

Paleoesfuerzos alpinos en el borde suroccidental de la cuenca de Madrid (Montes de Toledo)

Alpine paleostress in the South-Western margin of the Madrid basin (Toledo Mountains)

S. Martín y G. de Vicente

Dpto. Geodinámica, Fac. Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

ABSTRACT

The paleostress analysis are used here to outline the Alpine deformation of the contact between the Toledo Mountains and the Madrid Basin. This limit results from a system of E-W-trending reverse faults, NW-SE-trending dextral normal strike-slip faults and NNE-SSW-trending sinistral normal strike-slip faults.

Key words: faults population analysis, paleostress analysis, cuenca de Madrid.

Geogaceta, 18 (1995), 11-14
ISSN: 0213683X

Introducción

La presencia de materiales Cretácicos en el contacto Cuenca de Madrid-Montes de Toledo (Calvo *et al.*, 1993) permite el análisis de poblaciones de fallas de edad alpina. El tensor de esfuerzos deducido puede entonces compararse con otros obtenidos en dicho contacto pero medidos en materiales paleozoicos. De este modo podremos inferir las características de los esfuerzos alpinos en el límite suroccidental de la cuenca terciaria de Madrid.

Este tipo de estudios ha contribuido de manera importante en la descripción de los modelos de deformación recientes del Sistema Central, la Cordillera Ibérica y la Sierra de Altomira (De Vicente, 1988; Giner, 1994; Muñoz, 1994; Rodríguez, 1994). Es la primera vez que se analizan poblaciones de fallas en el límite meridional de la Cuenca de Madrid con técnicas actuales. El contacto con los Montes de Toledo se realiza mediante una serie de fallas inversas de dirección E-O que buzanan al Sur (fig. 1). Los materiales hercínicos de la Unidad Migmatítica de la Zona Centroibérica cabalgan sobre los depósitos del Cretácico Superior (Calvo *et al.*, 1993; Vaudour, 1979).

titas paleozoicas que afloran en las proximidades de la ciudad de Toledo. Los materiales hercínicos forman un escarpe rectilíneo sobre la ribera iz-

quierda del río Tajo, cuyo desnivel puede alcanzar los 150 m.

Los afloramientos de la *Unidad Migmatítica* se extienden según una

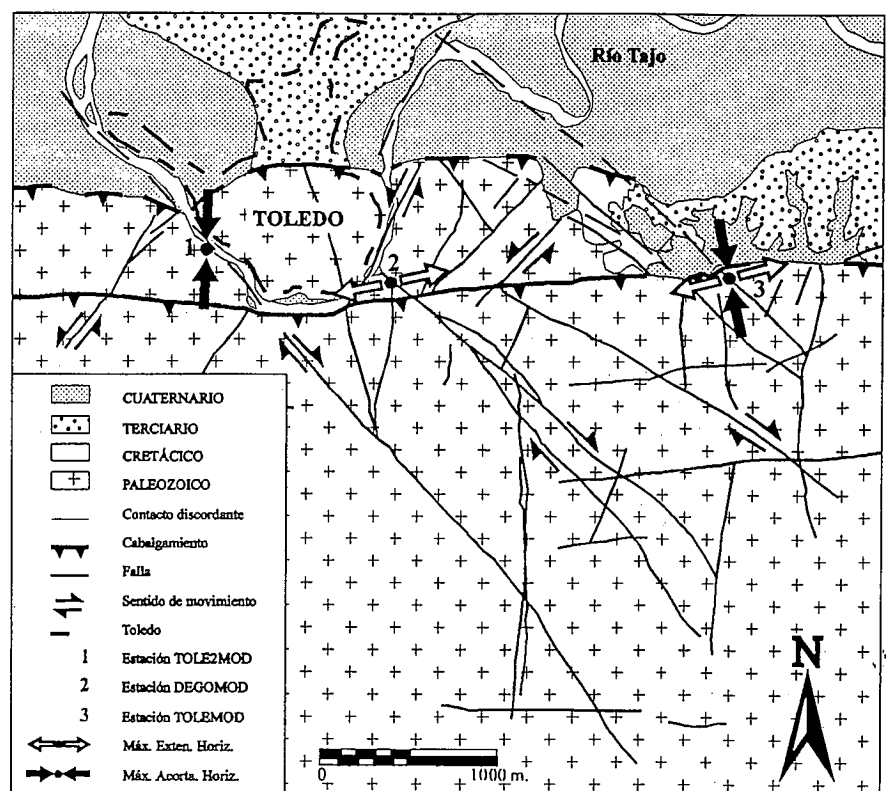


Fig. 1. Mapa geológico de la zona de estudio. Direcciones de máxima extensión (flechas blancas) y acortamiento (flechas negras) horizontal a partir del Método de Inversión de Esfuerzos.

Fig. 1. Geologic sketch of the studied zone. Maximum horizontal shortening (black arrows) and stretching (white arrows) trends from Stress Inversion Method.

Contexto geográfico y geológico

La fracturación se ha medido en los sedimentos cretácicos y en las migma-

| | | MÉTODO INVERSIÓN DE ESFUERZOS | | | | | MÉTODO TENSOR DE DELVAUX | | | | |
|-----------------|-------------|-------------------------------|------------|------------|------------|------|--------------------------|------------|------------|------------|------|
| Estaciones | N | n | σ_1 | σ_2 | σ_3 | R | n | σ_1 | σ_2 | σ_3 | R |
| TOLE2MOD | 13 | 10 | 64/322 | 20/182 | 15/086 | 0.75 | 8 | 35/349 | 50/201 | 16/095 | 0.64 |
| DEGOMOD | 11 | 6 | 63/195 | 22/343 | 12/078 | 0.12 | 7 | 55/143 | 25/010 | 22/269 | 0.59 |
| TOLEMOD | 19 F. I. | 16 | 06/347 | 14/079 | 73/232 | 0.55 | 13 | 04/010 | 05/100 | 83/244 | 0.61 |
| | 25 F. N.-D. | 11 | 01/345 | 87/188 | 00/075 | 0.82 | 12 | 01/156 | 88/268 | 02/066 | 0.56 |
| POBLACIÓN TOTAL | 29 F. I. | | | | | | 23 | 06/009 | 01/099 | 84/198 | 0.02 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | 21 F. I. | 06/353 | 21/086 | 67/248 | 0.25 | 15 F. I. | 01/187 | 04/097 | 86/291 | 0.5 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | 6 F. I.-D. | 00/342 | 83/246 | 06/072 | 0.19 | 9 F. I.-D. | 08/339 | 75/216 | 12/070 | 0.16 |
| | | | | | | | | | | | |
| | 39 F. N. | 29 F. N. | 85/206 | 04/015 | 00/105 | 0.30 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 13 F. N. | 86/090 | 01/196 | 04/286 | 0.15 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 8 F. N.-D. | 03/350 | 80/097 | 09/259 | 0.73 |

Tabla 1. Tensores de esfuerzos a partir de los Métodos de Inversión de Esfuerzos y Tensor de Delvaux. N: número total de fallas, n: número de fallas explicadas. $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: Ejes de esfuerzo de compresión máximo, intermedio y mínimo (inmersión / dirección de inmersión). R: razón de esfuerzos ($\sigma_2 - \sigma_3$) / ($\sigma_1 - \sigma_3$). F.I.: fallas inversas, F.N.: fallas normales, F.I.-D.: fallas inverso-direccionales, F.N.-D.: fallas normal-direccionales.

Table 1. Palaeostress tensors from Stress Inversion and Delvaux Tensor Methods. N: number of fault data, n: number of explained fault data. $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: maximum, intermediate and minimum stress axes (plunge / azimuth). R: ratio of principal stress magnitude differences ($\sigma_2 - \sigma_3$) / ($\sigma_1 - \sigma_3$). F.I.: reverse faults, F.N.: normal faults, F.I.-D.: reverse strike-slip faults, F.N.-D.: normal strike-slip faults.

franja E-O de unos 70 por 10 kilómetros entre el Tajo y las sierras residuales de Noez, Layos, Marica... (Vaudour, 1979).

Los depósitos del Cretácico Superior afloran en el Cerro de la Rosa, al E de la capital. Se apoyan discordantemente sobre los granitos o están en contacto por falla con ellos (Calvo *et al.*, 1993). Estos materiales aparecen adelgazados e incluso llegan a desaparecer a lo largo del borde septentrional del macizo cristalino.

Metodología de Análisis de Paleoesfuerzos

Las técnicas de Análisis Poblacional de Fallas empleadas han sido:

- Modelo de Deslizamiento (Reches, 1983; De Vicente, 1988).
- Método de los Diedros Rectos (Angelier y Mechler, 1977).
- Método de Inversión de Esfuerzos (Reches, 1987).

-Método Tensor (Delvaux, 1992; Delvaux, 1994).

Los dos últimos se basan en la ecuación de Bott (1959) que relaciona el cabeceo de las estrías de la población de fallas con el parámetro R. Este parámetro mide la forma del tensor de esfuerzos y la orientación de los ejes principales. Se obtiene a partir de las magnitudes relativas de estos: $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ (σ_1 es el eje principal de esfuerzos máximo, σ_2 el intermedio y σ_3 el mínimo).

Los dos primeros analizan la geometría de las fallas e infieren los parámetros del tensor de deformación asociado. La forma del mismo se mide mediante el parámetro K: $K = e_y / e_z$ (e_y es el eje de máximo acortamiento en la horizontal y e_z el de deformación vertical).

El análisis conjunto de estos métodos se ha demostrado apropiado en otras zonas del centro peninsular (De Vicente, 1988; Giner, 1994; Muñoz, 1994; Rodríguez, 1994).

Localización de las estaciones de medida

Se han medido un total de 68 fallas repartidas en tres estaciones (Fig. 1):

-La primera (estación TOLEMOD) corresponde a la zona del cabalgamiento de los materiales paleozoicos de los Montes de Toledo sobre los mesozoico-terciarios de la Cuenca de Madrid. La dirección del mismo es E-O y el buzamiento al Sur.

-La segunda (estación DEGOMOD) se sitúa en la prolongación de este cabalgamiento dentro de los materiales metamórficos, en las proximidades de la zona en la que se encaja el río Tajo debido a la existencia de una gran fractura NE-SW.

-La tercera (estación TOLE2MOD) se localiza en las cercanías de otra falla inversa, más septentrional que la primera pero con la misma orientación. El río cambia de dirección para discurrir de nuevo sobre los materiales neógenos.

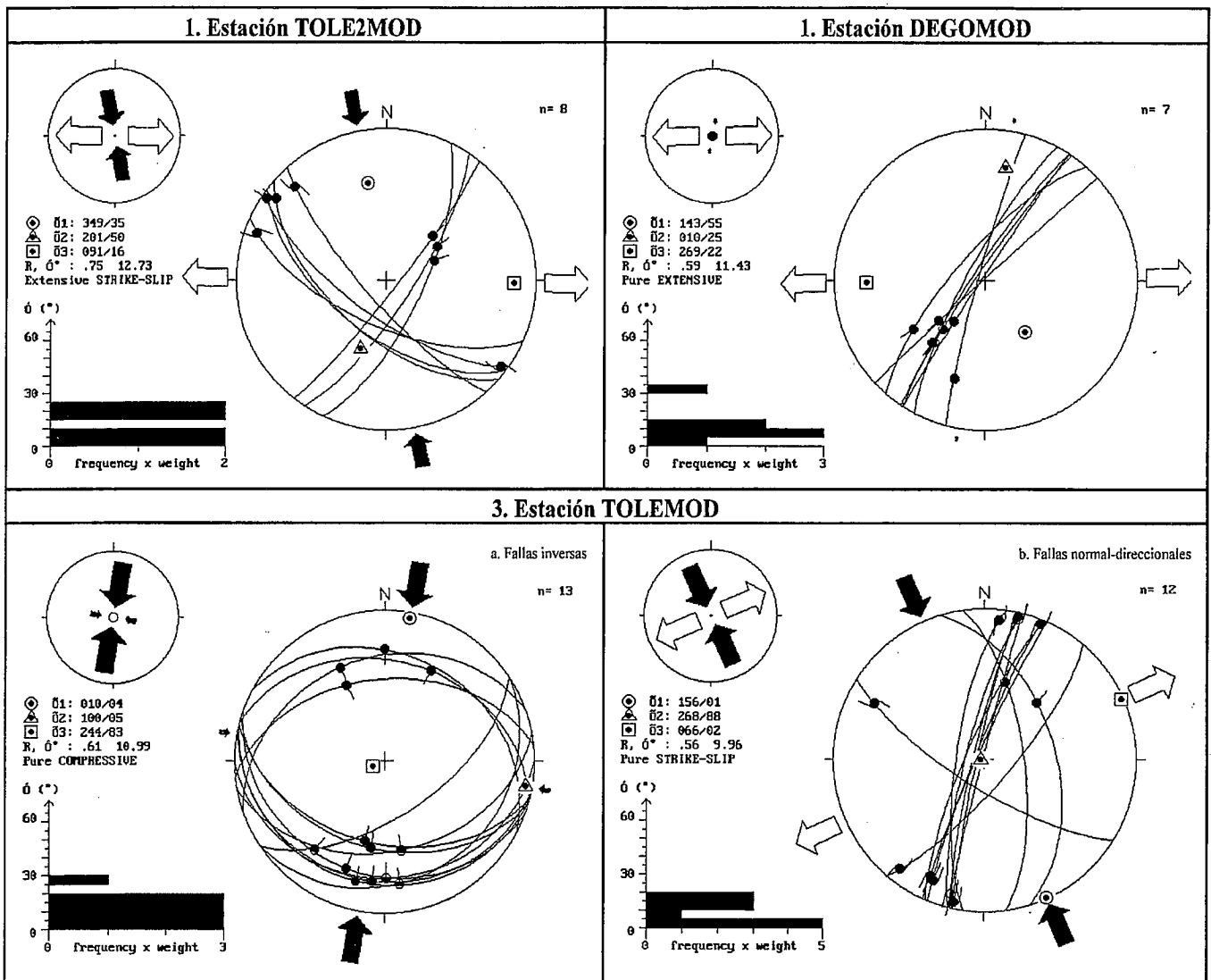


Fig. 2. Proyección de los datos de fallas y tensores de esfuerzos de las tres estaciones a partir del Método Tensor de Delvaux. Proyección Schmidt, hemisferio inferior. R: razón de esfuerzos $(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, a: desviación angular media entre las estrías de deslizamiento observadas y las calculadas en los planos de falla. Flechas blancas: ejes de extensión, flechas negras: ejes de compresión.

Figure 2. Fault data and stress tensors for the three sites. Schmidt projections, lower hemisphere. R: stress ratio $(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, a: mean angular deviation between observed slip lines and computed shears on fault planes. White arrows: extensional axes, black arrows: compressional axes.

Resultados del Análisis de Paleoesfuerzos

ESTACION TOLEMOD (44 fallas)
 Tratada con el Modelo de Deslizamiento se obtiene una dirección de compresión horizontal 002 ± 11 . Los datos de la población se distribuyen según los distintos valores de K. El diagrama de Diedros Rectos es el sumatorio de fallas inversas y normal-direccionales.

ESTACION DEGOMOD (11 fallas)
 Con el Modelo de Deslizamiento la dirección de compresión horizontal es 035 ± 8 y la mayoría de los datos se encuentra en el campo normal-direccional. Este resultado es compatible con el Método de los Diedros Rectos.

ESTACION TOLE2MOD (13 fallas)

La dirección de compresión horizontal es similar a la de la primera estación 001 ± 29 , aunque las fallas quedan restringidas al campo de compresión uniaxial y al normal-direccional. De nuevo el diagrama de los Diedros Rectos se ajusta al Modelo de Deslizamiento.

POBLACION TOTAL (68 fallas)

Como las direcciones de máximo acortamiento horizontal son similares en las tres estaciones, se ha analizado la población total con los siguientes resultados.

Se diferencian dos tipos principales de fallas:

a) unas normal-direccionales N140 dextrosas y N20 sinestrosas.

b) otras inversas de dirección E-W y buzamientos mayoritarios al Sur, aunque aparecen también retrocabalgamientos al Norte.

Las direcciones aproximadas de extensión y compresión son E-W y NNW-SSE respectivamente. La dirección de máximo acortamiento horizontal es 007 ± 18 .

Los valores numéricos obtenidos por los métodos Tensor de Delvaux e Inversión de Esfuerzos se recogen en la tabla I. Los diagramas de los tensores de esfuerzos y la representación de las fallas se muestran en la figura 2.

Conclusiones

En los alrededores de la ciudad de Toledo, el contacto entre los Montes de Toledo y la Cuenca de Madrid se realiza mediante fallas inversas E-O y desgarres (con componente normal) dextrosos NW-SE y sinistrosos NNE-SSW.

Los paleoesfuerzos en el interior del macizo cristalino son compatibles con los de la zona de contacto con los mesozoicos-terciarios. Por tanto, la deformación medida en los materiales paleozoicos tiene una edad post-Cretácico Superior. La dirección de paleoesfuerzos N-S se puede integrar dentro del campo Guadarrama (acortamiento N150) (Capote *et al.*, 1990). La edad de esta deformación sería por tanto intra-Aragoniense (Mioceno medio) y posterior (Calvo *et al.*, 1991).

Referencias

- Angelier, J. y Mechler, P. (1977). *Bull. Soc. Geol. France* (7), 19, pp: 1309-1318.
- Calvo, J. P.; Fort, R.; Alonso Zarza, A. M.; Mingarro, F. y López de Azcona, M.C. (1993). *Rev. Soc. Geol. España*, 6 (3-4), pp: 7-17.
- Calvo, J. P.; de Vicente, G. y Alonso Zarza, A. M. (1991). *Comunicaciones del I Congreso del Grupo Español del Terciario*, pp: 55-58.
- Capote, R.; de Vicente, G. y González-Casado, J. M. (1990). *Geogaceta*, 7, pp: 20-22.
- Delvaux, D.; Levi, K.; Kajara R. y Sarota, J. (1992). *Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquit.*, 16, 2, pp: 383-406.
- Delvaux, D. (1994). En: *Palaeostress evolution in the Altai & Baikal regions, South Siberia*. (Stapel, G. y Moeys, R., editores). Free University Amsterdam, pp: 3-28.
- Giner, J. L. (1994). *Tesis de licenciatura*, Univ. Compl. de Madrid, 300 págs.
- I.G.M.E. (1970). Mapa y memoria explicativa de la Hoja nº 53 (Toledo) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:200.000.
- Muñoz Martín, A. (1994). *Tesis de Licenciatura*, Univ. Compl. de Madrid, 250 págs.
- Reches, Z. (1987). *Tectonics*, vol. 6, nº 6, pp: 849-861.
- Rodríguez Pascua, M. A. (1994). *Tesis de Licenciatura*, Univ. Compl. de Madrid, 300 págs.
- Vaudour, J. (1979). *Tesis Doctoral. Aix. Edit: Ophrys*. 390 págs.
- De Vicente Muñoz, G. (1988). *Tesis Doctoral*. Univ. Compl. de Madrid, 333 págs.