

Tensor actual de esfuerzos y fallas potencialmente activas en el Domo del Tormes (NO de Iberia)

Present day stress tensor and Potentially active faults in the Domo del Tormes (NW Iberia)

L. Antón y G. de Vicente

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Jose Antonio Novais s/n. 28040. Madrid, Spain. loreant@geo.ucm.es y gdv@geo.ucm.es

ABSTRACT

Located in the NW of the Iberian Peninsula, the Domo del Tormes is an intra-plate granitic domain made up of a Hercynian megastructure and traditionally considered of very low or null seismicity. The geology of the area makes difficult to determine the recent deformations and the characterization of neotectonic activity. The data compilation and further discussion of seismic activity in the area provide information on present day stress tensor orientation and the match of gravimetry, geological and structural data revealed a series of main anomalies related to faulting on a regional scale, defining some potentially active structures in the area.

Key words: tectonic, stress field, neotectonic, seismicity, fault

*Geogaceta, 40 (2006), 11-14
ISSN: 0213683X*

Introducción

El Domo del Tormes es un complejo granítico intraplaca situado en el NO del Macizo Hespérico (Fig. 1), entre las cuencas terciarias del Duero y Ciudad Rodrigo, configurado a favor de fenómenos plutono-metamórficos que acompañaron el levantamiento de la cadena Hercínica en la región. Posteriormente, durante el final de la Orogenia Hercínica y el ciclo Alpino actuaron una serie de episodios de deformación frágil responsables de los diferentes sistemas de fracturación presentes en la zona (Arthaud y Matte, 1977; Antón, 2003; Antón *et al.*, 2004).

Las características geológicas del Domo del Tormes dificultan la definición de las deformaciones recientes y la caracterización de la actividad neotectónica, lo que hace que haya sido tradicionalmente considerada una zona inactiva. En contraposición a esto, la existencia de actividad sísmica en la zona es un indicativo de actividad tectónica actual y proporciona importante información sobre el campo actual de esfuerzos.

Por último, la interpretación conjunta de la información sísmica y de los datos geológico-estructura-

les disponibles en la zona ha permitido definir las principales estructuras frágiles potencialmente activas del Domo del Tormes.

Sismicidad actual

Como se ha dicho previamente, el Domo del Tormes ha sido considerado tradicionalmente un área de muy baja o nula sismicidad. No obstante, el Catálogo de Sismos Próximos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) contiene 72 eventos registrados en la zona de estudio y sus proximidades entre el año 944 y el 31 de enero de 2003; 67 de ellos posteriores a 1985. Las magnitudes de los sismos registrados se encuentran entre un valor máximo 5.2, para dos eventos ocurridos en 1961, y un mínimo de 1.8. No obstante, el 87% de eventos presenta magnitudes entre 2 y 3.5. Las profundidades hipocentrales se encuentran entre 0 y 18 km, esta última correspondiente a un evento ocurrido al NE de Salamanca, en la Cuenca del Duero y fuera de la zona de estudio propiamente dicha. A un 51% de los terremotos se les asigna una profundidad inferior a 1 km y a otro 40% entre 2 y 6 km (Fig. 2).

Pese a que los valores de profundidad hipocentral hay que tomarlos con precaución debido a posibles

errores de localización vertical, se puede afirmar que, en esta zona, la mayor parte de la sismicidad se produce a profundidades inferiores a 15 km, afectando únicamente a la corteza superior, lo que es característico de la sismicidad intraplaca en zonas continentales.

En cuanto a la distribución espacial de la sismicidad (Fig. 3), llaman la atención dos agrupaciones principales de epicentros, situadas al NE de Almeida (NEA) y SE de Zamora (SEZ), que corresponden a dos "crisis sísmicas" producidas en los años 2001 y 2003. Son las dos "crisis sísmicas" mencionadas las que aportan mayor información sobre las características sismotectónicas del área. La Serie 2001 consta de 9 sismos y la Serie 2003 de 29. Una característica muy importante de estas series (Serie 2001 y Serie 2003) es que los epicentros se sitúan en los mismos lugares (NEA y SEZ) y parece existir una conexión entre la actividad en ambas localizaciones, ya que los terremotos se producen de forma alternativa entre una y otra. Las dos series comienzan en NEA con un sismo de magnitud 2.9 para la Serie 2001 y 4.3 para la Serie 2003 y el segundo terremoto se produce en SEZ con magnitudes de 3.4 y 3.7, respectivamente.

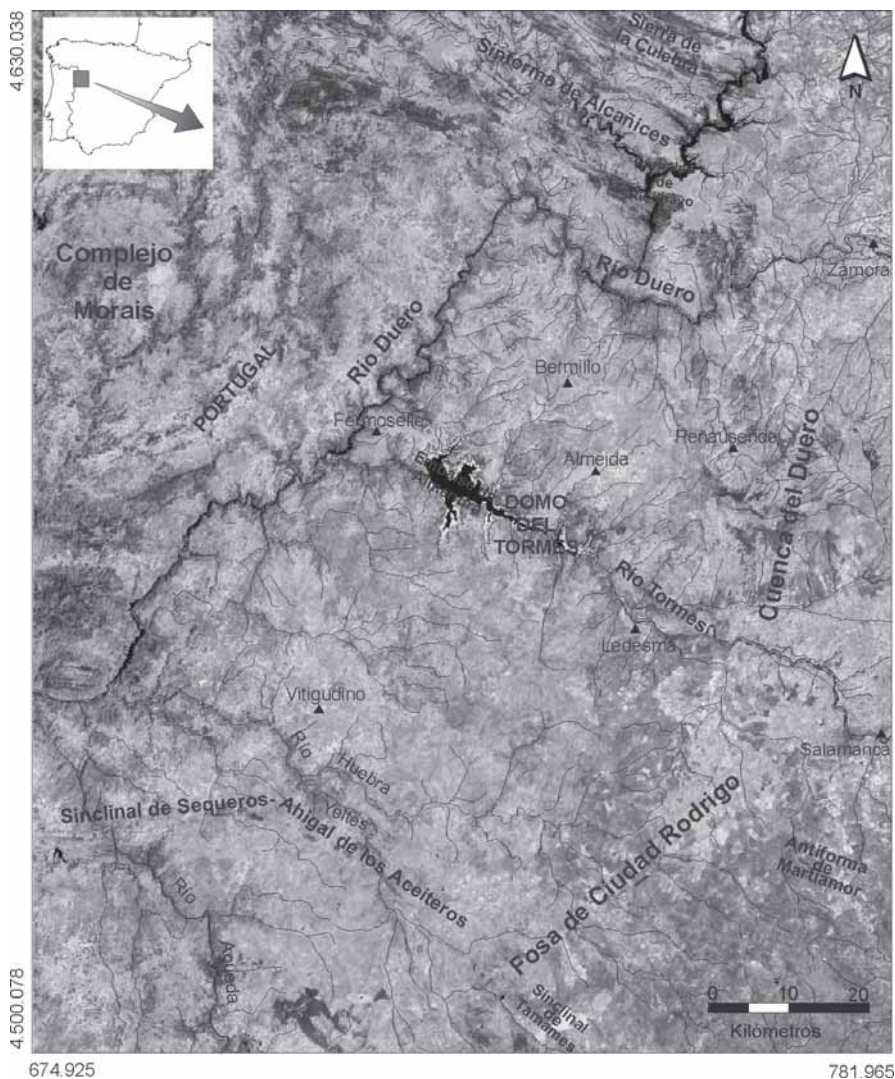


Fig. 1.- Imagen de satélite Lansat de la zona de estudio (NASA 2003) y situación de los principales elementos geológicos y geográficos.

Fig. 1.- Landsat Satellite image (NASA 2003) and main geological and geographical features location.

Los únicos mecanismos focales disponibles en la zona, calculados por el Instituto Andaluz de Geofísica (IAG) de la Universidad de Granada, en el marco del "IAG regional moment project" (IAG, 2003), corresponden a dos de los sismos ocurridos en NEA los días 12 y 23 de enero de 2003, con magnitudes de 3.8 y 4.2, respectivamente.

Los mecanismos focales obtenidos por el IAG son de tipo desgarre e indican la actividad de fallas con orientaciones N187°E y N192°E, con sentido de movimiento sinistoso (Fig. 4). Mediante la aplicación del Modelo de Deslizamiento a las fallas activas de orientación NS-NNE, deducidas a partir de los mecanismos focales (Capote *et al.*, 1991), se han

obtenido unas direcciones de máxima compresión horizontal (Dey) N2°E y N4°E. De forma complementaria, la solución que aporta el Método de los Diedros Rectos es común a ambos planos de falla y equivalente al mecanismo focal (Antón, 2003).

Estructuración tectónica del área y fallas potencialmente activas

Desde el punto de vista morfoestructural, la zona de estudio presenta una fuerte estructuración hercínica de orientación NO-SE que rodea al Domo del Tormes y queda claramente reflejada en la topografía. Los elementos principales de esta estructuración son la serie de pliegues situados al norte del río

Duero, que constituyen la Sinforma de Alcañices, y al sur del área, el Sinclinal de Sequeros-Ahigal de los Aceiteros, la Antiforma de Martiamor y el Sinclinal de Tamames (Fig. 1).

En cuanto a la red de fracturación, el estudio detallado de la misma tanto en campo como a partir de mapas de fallas y lineamientos estructurales, pone de manifiesto un patrón de fracturación definido fundamentalmente por una serie de fallas de gran longitud con dos orientaciones principales, N-S a NNE-SSO y NE-SO. De forma complementaria existen otra serie de fracturas de orientación E-O a SSE-NNO y menor tamaño, cartográficamente afectadas por las grandes estructuras de los grupos anteriores (Antón, 2003).

A partir del análisis de la gravimetría y su interpretación en base a la información geológica y estructural disponible, se han identificado en la zona una serie de zonas de alto gradiente que podrían asociarse a estructuras tectónicas de carácter cortical (Antón, 2003; Antón *et al.*, 2006). Se diferenciaron cuatro grupos de orientaciones: N-S, NNE-SSO, NE-SO y E-O a ONO-ESE. A excepción del último grupo que tiene un menor reflejo en la cartografía estructural de superficie, el resto sí está representado en superficie y, en muchos casos, se identifican en la cartografía fallas coincidentes con la traza de estos gradientes. De este modo, se definieron una serie de zonas de fractura de carácter cortical denominadas Falla del Duero, Formariz, Almendra, Bermillo y Roelos. Otras zonas de alto gradiente, al no estar reflejadas en la cartografía de superficie, se denominaron Zonas de Alto Gradiente (ZAG) de Cipérez, Almeida, Villavieja-Cipérez, Ledesma y Brincones (Fig. 4). Esta última, aunque desplazada con respecto a ella podría estar relacionada con la Falla de Brincones (Antón, 2003).

De forma general, pese a que la calidad de los datos de situación no permite deducir orientaciones preferentes de rotura, existen ciertas alineaciones de terremotos de dirección NNE-SSO a NE-SO que coinciden con la orientación de las grandes estructuras presentes en la zona. Algunos de los sismos se sitúan sobre lineaciones morfoestructurales y

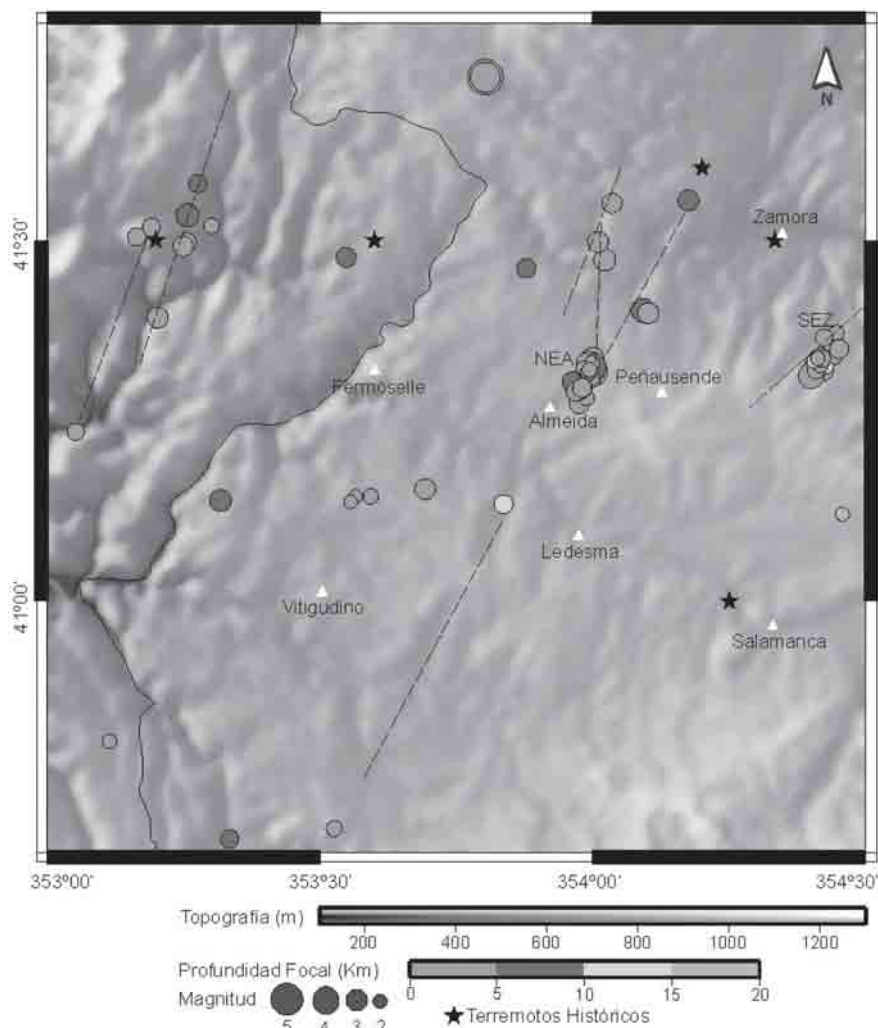


Fig. 2.- Mapa de distribución epicentral. Las estrellas representan los terremotos históricos y los círculos los instrumentales. Las líneas discontinuas representan algunos lineamientos estructurales coherentes con la distribución de epicentros.

Fig. 2.- Epicentres distribution map. The stars represent instrumental earthquakes and circles the historical earthquakes. Structural lineations coherent with the epicentres distribution are represented as dotted lines.

próximos a las zonas de alto gradiente reconocidas en la gravimetría (ZAG de Almeida, Falla de Roelos, Falla de Peñausende y prolongación del ZAG de Ledesma) (Fig. 4), probablemente relacionadas con fallas (Antón, 2003).

En NEA parece haber una orientación preferente de los terremotos según una dirección N-S a NNE, mientras que en el caso de SEZ, la disposición de los terremotos y la presencia en las proximidades de los epicentros, de fallas de orientación NE-SO con reflejo cortical, sugieren relacionar la sismicidad con el movimiento de estructuras de esta orientación. De hecho, los terremotos se sitúan en la prolongación, hacia el NE, de la ZAG de Ledesma (Fig. 4). Otras alineaciones posi-

bles, aunque de menor envergadura serían las NNO.

En el caso de NEA, en la zona entre Almeida y Peñausende están presentes tanto las orientaciones N-S a NNE como las NE-SO. Al oeste y NO de Almeida se reconocen zonas de alto gradiente gravimétrico de orientación N-S, NNE-SSO y NE-SO, que indican la presencia de fallas que afectan a la corteza superior y que podrían presentar sismicidad asociada. La información procedente de los mecanismos focales de los terremotos indica que la falla activa, que se ha denominado Falla de Almeida, es un desgarre sinistro con una orientación media $N10^{\circ}E$, activa bajo una dirección de compresión N-S (Fig. 4).

Conclusiones

Las sismicidad en el Domo del Tormes pone de manifiesto la existencia de una cierta actividad tectónica actual, no documentada hasta el momento. La información obtenida a partir de los mecanismos focales de los terremotos ocurridos en NE de Almeida en enero de 2003, con magnitudes de 3.8 y 4.2, indica una orientación de máxima compresión horizontal N-S, que activa fallas de tipo desgarre sinistoso con orientaciones $N187^{\circ}E$ y $N192^{\circ}E$.

En Domo del Tormes, no se han reconocido evidencias de la compresión NO-SE, definida por otros autores en áreas próximas, como el campo actual de esfuerzos (Moreira, 1985; Berguerat, 1987; Cabral,

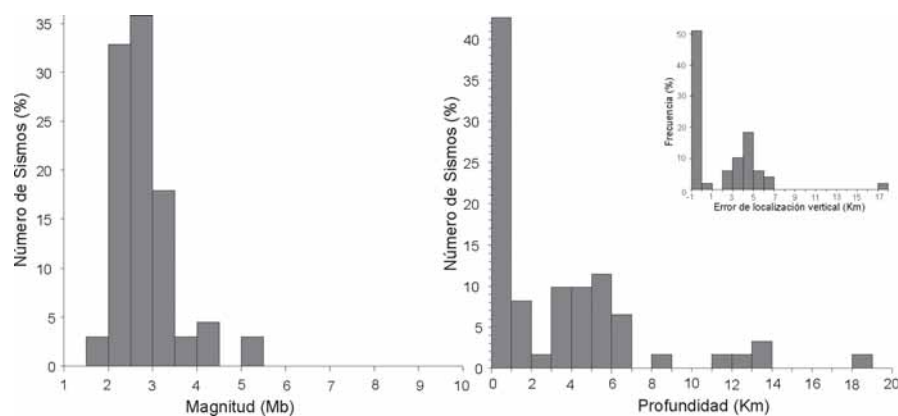


Fig. 3.- Histogramas de Magnitud, profundidad y errores de localización vertical de los eventos sísmicos registrados en la zona.

Fig. 3.- Histograms of Magnitude, depth and vertical location error of the seismic events registered in the area.

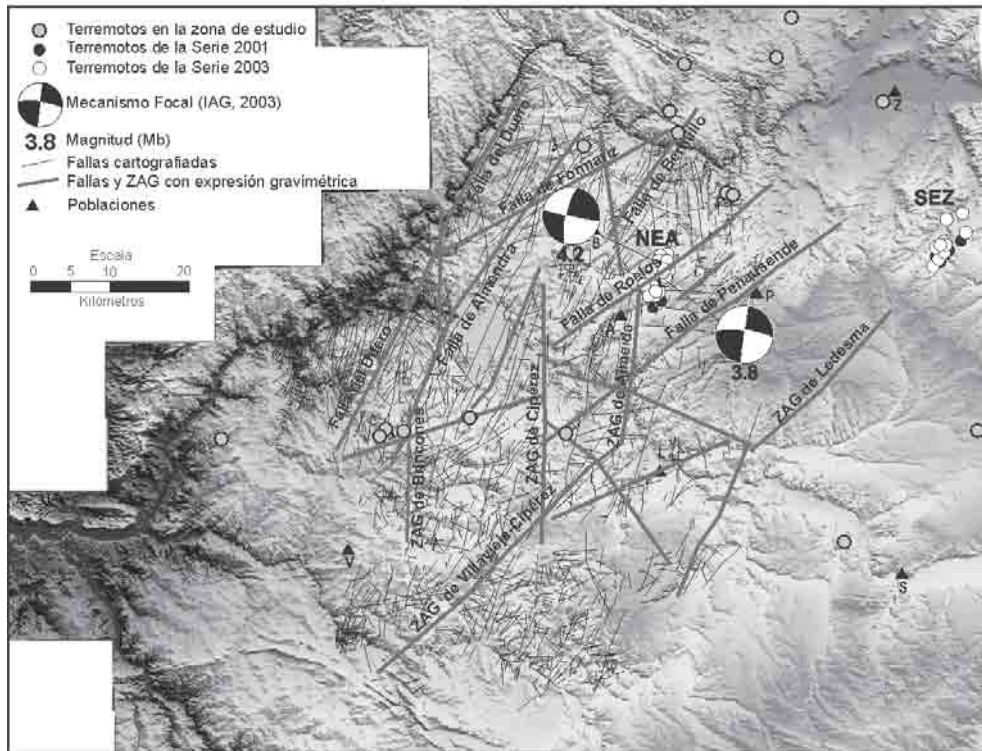


Fig. 4.- Sismicidad en la zona de estudio, mecanismos focales de los terremotos ocurridos en enero de 2003. Trazas de fallas cartografiadas y fallas y Zonas de Alto Gradiente (ZAG) deducidos a partir de la gravimetría. NEA: Crisis sísmica a NE de Almeida; SEZ: Crisis Sísmica al SE de Zamora; Z: Zamora; B: Bermillo; F: Fermoselle; A: Almeida; P: Peñausende; L: Ledesma; V: Vitigudino; S: Salamanca.

Fig. 4.- Seismicity in the study area, focal mechanisms of the earthquakes happened in January, 2003. Traces of mapped faults and faults and Zones of High Gradient (ZAG) deduced from gravimetry. NEA: NE Almeida seismic crisis; SEZ: NW Zamora seismic crisis; Z: Zamora; B: Bermillo; F: Fermoselle; A: Almeida; P: Peñausende; L: Ledesma; V: Vitigudino; S: Salamanca

1989; CSN, 1998; entre otros), mientras que existen numerosos indicadores relacionados con una dirección de compresión N-S, activa durante el Terciario, y coherente con orientaciones de compresión/extensión deducidas a partir del análisis de las migraciones fluviales, para el Neógeno (Antón, 2003). Esta circunstancia, unida a que los mecanismos focales disponibles indican una orientación compresión N-S, permite afirmar que en el Domo del Tormes el campo actual de esfuerzos tiene una orientación de máxima compresión horizontal N-S

La falla que ha dado lugar a la sismicidad al NE de Almeida y que presenta una orientación N10°E, se ha denominado Falla de Almeida. En cuanto a las fallas activas bajo

el campo de esfuerzos actual, serían las de orientación N-S a NNE; mientras que las grandes estructuras NE-SO, también compatibles con esa orientación de compresión, se podrían considerar potencialmente activas.

Las fallas de orientación N-S a NE-SO están ampliamente representadas en la zona y se trata de estructuras de gran longitud y, en algunos casos, con expresión gravimétrica.

Referencias

Antón, L. (2003). *Análisis de la fracturación en un área granítica intraplaca: El Domo del Tormes*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 195 p.
 Antón, L., Muñoz Martín, A. y De Vi-

cente G. (2004). *Geo-Temas*, 6, 17-20
 Antón, L., Muñoz Martín, A. y De Vicente G. (2006). En: *V Asamblea de Geodesia y Geofísica* (en prensa).
 Arthaud, F. y Matte, P. (1977). *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1305-1320.
 Berguerat, F. (1987). *Tectonics*, 6, 99-132.
 Cabral, J. (1989). *Tectonics*, 8, 285-303
 Capote, R., De Vicente, G. y González Casado, J.M. (1991). *Tectonophysics*, 191, 399-409.
 CSN (1998). *Proyecto SIGMA*. Ed. Consejo de Seguridad Nuclear. 239p.
 IAG (2003). *The IAG regional moment tensor Project*. Instituto Andaluz de Geofísica. <<http://www.ugr.es/~iag/tensor/>>
 Moreira, V.S. (1985). *Tectonophysics*. 117, 85-96.