo perseguido por esta RTL básica, así como los requisitos teóricos exigidos para su realización y el correspondiente alcance utilitario posterior de esta red de precisión para todo tipo de trabajos topográficos y cartográficos.

**Objetivos de la implantación de la RTL.** Como ya se dijo anteriormente, el propósito fundamental de esta red es la definición de un marco uniforme y preciso que sirva para la coordinación de todos los posteriores trabajos topográficos y cartográficos. Con este objetivo, se diseñó una red que diese cobertura a Lugo y sus futuras áreas de influencia, con unos requisitos técnicos, tanto en su densidad, como en su precisión relativa y absoluta, que cumpliesen sobradamente con la calidad impuesta a todas las actuaciones cartográficas de carácter catastral en nuestro país.

**Densidad y metodología de la red.** El área de actuación es de aproximadamente unas 1015 hectáreas que cubre el casco urbano de Lugo Capital y zonas metropolitanas de los alrededores, siendo la idea inicial situar un punto de control cada 50 hectáreas, lo que conduciría a la implantación de unas 21 señales permanentes, con una distancia promedio entre ellas de entre 500 y 1500 metros, y repartidos uniformemente. Ahora bien, este requerimiento es lógico que sufra distorsiones, más en zonas cerradas de edificación donde las distancias promedio se verían seriamente condicionadas por la propia estructura de la red viaria. Esto nos condujo a pensar en establecer primeramente un marco central para la RTL, que consistiese en un red básica de lado medio de unos 1500 metros, perfectamente enlazada a la Red Geodésica Nacional de la provincia de Lugo con un número de 23 vértices, para a continuación encajar una serie de poligonales urbanas de precisión entre dichos vértices, y así dotar a la zona de una retícula de control que mantuviese una garantía local aceptable y, sobre todo, globalmente encajada al sistema de referencia vigente en España. Para la implantación de esta red básica, con un condicionante vital como es la falta de intervisibilidad en áreas urbanas con mucha edificación, se pensó que la solución ideal era la metodología GPS como alternativa a la observación clásica, que necesita de vueltas de horizonte despejadas para poder visar a los vértices adyacentes en todas las direcciones. Ahora bien, aunque el GPS no necesita de intervisibilidad entre los vértices para la observación, es necesario al menos que cada vértice tenga una visual despejada con vértices contiguos para poder orientar las poligonales secundarias o cualquier otro trabajo de topografía que se apoye en esta red, aunque en casos excepcionales se pueden ubicar vértices que tengan únicamente la función de cierre en coordenadas de las poligonales. Este hecho, hace que la operatividad de las redes G.P.S. sea mucho más grande, simplificando el diseño de la red, al poder ubicar gran parte de las señales en lugares más cómodos que los altos edificios, con las dificultades de acceso que esto trae consigo. Los sistemas de referencia planimétrico y altimétrico fijados son, respectivamente, la Red Geodésica Nacional de Tercer Orden y la Red de Nivelación de Alta Precisión.

**Señalización de los vértices de la red.** De los 23 que aproximadamente han de conformar la red básica, más de la mitad están ubicados en áreas no urbanas, es decir, en terreno suburbano sin edificación. Algunos vértices tuvieron que implantarse en zona urbana y el resto se situaron sobre la red viaria. Con estos condicionantes se prefijaron dos tipos distintos de señalización:

- Señales sobre terreno suburbano
- Señales sobre la red viaria. Sin entrar en detalles sobre la señalización en sí, las señales se ubicaron de acuerdo a tres factores de fundamental importancia:
  - a) Estabilidad y permanencia temporal de las señales
  - b) Accesibilidad garantizada
  - c) Visibilidad con al menos un vértice colindante

#### 4 DISEÑO DE LA RED Y MALLADO POLIGONAL

En este apartado describiremos las distintas fases para el establecimiento de la Red de Control Topográfico de Lugo.

**Requisitos técnicos.** El proyecto se hizo tomando como base los siguientes requisitos técnicos.

- Un número de vértices que oscilase entre 20 y 25, con el fin de cubrir el área citada de forma adecuada, es decir, una longitud media entre vértices adyacentes de 500 a 1500 metros.
- La ubicación de las señales debe ser tal, que el 100% de los vértices queden señalizados en el "suelo", es decir, evitando los edificios, debido a las dificultades de acceso y a las visuales muy inclinadas en la fase de poligonación.
- Cada vértice debe tener al menos una visual despejada a vértices contiguos, de tal manera que las poligonales entre vértices tengan su correspondiente orientación.
- La situación de los vértices ha de estar necesariamente en lugares estables, con la finalidad de la perdurabilidad de las señales.

La realización del proyecto definitivo en campo dio los siguientes resultados: 1 vértice geodésico, 1 vértice en la Escuela Politécnica Superior y 21 vértices de la red de densificación.

**Observación GPS de la Red Topográfica de Lugo.** La observación GPS se hizo con receptores Ashtech y Leica de doble frecuencia fijos en vértices geodésicos de Tercer Orden, y otros realizando puestas simultáneas de al menos cuarenta y cinco minutos en puntos de la RTL, de tal forma que en cada sesión se tuviese un correcto enlace a la Geodesia Nacional. Los vértices geodésicos estacionados fueron: Pena de Rei, Castro, Outeiro Maior, Pena do Picato, Costoira, Picato y Lugo (Compañía Telefónica), además del vértice de la E.P.S. Los datos necesarios de los vértices geodésicos son los siguientes: Todos están situados en el huso 29.

Vértice	Nº	Longitud	Latitud	Altitud	X	Y	Factor de escala	Convergencia de meridianos
Pena do Rei	7261	-7.38358621	43.01132943	656.80	610552.080	4764054.585	0.999750334	0.553258
Castro	7294	-7.32385320	43.04242076	543.00	618538.160	4770079.476	0.999772836	0.593999
Outeiro Maior	7323	-7.26407006	43.03067303	728.50	626675.123	4767834.662	0.999797379	1.034292
Pena do Picato	9849	-7.22112531	42.59189472	636.80	632907.491	4760923.568	0.999817282	1.064220
Costoira	9794	-7.32528602	42.54144754	607.00	618539.200	4751264.629	0.999772845	0.591890
Picato	9766	-7.38483084	42.56094702	783.4	610421.292	4754677.612	0.999749981	0.551883
Lugo	7280	-7.33043696	43.00339997	494.8	618076.411	4762967.764	0.999771494	0.591809

El sistema de referencia altimétrico se definió a partir de la Red de Nivelación de Alta Precisión (N.A.P.) del I.G.N, mediante los clavos de nivelación.

#### 5 CÁLCULO Y AJUSTE DE LA RED GPS

El proceso de cálculo ha seguido las siguientes líneas generales:

- Cálculo de las líneas base observadas con la aplicación GPS de ASHTECH denominada PRISM, con el correspondiente control de la calidad de los resultados.
- Creación de un fichero ASCII con los datos siguientes: Punto de estación, punto visado y la línea base (dx,dy,dz) en el sistema WGS84.
- Creación de un fichero ASCII con las coordenadas U.T.M. en el sistema ED - 50 local y vigente en España de los vértices geodésicos.

- Transformación de las coordenadas U.T.M. a geodésicas (latitud y longitud)
- Determinación de la Ondulación del Geoide N en estos puntos mediante la aplicación de software de ASHTECH denominado PRISM, con una precisión relativa en la zona de Lugo de  $\pm 0.005$  metros por kilómetro. De esta forma se pasa de(B,L,H+N) a (B,L,h), siendo h la altura sobre el elipsoide en el sistema ED-50.
- Transformación de las coordenadas (B,L,h) en ED-50 a coordenadas cartesianas tridimensionales (X,Y,Z).
- Determinación de la transformación de Helmert, entre los sistemas ED-50 y WGS84 a partir de las coordenadas (X,Y,Z) y las observaciones GPS.
- Con las coordenadas (X,Y,Z) de los vértices geodésicos en ED-50, y de las observaciones GPS transformadas se realiza el cálculo de las coordenadas de todos los puntos de la red, realizándose al mismo tiempo un primer control de la calidad de las observaciones GPS.

El ajuste de la red se va a realizar en las siguientes fases:

- Transformación de las observaciones GPS en observaciones geodésicas de acimut, distancia reducida al elipsoide y diferencia de altitud
- Transformación de la diferencia de altitud al elipsoide en diferencia de altitudes al geoide.
- Se realiza la ponderación de las observaciones, obteniéndose dos ficheros ASCII, uno para las observaciones planimétricas y otro para las diferencias de altitud. El método de ajuste, para la planimetría es el de variación de coordenadas, y la técnica de estimación la de mínimos cuadrados, aplicándose el Test de Baarda para la detección de errores groseros. Mediante una ordenación adecuada de los vértices de la red (grafo) se obtiene una matriz normal tipo banda, invirtiéndose por el método de Cholesky.

## 6 PRESUPUESTO PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA RED MICROGEODÉSICA CON GPS, FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO INICIAL

a) Observación para vinculación a la Red Geodésica Nacional, utilizando técnicas GPS, y densificando dicha Red dentro del casco urbano de Lugo.

- Equipo material: Dos antenas receptoras GPS, System 300 de Leica, modelo SR-399, más una unidad de control CR-333 y material auxiliar (baterías, cargadores, tarjetas de memoria PCMCIA y cables de sistema).
- Equipo humano:

Dos técnicos a 15,000 pts/día/técnico

Total: 240.000 pts.

Un ayudante a A 5.000 pts/día/ayudante

Total : 40.000 ptas.

Tiempo de observación: 8 días, a un ritmo de 3 vértices/día con jornadas de 8 horas, estimando unas 2 horas y media por vértice (incluye 1 ó 2 horas de observación, por vértice, además del tiempo necesario para llegar a cada vértice y estacionar en él).

- Cálculo y ajuste de la red.

Total: 150.000 pts.

- Alquiler del equipo GPS System 300 de Leica.

Total] : 200.000 pts.

**Coste: 630.000 pts.**

b) Un ordenador PC Pentium II a 400 Mhz, cuyas características principales son: sistema operativo Windows 95, 64 MB-SDRAM, 4.3 GB-HD, 8 MB-Memoria de Vídeo, CD-ROM 32x, Monitor de 17". Este sistema servirá para la elaboración de la cartografía, la gestión del S.I.G. y la actualización de ambos campos.

**Coste: 370.000 pts.**

c) Observación, mediante topografía clásica, de dos triángulos, con vértices visibles entre sí, de la Red alrededor del vértice de la E.P.S. de Lugo, para comprobar su fiabilidad por métodos clásicos y vincularla a la Red de N.A.P. (Nivelación de Alta Precisión).

- Equipo material: Una estación total Leica **TC-605/L**, un nivel automático de alta precisión Wild NA 2.

- Equipo humano:

Un técnico a 15.000 ptas/día/técnico

Total: 30.000 pts.

Un ayudante a 5.000 ptas/día/ayudante

Total: 10.000 pts.

Tiempo de observación: 2 días, un día con la estación total y otro con el nivel automático, para dos triángulos con Base en el vértice de la E.P.S. (en total, 3 vértices + el vértice de la E.P.S.)

- Cálculo y ajuste de la Red:

Total : 50.000 pts.

**Coste: 90.000 pts.**

d) Colección de planos en soporte poliéster a la escala prefijada en el Pliego de Condiciones y también una colección de planos en soporte digital (en formato a elegir .DGN, .DWG ó .DXF), a la escala asignada en el Pliego de Condiciones.

Las dimensiones de la Red son: anchura 4.000 metros (eje X) y altura 5.000 metros (eje Y), utilizando el formato normalizado DIN-A0, tanto en soporte poliéster como en soporte digital. Primeramente, se entregarán 2 hojas, posteriormente podría llegarse a realizar entre 85 y 95 hojas a escala 1:500 para densificar toda la Red.

Total: 55.000 pts/hoja de cartografía digital (planimetría)

**Coste: 110.000 pts.**

e) Señalización de la red: Un total de 21 vértices, exceptuando el vértice "Lugo" situado en el edificio de Telefónica y el vértice de la Escuela Politécnica Superior (E.P.S.).

- Con clavos de aluminio

- Con eurobornes (vértices con bases de hormigón)

Total: 15.000 pts/vértice (valor medio, incluyendo la mano de obra y medios auxiliares para su instalación)

**Coste: 315.000 ptas.**

**COSTE TOTAL EJECUCIÓN: 1.515.000 Ptas.**

**IVA (16%): 242.400 Ptas.**

El presupuesto total de la instalación de la microred asciende a 1.757.400 ptas.