

MEJORAS INTRODUCIDAS EN LA RED LOCAL DE MONITORIZACIÓN DE MOVIMIENTOS DE CARDONA AL TRABAJAR CON DOBLE CONSTELACIÓN GNSS

José A. Gili, Nieves Lantada, Càrol Puig
Dep. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña
j.gili@upc.edu, nieves.lantada@upc.edu, carol.puig@upc.edu
Jordi Marturià
Institut Geològic de Catalunya (IGC)
jmarturia@igc.cat

Palabras clave: GPS, GLONASS, monitorización, subsidencia

Resumen

Alrededor de la localidad de Cardona (Barcelona, España) la explotación minera ha provocado subsidencias y otros desórdenes en superficie. En 1997 se estableció en la zona una red local de unos 40 puntos, para control de movimientos mediante GPS (método Estático-Rápido), con campañas anuales.

En la última campaña de campo (octubre de 2008) se ha tenido ocasión de emplear cuatro receptores de doble frecuencia y de doble constelación, capaces de registrar y procesar las portadoras de los satélites GPS americanos y de los GLONASS rusos. Se han procesado las baselíneas de dos maneras diferentes: con todos los observables o bien sólo con los de GPS. Como era de esperar, el procesado con la doble constelación introduce una muy ligera mejora operativa de precisión al disponer de mayor número de satélites. La desviación típica de una serie de 34 cierres de triángulos observados pasa de 4 mm (GPS) a 3 mm (GPS+GLONASS) en planimetría, y de 6 mm (GPS) a 4 mm (GPS+GLONASS) para la componente altimétrica.

1 Introducción

La explotación de las sales potásicas se lleva a cabo en Cardona (Comarca del Bages, a unos 90 Km de Barcelona, España) desde la época romana. La actividad minera se vio notablemente incrementada en la segunda mitad del siglo XX. El volumen de las extracciones fue tal que los movimientos del terreno fueron amplios en superficie: las subsidencias en campos y masías de los alrededores de la población, especialmente en la “Vall Salada” (figura 1), han sido de orden métrico. Por otro lado también se han registrado algunas “bòfies” (socavones) producidas por disoluciones de las sales y arrastres de terreno debidos a la circulación de aguas subterráneas.

En 1997 la Universitat Politècnica de Catalunya (U.P.C.) estableció en la zona una red local de medida de movimientos del terreno mediante técnicas GPS [1]. En el año 2000 la Agència Catalana de l’Aigua colaboró en los trabajos de monitorización de movimientos alrededor de las actuaciones que dicha Agencia ejecutaba en el cauce del río Cardener. Recientemente, el Institut Geològic de Catalunya (I.G.C.) coordina diversos estudios alrededor de la “Conca Potàssica”, formación geológica en la que se enmarca el afloramiento explotado en Cardona [2]. Esto incluye diferentes redes de observación, en particular la tratada en este artículo.

En esta red local se ha llevado a cabo una campaña cada año, observando 40 puntos con cuatro receptores GNSS y mediante el método estático-rápido, enlazando con la red geodésica. Durante la década transcurrida desde el inicio de los trabajos, en algunos puntos se han detectado movimientos significativos: entre los 20 cm de subsidencia (asentamiento) y los 15 cm de absidencia (levantamiento, en zonas afectadas por hinchamiento de las sales).

En la última campaña de campo (epígrafe 2) se ha tenido ocasión de emplear cuatro receptores de doble frecuencia y de doble constelación, capaces de registrar las portadoras de los satélites GPS americanos y de los GLONASS rusos. En el epígrafe 3 se resume el procesado de las distintas ocupaciones estáticas. Se han usado primero los observables GPS y los GLONASS, y luego exclusivamente los de GPS. En el siguiente punto se ha analizado la influencia de ambas estrategias y la mejora de precisión

2 Observación de la red

La red se extiende en un área de 4,6 Km x 2,9 Km alrededor de Cardona. Cubre toda la “Vall Salada” (figura 1), desde la “Muntanya de Sal” hasta el “Turó de Sant Onofre” y el antiguo cauce del río Cardener cerca de la Factoría de la Mina. Por el Oeste, abarca la zona denominada “Els Escorials” o “Camí de Lourdes”, al sur de la Carretera del Miracle. Por el norte, una serie de puntos de control están situados en el casco urbano y en algunas masías aisladas. La densidad de los puntos de control es relativamente baja (unos 3 puntos por Km²), dado que la red se diseñó para la detección de movimientos generales, representativos de amplias zonas [3].

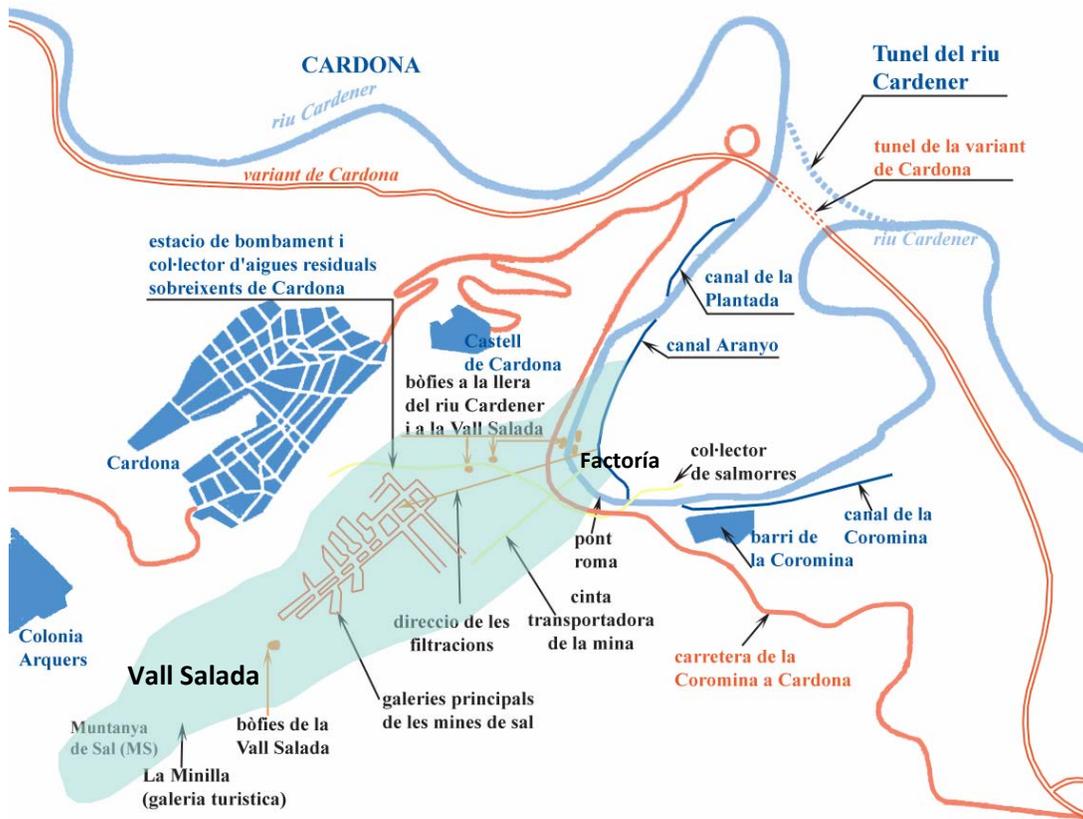
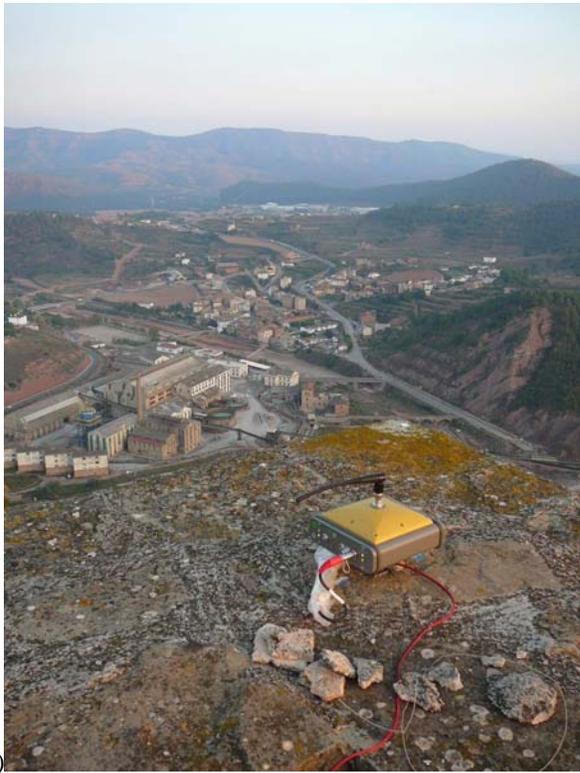


Figura 1. Esquema aproximado de la zona central del área de estudio, abarcando la Vall Salada, la Muntanya de Sal y la Factoría de la Mina.

La red GPS se creó como una red local, con movimientos referidos al vértice geodésico “Serrat de l’Obaga Negra”, próximo a Cardona. Posteriormente, a partir de octubre de 2007, la red local GPS de Cardona se enlaza con la red comarcal de la “Conca Potàssica” (CK), coordinada por el I.G.C. Los puntos de enlace son el CK29 y el CK30 (figura 2), ambos de centrado forzado.



a)



b)



c)



d)

Figura 2. Imágenes de diferentes puntos de control de la red de Cardona. (a) CK29, en el Parador. (b) CK30, en el Hotel Vilar Rural. (c) estacionamiento con trípode en el C11 (d) C05 en una base de hormigón.

3 Procesado de los datos

Tras descargar los archivos de los receptores, hemos procesado las baselíneas con el programa de la misma marca (TopconTools, v.7 [4]). Al importar los archivos, se chequea el nombre del punto, la integridad y duración del registro, y la altura de la antena.

Como puntos de partida conocidos, se fijan las coordenadas de los puntos de enlace con la red comarcal, en coordenadas latitud, longitud y altura elipsoidal ETRS89.

Una primera comprobación se realiza en la baselínea CK29-CK30 (1901 m) observada durante dos jornadas completas (8 y 10h). La disparidad entre las dos sesiones es milimétrica ($dN=6$ mm, $dE=2$ mm, $dh=5$ mm).

El resto de los puntos está observado con sesiones “cortas”. Para cada estación simultánea de los dos receptores “rover” se forma un rombo con sus dos diagonales¹. Una de ellas sería la baselínea CK29-CK30, la otra diagonal nos servirá de control sobre el cierre de la sesión, antes de hacer el ajuste. La comprobación se ha centrado en los ‘cierres’ de los triángulos entre baselíneas, dos por cada rombo (figura 4); el número total de triángulos disponibles es de 34. Esos cierres 3D son una medida empírica de la precisión de la observación.

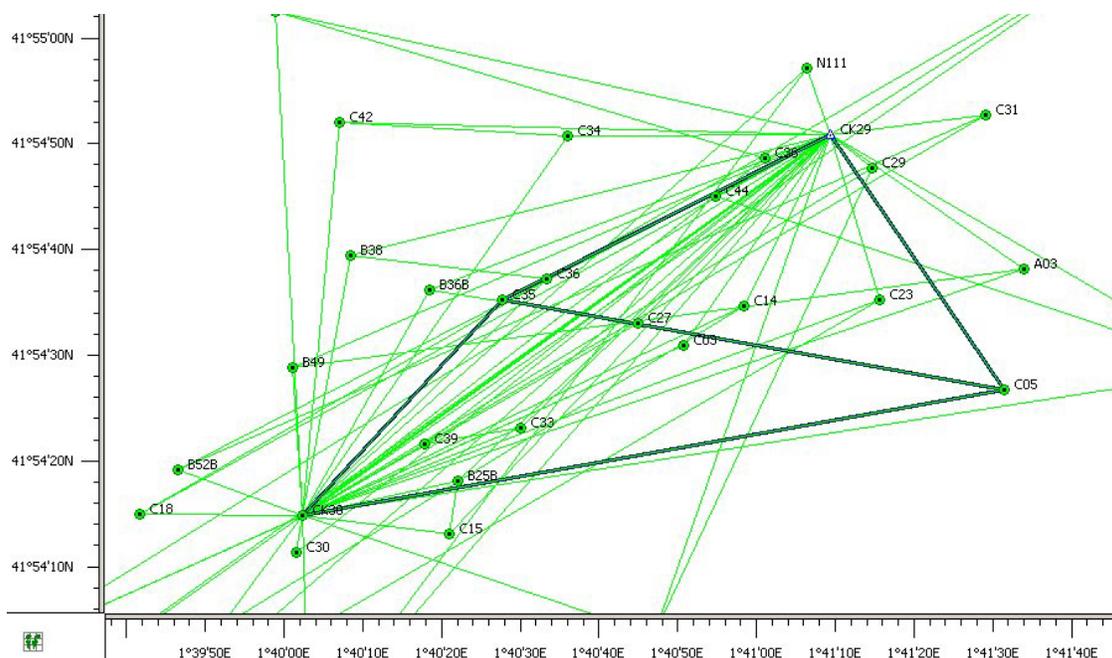


Figura 4. Triángulos usados para la comprobación de los cierres de cada sesión. En la figura se han resaltado los dos triángulos dentro del rombo formado por los puntos CK29-CK30-C05-C35.

El anterior procedimiento de cálculo se ha llevado a cabo de dos formas diferentes: con todos los observables (GPS+GLONASS) o bien sólo con los observables GPS. La estadística de los cierres obtenidos en ambos modos se analiza en el siguiente epígrafe.

¹ se han procesado de manera conjunta las baselíneas simultáneas en el tiempo

4 Análisis de los cierres y comparación de resultados

Todos los triángulos usados para comprobar la precisión de las sesiones de observación han arrojado cierres dentro de las tolerancias habituales. Según las características técnicas de los receptores usados [4], la precisión típica (σ) en planimetría para este método es de (3 mm + 0,5 ppm); y en altimetría de (5 mm + 0,5 ppm). Los triángulos tienen unas longitudes totales (perímetros) entre 1080 y 8568 m. Un cálculo somero de las tolerancias en los cierres de la suma de tres baselíneas nos permite aceptar todos los valores que se muestran en forma de gráficos a continuación.

En la figura 5 se presentan las gráficas de frecuencia acumulada de los cierres citados, para las tres componentes (dN, dE y dh) y para los dos procesados. Los valores de la desviación típica para cada componente y procesado se encuentran en la Tabla 1.

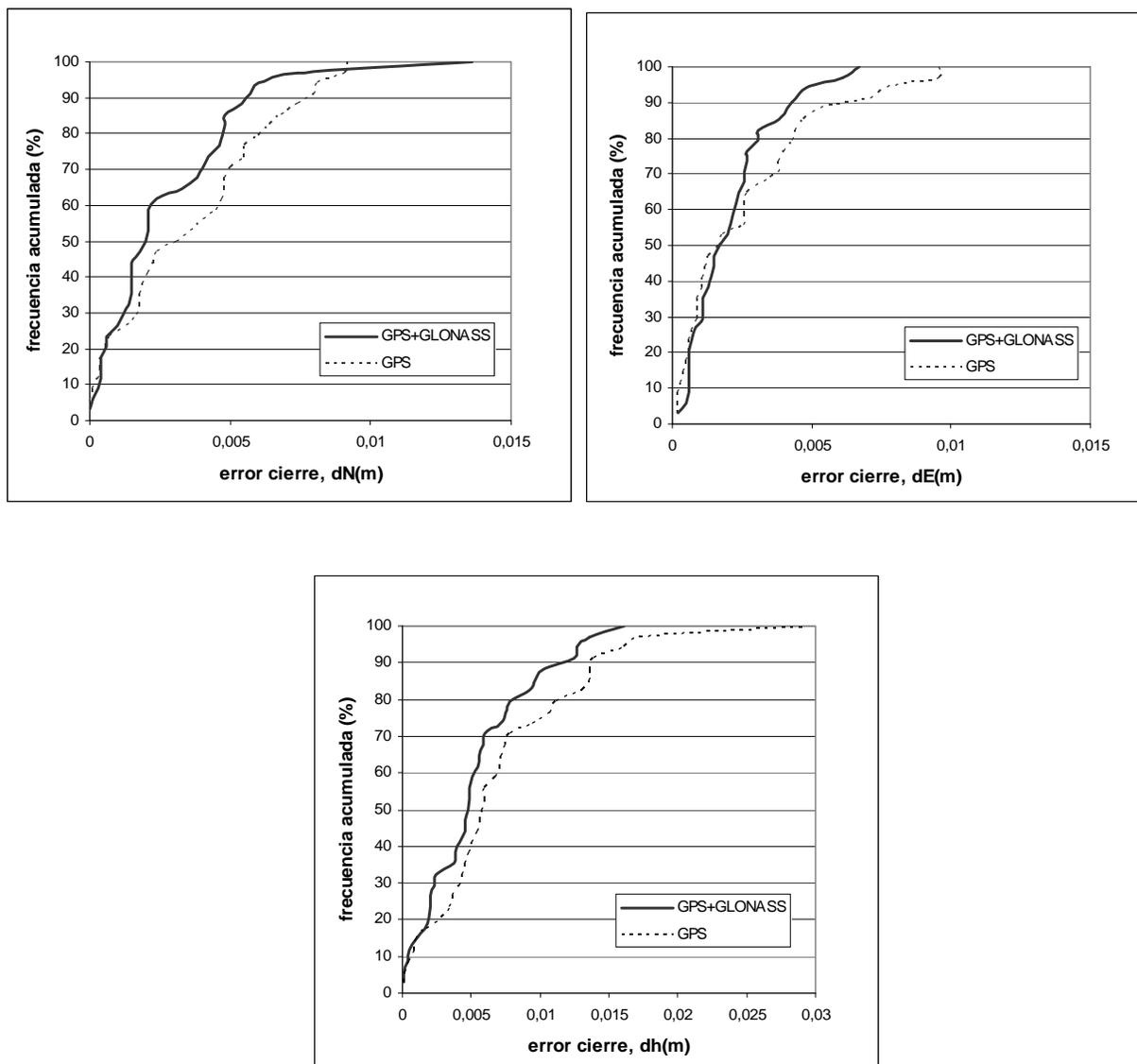


Figura 5. Gráficas de frecuencia acumulada de los cierres de los 34 triángulos formados por baselíneas simultáneas observadas con método Estático Rápido Extendido: dN y dE (arriba), dh (abajo). En línea continua las disparidades con procesado GPS⁺ (GPS+GLONASS), en discontinua los resultados para el procesado únicamente con los observables GPS.

Tabla 1. Desviaciones típicas de los cierres de los 34 triángulos formados por baselíneas simultáneas observadas con método Estático Rápido Extendido

	GPS ⁺ (GPS+GLONASS)	GPS solo
σ_{dN} (m)	0,0027	0,0028
σ_{dE} (m)	0,0016	0,0026
σ_{dh} (m)	0,0041	0,0061

5 Comentarios finales

En este artículo se han presentado las comprobaciones de las baselíneas observadas entre 35 puntos de la red local de Cardona, usando el método Estático Rápido Extendido. Se han procesado usando los observables GPS y GLONASS, o bien sólo los GPS.

Los valores de los cierres de los 34 triángulos han sido todos tolerables, con unos valores máximos para el caso GPS+ de 13,6 mm, 6,7 mm y 16,1 mm para las componentes dN, dE y dh respectivamente; y de 9,2 mm, 9,6 mm y 32,6 mm para el procesado sólo con observables GPS. Como se aprecia resumidamente en la Tabla 1, los observables GLONASS aportan una muy ligera mejora en la desviación típica observada para ambos procesados.

Desde hace años se ha anticipado la mejora de las condiciones de observación al disponer de la doble constelación (GPS+GLONASS) [5]. Efectivamente, el número total de satélites es mayor, y los factores DOP mejoran. Esto generó buenas expectativas en entornos de visibilidad limitada, como por ejemplo las minas a cielo abierto, los valles estrechos, los cañones urbanos, etc. Pero, por un lado el número actual de satélites GLONASS está por debajo de los 24 previstos y es variable; durante la toma de observables para este artículo (23 y 24 de octubre de 2008) el total de satélites GLONASS era de 14; desde entonces, los lanzamientos y entradas en operación han elevado el número a 19 (febrero 2009, [6]). Y por otro lado la precisión real en aplicaciones estáticas sólo mejora muy ligeramente, como era de esperar y como se ha comprobado en [7] y en el presente trabajo.

Sin embargo, para aplicaciones cinemáticas, marcadamente con el método Cinemático en Tiempo Real (RTK), disponer de esos satélites adicionales ayuda al trabajo de campo. Se facilita y acelera el proceso de inicialización y posicionamiento, confiriendo mayor robustez al procedimiento. Por ejemplo, en un entorno bastante obligado (monitorización de movimientos con GPS en la ladera de Vallcebre [8]) se ha constatado este cambio, consiguiendo un mayor número de posicionamientos exitosos con receptores duales y método RTK.

La aparición de una tercera constelación (GALILEO, cuando esté operativa), significará una mejora adicional de precisión. Al ser una constelación completa, la mejora para aplicaciones estáticas deberá ser mayor que la constatada en el presente trabajo.

Agradecimientos

Se quiere agradecer al Institut Geològic de Catalunya la coordinación de las redes de observación en la “Conca Potàssica” y su compromiso en la continuación del estudio. A Xavier Soler, de la empresa GPS-Global, por la observación de la red regional (CK). En la época anterior del proyecto se contó con la colaboración de la Agència Catalana de l’Aigua, especialmente de Mireia Iglesias y de Jesús Martínez.

Los receptores usados en la observación de la red local de Cardona han sido facilitados por Topcon (a través de Inland Geo) y por la Escola Politècnica Superior d’ Edificació de Barcelona.

Agradecer la ayuda de Aline Concha del I.G.C., y de Sergio Padilla por el trabajo de campo de 2008, y de los estudiantes que han participado en las campañas anteriores de observación de la red de Cardona.

Referencias

- [1] Deiana, D., 2002. Evaluation of the environmental risk caused by subsidence, collapses and halokinetic movements in Cardona's diapir. Tesina de especialidad de la E.T.S. d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC). 106 p.+Anejos.
- [2] Scialpi, S., 2008. Monitoring of mining induced settlements in wide areas with GPS. Tesina de especialidad de la E.T.S. Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC). 120 p. + Anejos.
- [3] UPC, 2008. Informe fase II: Control topogràfic de moviments del terreny amb GPS a la zona de Cardona, Campanyes de camp d’octubre 2006 i octubre 2007. Elaborado para la Agència Catalana de l’Aigua. 42 p. + Anejos.
- [4] Topcon, 2006. Hiper Pro Operator’s Manual. Topcon Positioning Systems, Inc., Livermore, USA. 50 p.+ Anejos.
- [5] Contreras, H., 1998. GPS+GLONASS Technology at Chuquicamata Mine, Chile. Proceedings of ION GPS-98, Nashville, USA. 4 p.
- [6] IAC, 2009. Information-Analytical Center, pag web: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/> (último acceso 13.02.2009).
- [7] Pérez-Carreras, A., 2008. Observaciones con GPS y Glonass en el área metropolitana de Barcelona. Proyecto Final de Carrera de la E.P.S. d’Edificació de Barcelona (UPC). 178 p. + Anejos.
- [8] Gili, J.A., J. Corominas y J. Rius, 2000. Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. Engineering Geology 55, pp. 167-192.