

Análisis mediante Interferometría Diferencial Avanzada de los movimientos del terreno en La Unión (Murcia)

Advanced Differential Interferometry analysis of ground deformation in La Unión (Murcia, Spain)

G. Herrera¹, R. Tomás², J.M. Lopez-Sanchez³, J. Delgado⁴, J.J. Mallorquí⁵,
S. Duque⁵, J. Mulas¹ y R. De la Vega-Panizo⁶

- 1 Área de Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica. Instituto Geológico y Minero de España c/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, E-mail: g.herrera@igme.es
- 2 Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Alicante 03080. E-mail: roberto.tomas@ua.es
- 3 Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal (DFISTS), Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Alicante 03080. E-mail: juanma.lopez@ua.es
- 4 Departamento de Ciencias de la Tierra y Medioambiente. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, Alicante 03080. E-mail: jose.delgado@ua.es
- 5 Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, Universitat Politècnica de Catalunya, c/Jordi Girona, 1-3, Ed. D-3, Barcelona 08034. E-mail: mallorqui@tsc.upc.edu
- 6 Departamento de Explotación de los Recursos Minerales y Obra Subterránea. Escuela de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 28003. E-mail: rogelio.delavega@upm.es

Resumen: En este trabajo se ha utilizado la técnica de interferometría diferencial avanzada (A-DInSAR) de los Píxeles Estables Coherentes (CPT) para estudiar los movimientos del terreno en la zona minera de La Unión (Murcia) en dos periodos temporales entre Enero de 1998 y Diciembre 2000, y desde Marzo de 2003 a Diciembre de 2004. La Unión ha sido explotada en distintos periodos intermitentes desde el tiempo de los romanos. Esta explotación histórica ha dejado una gran concentración de minados en la zona que generan inestabilidades del terreno. Los mapas de deformación estimados por la técnica CPT han permitido detectar y monitorizar diferentes procesos de deformación activos presentes en el área de estudio. La superposición de estos resultados con los mapas de galerías subterráneas existentes ha permitido correlacionar la subsidencia con la existencia de minados. Del mismo modo, los valores de deformación estimados por la técnica CPT han sido comparados con las medidas de nivelación topográfica tomadas en el segundo periodo, resultando una diferencia absoluta acumulada de 7 mm con una desviación estándar de 5 mm.

Palabras clave: Interferometría diferencial avanzada SAR, subsidencia, áreas urbanas, Murcia.

Abstract: The town of La Union (SE, Spain) is located within a metal mining area that has been exploited since the Roman period. This historic exploitation has left behind a high concentration of abandoned underground mining galleries. Currently, an industrial area is subsiding due to the collapse of one of these galleries in May 1998. In this paper, an advanced Differential Interferometry SAR (DInSAR) method called the Coherent Pixels Technique (CPT) has been used to study the subsidence phenomena for two time intervals, from January 1998 to December 2000, and from March 2003 to December 2004. DInSAR-derived deformation maps have enabled the detection and monitoring of different deformation processes that affect several locations within the study area. By comparing these results with the underground mining galleries map, a clear relationship between their presence and the subsidence has been proved. Deformation values retrieved with DInSAR between April 2003 and December 2004 have been compared with the topographical levelling network measurements performed in the second period, providing an absolute average difference of 0.7 cm with a standard deviation of 0.5 cm.

Key words: Advanced differential SAR Interferometry; subsidence; urban areas, Murcia, Spain.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio de este trabajo, de 12 x 8 km incluye la zona minera del término municipal de La Unión (Murcia), donde la explotación de Pb-Zn se inició en tiempo de los romanos llegando, tras varios periodos de inactividad, hasta finales del siglo XX

(Manteca y Ovejero, 1992). Es por ello que se encuentran gran cantidad de minados en el subsuelo de la zona, que ocasionan inestabilidades en el terreno.

En Mayo de 1998, comenzaron a observarse importantes asientos de terreno que afectaron a las edificaciones del polígono industrial de Lo Tacón (La

Unión), causando una gran alarma social. La Consejería de Industria y Medio Ambiente (CIMA) de la Región de Murcia impulsó varios trabajos para estudiar la subsidencia ocurrida. Se instaló una red de nivelación topográfica con 25 puntos de control. Hasta junio de 1999, se midieron asentamientos máximos de -53.6 cm (-4.8 cm/mes) en el centro de un área circular de 300 m x 300 m (Fig.1), ubicada sobre explotaciones mineras subterráneas. En diciembre de 2002, se incrementó el número de puntos de control hasta 57 y se midieron asentamientos máximos de -5.3 cm, hasta julio de 2004 en el centro de dicho área. Resulta importante indicar que es en este lugar en el que mayor concentración de minados se han cartografiado, con un valor medio del 67% de huecos, entre los 80 y los 250 m bajo la superficie (Rodríguez *et al.*, 2000). El volumen de subsidencia calculado fue de 20.810 m³, que equivale aproximadamente al 7.5% del total de minados, considerando una altura media de 4 m. Las grietas detectadas en la zona occidental eran desgarrs sinxtrosos compresivos, mientras que en la zona oriental las grietas eran abiertas, hecho que permitió indicar que, además de desplazamientos verticales, hubo desplazamientos horizontales hacia el noroeste. Esta hipótesis, junto con la del hundimiento observado entre las fallas de Las Lajas-La Cierva y de Lazareto, permitió correlacionar a Rodríguez *et al.* (2000), la ocurrencia del sismo del 2-5-1998 con la subsidencia. De esta forma el terremoto, a pesar de ser de pequeña magnitud ($m_b=2.3$), pudo propagar su energía a través del plano de dicha falla, desencadenando el hundimiento y provocando un efecto en cadena en la zona de minados.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Desde un punto de vista geológico, la zona de estudio se encuentra en la Sierra de Cartagena, que corresponde al dominio interno de las cordilleras Béticas. Se caracteriza por estar constituida por una serie de mantos de cabalgamiento superpuestos, que tras una importante fase de erosión, fueron recubierto por una serie neógena post orogénica de rocas sedimentarias. Tras el Neógeno, hay una importante fase de fracturación, seguida de fenómenos volcánicos y levantamiento de la Sierra actual (García-Tortosa *et al.*, 2000). El magmatismo intrusivo del volcanismo Mioceno sobresale en forma de diques o "cabezos". Finalmente, una fina capa de depósitos aluviales cuaternarios de arena, limos y arcillas cubren estos materiales. Desde un punto de vista estructural, el área de estudio se encuentra cerca de la intersección de dos fallas regionales: Cartagena-La Unión (N70E) y Cuesta Las-Lajas-La-Cierva (N130E), que son las fallas principales de dos sistemas de fracturas regionales (Fig.1). La elevada complejidad geológico-estructural de la zona ha provocado una intensa compartimentación en bloques con funcionamiento independiente y escasa o nula relación hidrodinámica entre ellos. Dentro de la zona de estudio se consideran como formaciones permeables los tramos carbonatados del Nevado-Filábride y de las unidades del Alpujarride, así como las formaciones detríticas del Mioceno y Cuaternario. No

obstante, las formaciones impermeables, constituidas por los esquistos del Nevado-Filábride, las filitas y cuarcitas de las unidades del Alpujarride, así como las argilitas, margas y arcillas del Mioceno y Cuaternario, que son las que están representadas de forma mayoritaria. Este hecho y la ausencia de espesores compresibles significativos hacen pensar que la subsidencia debido al rebajamiento del nivel freático no es probable en el área de estudio.

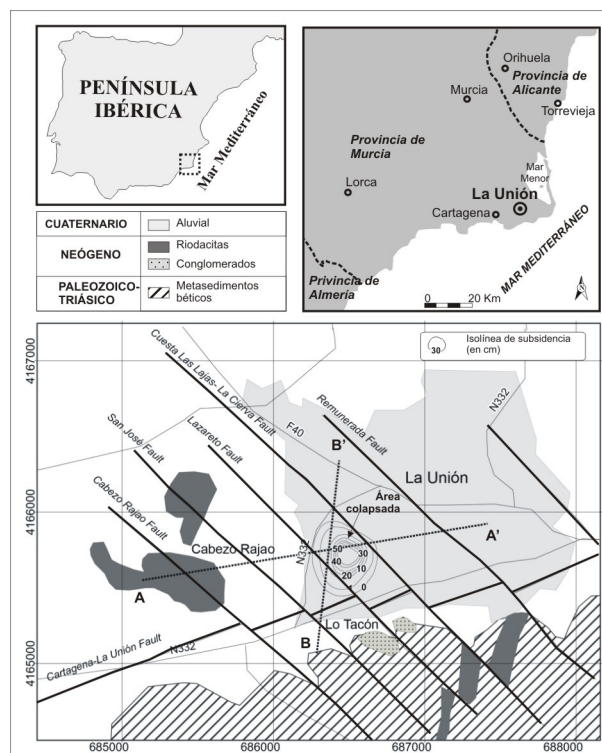


FIGURA 1. Mapa geográfico y geológico de La Unión y ubicación de las isolas de subsidencia estimadas por Rodríguez-Estrella *et al.* (2000).

RESULTADOS CPT A-DINSAR

En este trabajo se ha aplicado la técnica de interferometría diferencial avanzada (A-DInSAR) de los Píxeles Estables Coherentes (CPT) desarrollada por Mora (2004). Se han utilizado imágenes radar de apertura sintética (SAR) adquiridas por los satélites ERS-1, ERS-2 y ENVISAT de dos periodos temporales, 25 para el periodo 1998 y 2000 y 28 para el periodo 2003 y 2004. De todas las combinaciones posibles de imágenes para cada periodo, solo se han generado interferogramas de aquellas combinaciones de dos imágenes SAR cuya *baseline* perpendicular es menor de 135 m, su base temporal es menor que 900 días y la diferencia de doppler centroide es de 250 Hz. Los interferogramas se han calculado con una relación de *multilook* de 20×4 píxeles resultando una resolución final de 80×80 m por cada píxel. Los mapas de deformación estimados en coordenadas espaciales se han transformado a coordenadas UTM European Datum.

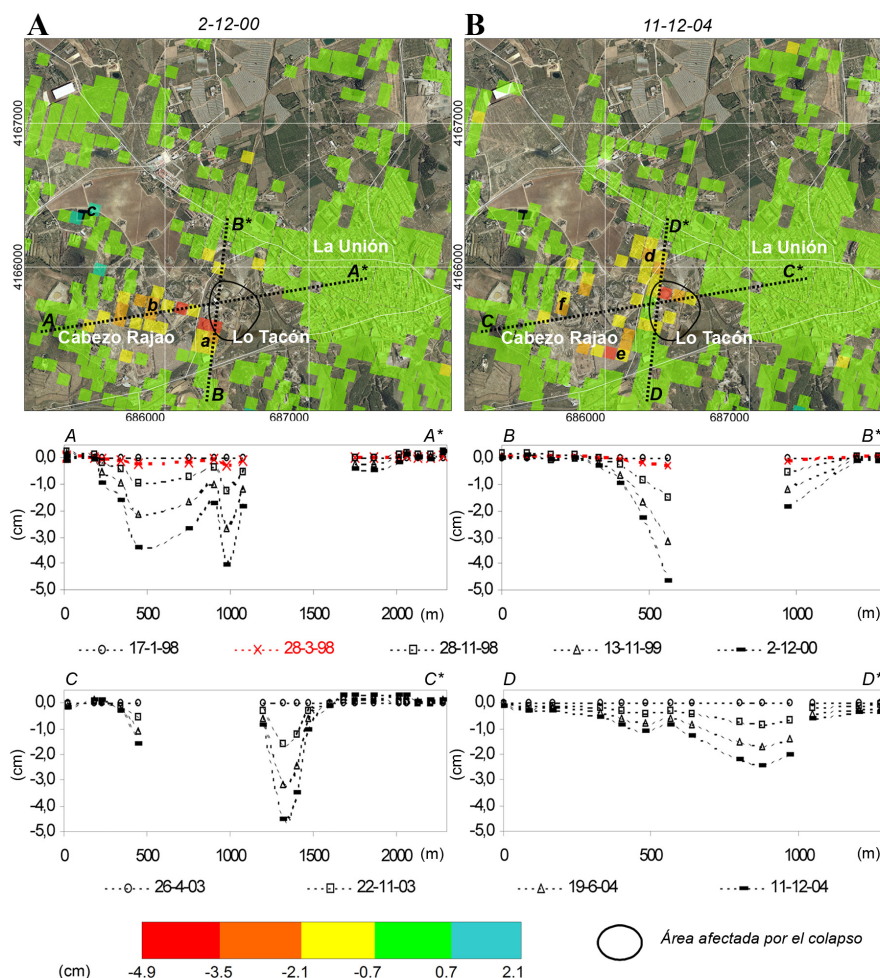


FIGURA 2. Mapas de la deformación total estimados para los periodos: enero de 1998 y diciembre de 2000, abril de 2003 y julio de 2004.

Es por ello que, por un lado se ha podido monitorizar la subsidencia minera ocurrida en La Unión y por otro, detectar deslizamientos activos desconocidos en las cortas de la Sierra Minera, que se extienden hasta Portman. A continuación se describen los resultados de deformación obtenidos en La Unión. En el mapa de deformación total estimado entre 1998 y 2000, se observan dos áreas que han experimentado subsidencia: el polígono industrial de Lo Tacón y el área del Cabezo Rajao. En la primera (a Fig.2) las deformaciones estimadas varían entre -0.6 cm y -4.6 cm (-2.3 cm/año). Sin embargo en el centro del polígono de Lo Tacón no se ha estimado la deformación (perfiles AA' y BB'), ya que la velocidad del asentamiento en dicho área fue del orden de -50 cm/año, valor muy superior al límite de detección teórico de las técnicas A-DINSAR de -10 cm/año. No obstante, en el entorno de dicho área se ha estimado una deformación de algunos milímetros con anterioridad al colapso de mayo 1998 (perfiles AA' y BB'). Por otro lado, en el Cabezo Rajao (b Fig.2) las deformaciones totales estimadas varían entre -0.3 cm y -2.7 cm. En el siguiente periodo analizado, desde abril de 2003 a diciembre de 2004, se observa que tres áreas han experimentado subsidencia. En el polígono industrial de Lo Tacón la parte sur es estable, mientras que hacia el norte y, limitando con el núcleo urbano de La Unión (d Fig.2), las deformaciones totales al final

del periodo son inferiores a -1.6 cm. En el centro de esta área, que es donde se produjo el colapso en Mayo de 1998, los asentamientos máximos son de -4.2 cm (-2.1 cm/año). Es por ello que, para este periodo y en dicha área, sí que se ha podido estimar la deformación (perfiles CC' y DD'), ya que la velocidad del asentamiento ha disminuido en un orden de magnitud. Por otro lado, hacia el suroeste y limitando con la carretera N-232 (e Fig.2), la deformación acumulada máxima es de -3.7 cm. Finalmente en el área del Cabezo Rajao (f en Fig.2), las deformaciones totales son de -2.7 cm.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A continuación se analiza la relación entre el mapa de galerías subterráneas y las deformaciones totales estimadas por la técnica CPT. Para ello se ha generado un mapa en el que se han sumado las deformaciones totales observadas en ambos periodos. De esta forma, se observa una clara correlación entre la ubicación de las galerías subterráneas y las áreas en superficie afectadas por la deformación. Así teniendo en cuenta la ubicación de los píxeles deformados respecto a la posición de las galerías subterráneas en el plano y en profundidad, se ha estimado el ángulo de derrumbe. Dicho valor oscila entre los 20 y 33 grados, que se corresponden con los

valores recogidos en la literatura (Bello, 1995). Teniendo en cuenta el ángulo más desfavorable de 33°, el área potencial de subsidencia estimado es de 1400 x 800 m aproximadamente. Esta área, que incluye el polígono de Lo Tacón y el Cabezo Rajao y limita al norte con el casco urbano de La Unión, es 12 veces mayor que el área de subsidencia detectada por la red de nivelación topográfica.

Se ha realizado una comparación de la estimación de la deformación total para el periodo 2003- 2004 con las mediciones realizadas mediante nivelación topográfica en ese mismo periodo. Aunque el punto de referencia (de deformación 0 cm) utilizado por ambas técnicas no es el mismo, la estimación CPT de la deformación en el punto de referencia de la red de nivelación es de -0.1 cm, por lo que la comparación de ambas bases de datos es posible. De los 57 puntos de la red de nivelación, un total de 35 puntos de control coinciden con píxeles coherentes, mientras que en los 22 puntos restantes no se ha podido estimar deformación, porque están ubicados en zonas no construidas y no rocosas, que no pueden proporcionar buenos valores de coherencia.

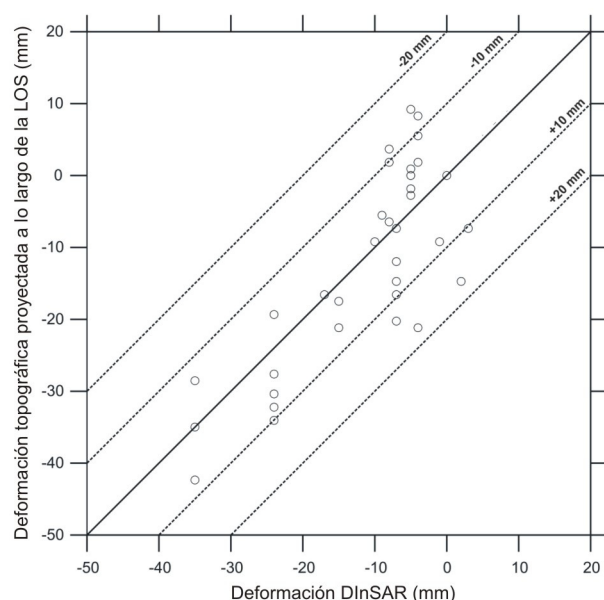


FIGURA 3. Comparación entre la deformación total estimada mediante la técnica CPT y la deformación total medida por la red de nivelación topográfica proyectada en la línea de vista del satélite.

Como resultado de la comparación de la deformación total observada por ambas técnicas, en Julio de 2004, para toda la población de puntos comparados, se obtiene que las diferencias absolutas varían entre 0 cm y 1.9 cm, la diferencia absoluta media es de 0.7 cm y la desviación estándar de 0.5 cm (Fig.3). Hay que tener en cuenta que en el caso de algunos CPs, dado que su tamaño es de 80 x 80 m, varios puntos de la red de nivelación topográfica están inscritos dentro del mismo píxel. En este sentido si solo se tiene en cuenta el valor de deformación del punto de la red de nivelación topográfica más similar a la estimación CPT, para cada píxel, la diferencia absoluta es de 0.5 cm y la desviación estándar de 0.3 cm.

El análisis de la deformación mediante la técnica CPT entre 1998 y 2000 ha permitido definir la extensión del área afectada por la subsidencia y su evolución temporal, entorno al área central del polígono de Lo Tacón. El análisis del periodo posterior, 2003-2004, sí que ha permitido estimar la deformación de dicho área, observando que la subsidencia experimentada en el centro del polígono de Lo Tacón está activa, pero se ha reducido significativamente la velocidad de la deformación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos: IGME 2004051, ESA-EO-Cat.1.2494, FEDER EU TEC2005-06863 y BTE2002-12456-E, GV04B/556, GV06/179 y GRU-POS03/085.

REFERENCIAS

- Bello, A. (1995): *Aspectos gráficos en la predicción de subsidencia*. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, 200 pp.
- Blanco, P., Mallorqui, J.J., Duque, S., Navarrete, D. (2006): Advances on DInSAR with ERS and ENVISAT data using the Coherent Pixels Technique (CPT). *Proceedings of IGARSS 2006, Denver, Colorado*.
- CIMA. (2005): *Informe interno sobre la nivelación topográfica en Lo Tacón entre Abril 2003 y Julio 2004*. Dirección de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Industria y Medio Ambiente de la Región de Murcia, 20 p.
- García-Tortosa, F. J., López-Garrido, A. C., Sanz de Galdeano, C. (2000): Las unidades de Cabo Tiñoso y Peñas Blancas: revisión y caracterización estratigráfica de las unidades Alpujarrides del sector entre Mazarrón y Cartagena (Murcia, España). *Estudios Geológicos* 56: 31-40.
- Manteca, J. I., Ovejero, G. (1992): Los yacimientos Zn, Pb, Ag - Fe del distrito minero de La Unión - Cartagena, Bética Oriental. *Recursos Minerales en España*, ed.). CSIC, 5: 1085-1102.
- Mora, O. (2004): *Advanced differential SAR techniques for detection of terrain and building displacements*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, 182 pp.
- Rodríguez-Estrella, T., Manteca, J. L., García, C. (2000): Subsidencia minera, en relación con sismotectónica, en La Unión (Murcia). *Geotemas* 1: 150-153.