

## Neotectónica del borde oriental de la cuenca de Madrid

### Neotectonics of the eastern border of the Madrid basin

GINER ROBLES, J. L.; DE VICENTE, G.; GONZÁLEZ CASADO, J. M.

An analysis of the neotectonic activity and the current stress state of the eastern border of Madrid Basin has been carried out using structural-methods (fault population analysis), as well as seismological methods.

Two stress tensors have been established:

— Tensor 1: with a N150°E shortening trend, characterized mainly by strike-slip faults. This tensor corresponds to the «Guadarrama» stress field (Capote et al., 1990), which causes the Central System structure; dated middle Aragonian - lower Pleistocene in the eastern border of Madrid Basin (Muñoz Martín, 1993).

— Tensor 2: dated post-lower Pleistocene, with a N150° E extension trend, characterized basically by normal faults.

Actual stress tensor deduced focal mechanisms by the seismological method is compatible with the paleostress field deduced for the middle-lower Pleistocene (tensor 2).

**Key words:** Neotectonics, fault population analysis, seismotectonics, focal mechanism, Madrid Basin.

GINER ROBLES, J. L.; DE VICENTE, G. (Dpto. de Geodinámica Fac. CC. Geológicas. Universidad Complutense. 28040-Madrid). GONZÁLEZ CASADO, J. M. (Dpto. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma. 28049-Madrid).

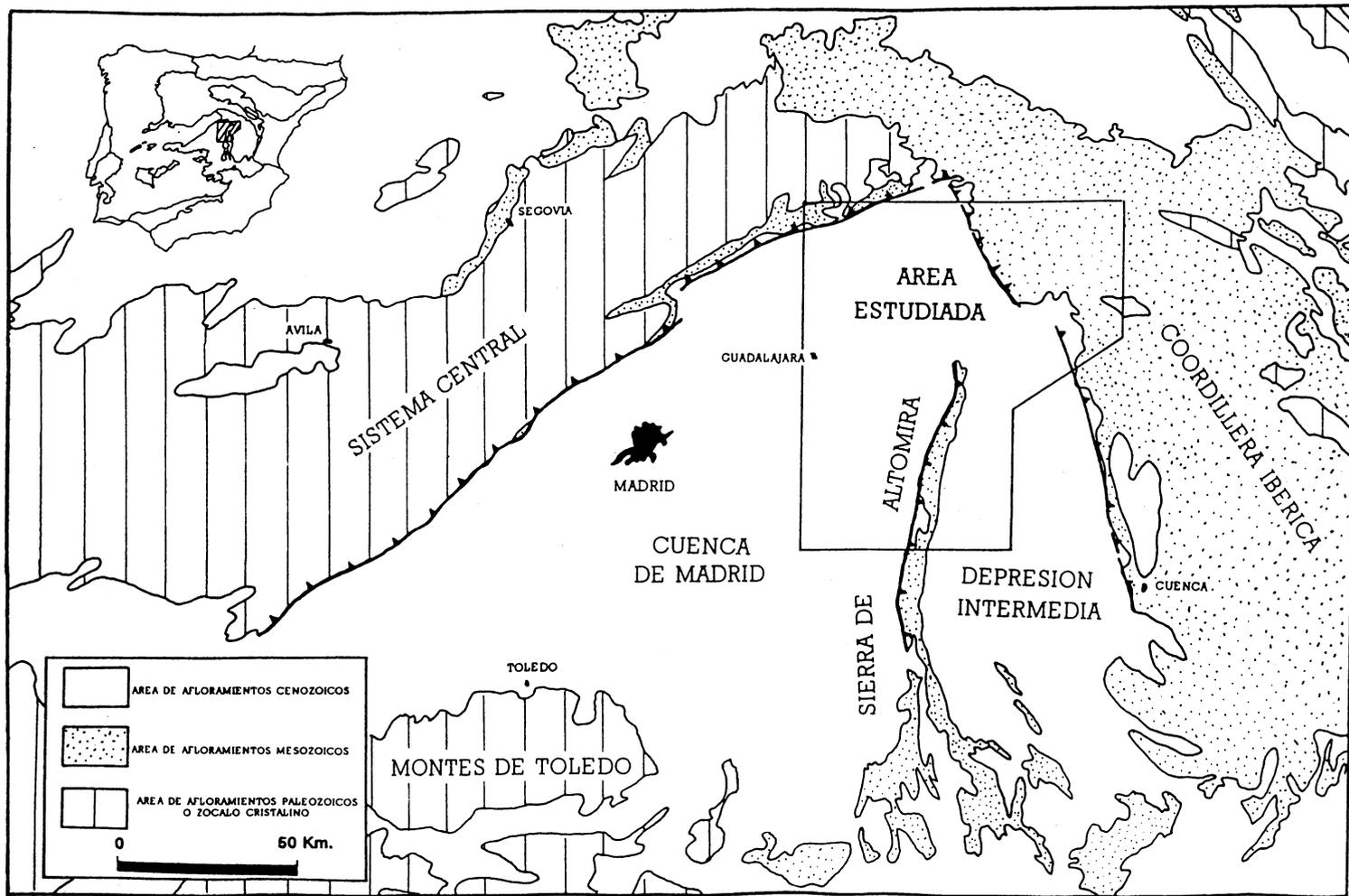


Fig. 1. Mapa de situación geológica del área de estudio.

## 1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza en el centro de la Península Ibérica, en la zona nor-oriental de la Cuenca del río Tajo. Desde el punto de vista geológico se trata de una cuenca intracratónica

compleja desarrollada durante todo el Terciario. Está limitada por tres cadenas intermedias de estilos tectónicos muy diferentes: al O-NO por el Sistema Central, al E-NE por la Cordillera Ibérica y al S por los Montes de Toledo (fig. 1).

Estas cadenas son el resultado de la evolución en varias etapas de distintos campos de esfuerzos durante el Terciario (deformaciones alpinas). La estructuración de la Sierra de Altomira en el Oligoceno superior-Mioceno inferior (MUÑOZ-MARTÍN, 1993), divide a la Cuenca del Tajo en dos: la Depresión Intermedia al este y la Cuenca de Madrid al oeste.

## 2. ANTECEDENTES

Históricamente, el análisis de la actividad tectónica reciente en la Cuenca de Madrid, ha estado condicionado por la controversia sobre el origen tectónico o atectónico (halocinesis) de las estructuras observadas, tanto en materiales del Mioceno superior, como del Cuaternario.

En los últimos años, y siguiendo la hipótesis sugerida por HERNÁNDEZ PACHECO (1965), diversos autores consideran que las deformaciones visibles son el resultado de reajustes a favor de estructuras preexistentes en el basamento (SAN JOSÉ, 1975 a, b, c; CAPOTE et al., 1978; MARTÍN ESCORZA, 1980, 1983).

Otros autores (SILVA, 1988; SILVA et al., 1988; CABRA-GIL et al., 1991), consideran

la posibilidad de un carácter mixto de la deformación, es decir, deformaciones producidas por actividad tectónica reciente que induce deformaciones por fenómenos halocinéticos.

## 3. METODOLOGIA GENERAL

En primer lugar, se han establecido los campos de paleoesfuerzos neotectónicos en la zona. Para ello se ha realizado un análisis estructural, centrado fundamentalmente en el análisis de mesoestructuras; y en un análisis microestructural frágil basado en métodos de análisis poblacional de fallas: Método de los diedros rectos (ANGELIER y MECHLER, 1977); Modelo de deslizamiento (RECHES, 1983; DE VICENTE, 1988); Método de Etchecopar (ETCHECOPAR, 1984; ETCHECOPAR et al., 1981); Método de Inversión de Esfuerzos (RECHES, 1987; RECHES et al., 1992).

Posteriormente, y para deducir el campo de esfuerzos actual, se ha realizado un análisis de la sismicidad existente. Para ello se han establecido los posibles mecanismos focales de los sismos más importantes inventariados por el I.G.N. en la zona mediante el programa HYPOINVERSE (KLEIN, 1978) y el programa BOLAS (NUÑEZ-CORNÚ, 1987).

Comparando los resultados de ambos análisis, podemos establecer la variación y características del estado de esfuerzo en esta zona, desde el Mioceno superior hasta la actualidad.

### 3.1. Análisis estructural

#### Análisis mesoestructural

En todo el área de estudio, se ha procedido a la medida sistemática de ejes de estructuras plegadas de escala hecto y decamétrica en materiales de edad Mioceno superior y

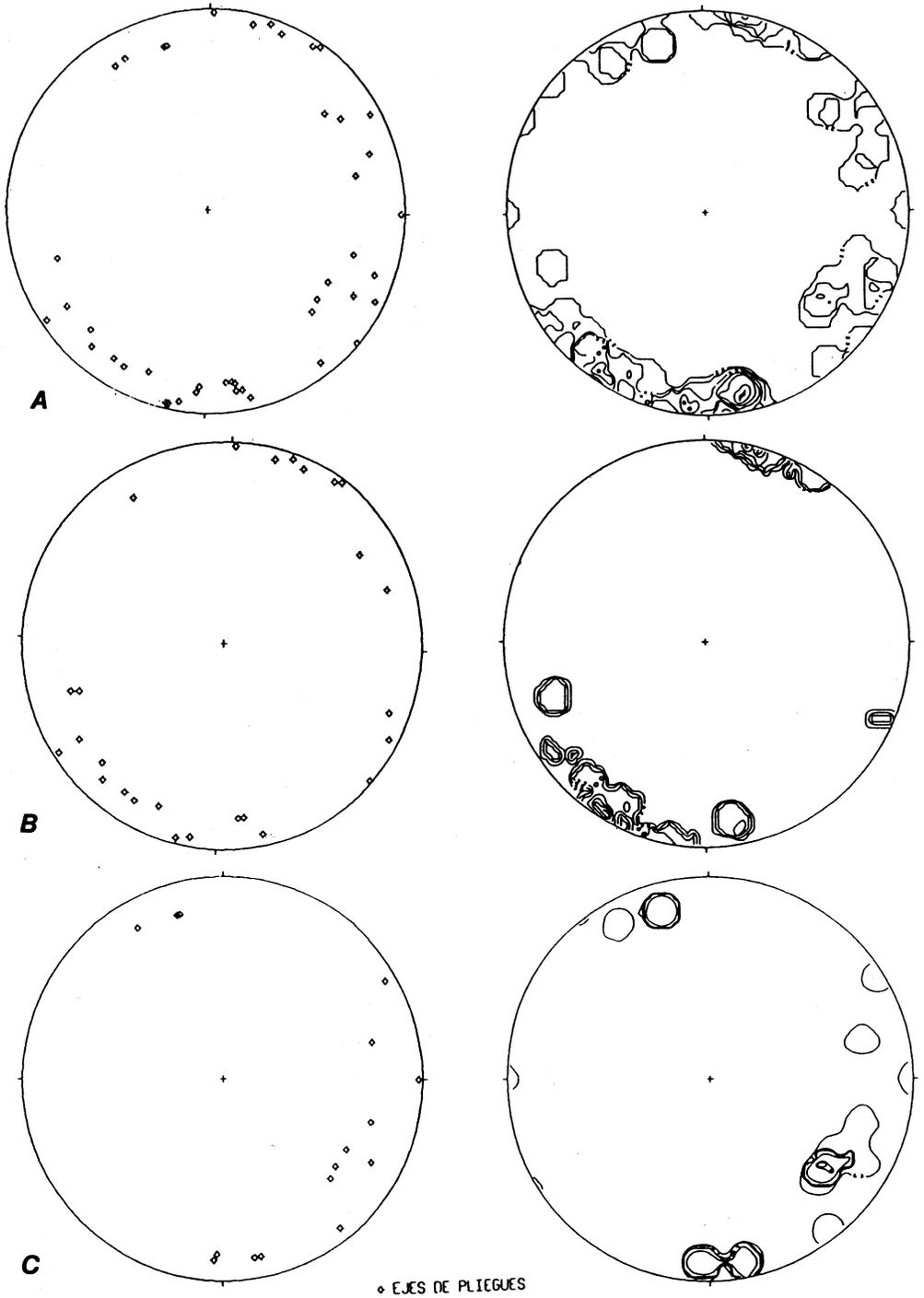


Fig. 2. Proyección estereográfica y diagrama de densidades correspondiente del: A) total de los ejes de pliegues medidos; B) conjunto de ejes de pliegues medidos en materiales de edad Mioceno superior; C) conjunto de ejes de pliegues medidos en materiales cuaternarios.

Cuaternario. Los pliegues en materiales de edad miocena, son pliegues simétricos y laxos; mientras que los pliegues en materiales de edad cuaternaria aparecen, fundamentalmente, asociados a fallas normales como pliegues de arrastre.

En la representación estereográfica y en el correspondiente diagrama de densidades del total de los ejes medidos (fig.2a), se observa que todos ellos presentan una inmersión muy baja sin una clara tendencia en la dirección. Debido a esta dispersión, y a la clara diferencia morfogénica de los mismos, se ha procedido a subdividir el conjunto en

dos poblaciones en función de la edad de los materiales en los que se han tomado los datos. Por un lado los ejes de pliegues medidos en materiales de edad Mioceno superior, en el que se observa una moda en la orientación de los ejes según N5°E-N20°E (fig.2b). Y por otro los ejes de pliegues medidos en materiales cuaternarios en el que aparece una moda según N130°E y otra según N-S (fig.2c).

**Análisis microestructural**

Se han analizado más de 250 datos de

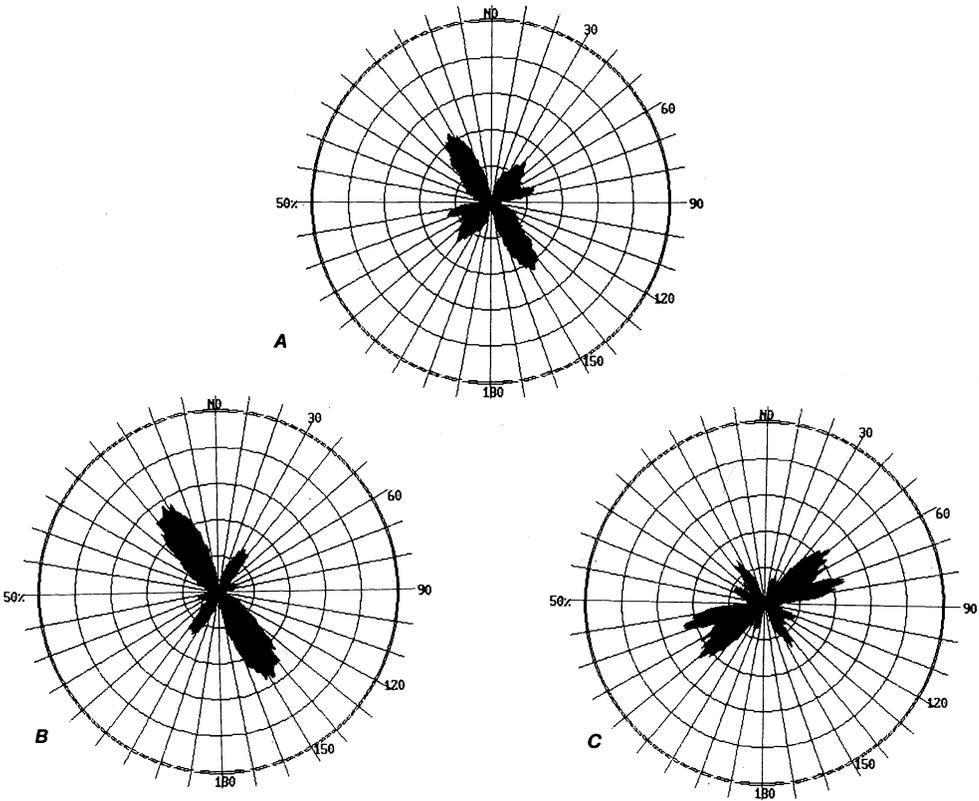
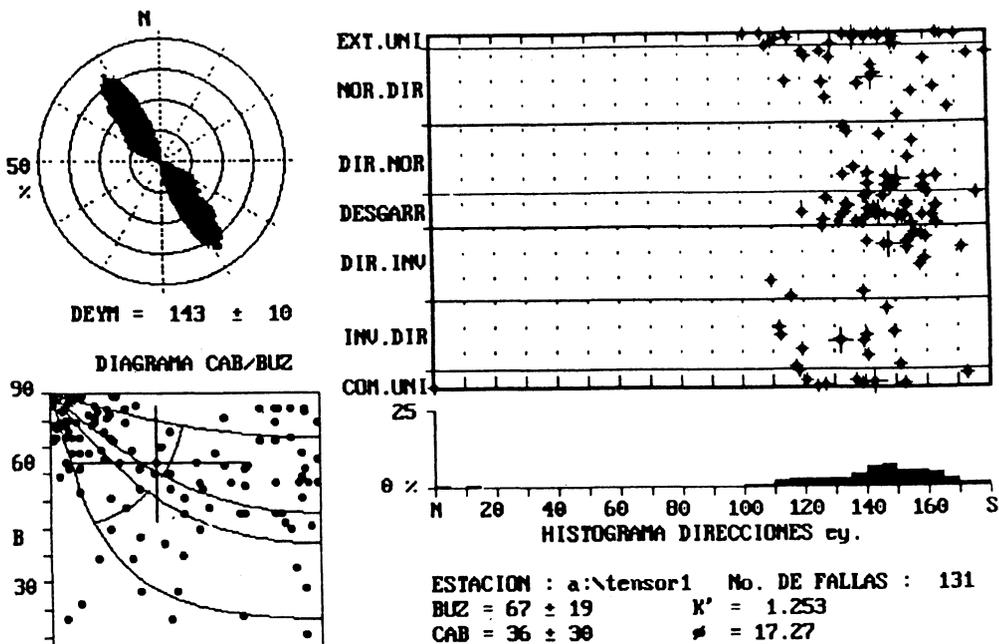
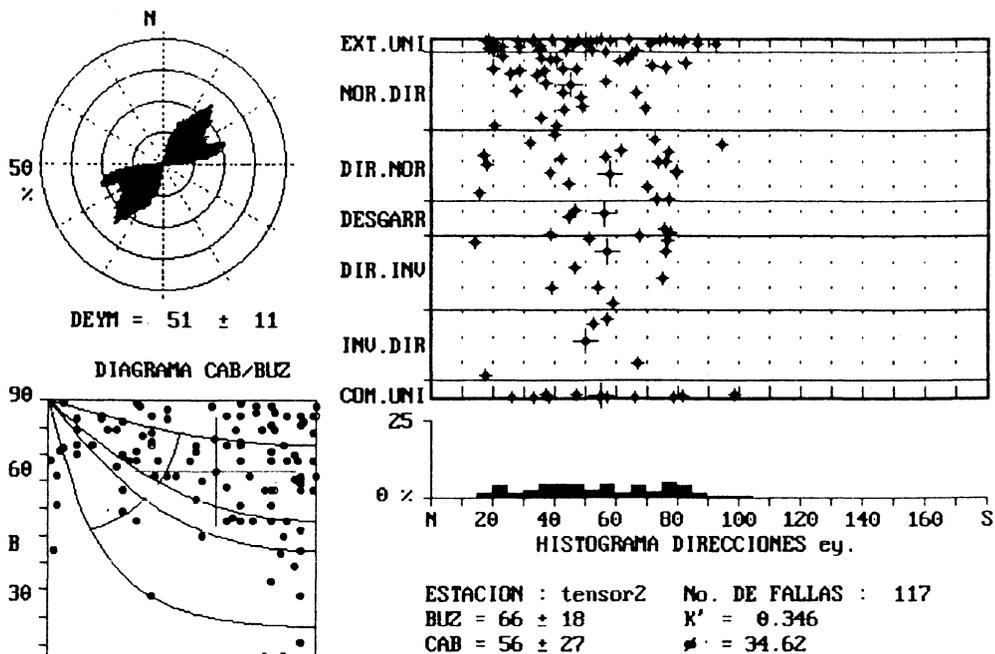


Fig. 3. Diagramas de rosas de direcciones de máxima compresión horizontal (Dey) de la: A) población total; B) subpoblación miocena; C) subpoblación cuaternaria.



**A**



**B**

Fig. 4. Resultados del análisis mediante el Modelo de deslizamiento de: A) tensor 1 y B) tensor 2.

fallas con estrías repartidas en 17 estaciones de medida distribuidas por todo el área de estudio. Los resultados del análisis individual de cada una de las estaciones de fallas, presentan sistemáticamente dos modas en la dirección de máxima compresión horizontal (Dey).

Para definir y caracterizar correctamente ambas modas, se ha analizado el total de los datos como una población única (fig.3a).

Los resultados del análisis muestran que ambas modas son ortogonales:

— moda A, con una Dey media según N150°, caracterizada por fallas en dirección, fundamentalmente desgarres, apareciendo en menor grado, fallas inversas y normales.

— moda B, con una Dey según N60°E,

caracterizada fundamentalmente por fallas normales y normal direccionales.

Posteriormente, y para establecer la posible relación temporal entre ambas modas. Se ha subdividido la población total en dos conjuntos en función de la edad de los materiales en los que se han tomado las medidas. En el análisis de la subpoblación miocena (fig.3b), es la moda A la que aparece mejor definida. En cambio, en la subpoblación cuaternaria, es la B la que aparece mejor caracterizada (fig.3c).

Debido a la homogeneidad que presentan en toda el área de estudio los resultados obtenidos, tanto del análisis de las estructuras plegadas como del análisis microestructural frágil, podemos establecer

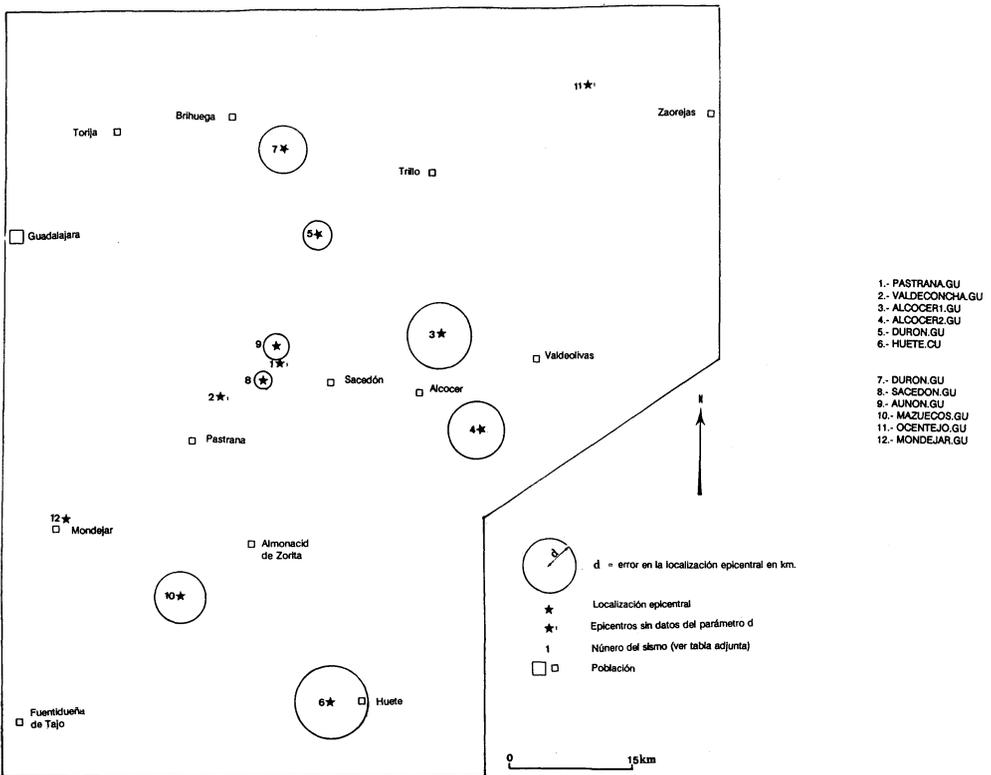


Fig. 5. Mapa de localización de los epicentros de los sismos localizados en el área de estudio.

la presencia de dos tensores de paleoesfuerzos neotectónicos en esta zona:

— Tensor 1, de carácter compresivo, con una dirección de acortamiento según N150 E, caracterizado fundamentalmente por fallas en dirección (desgarres). Este tensor correspondería al campo de paleoesfuerzos «Guadarrama» (CAPOTE et al., 1991) de edad Aragoniense medio-Pleistoceno Inferior (MUÑOZ-MARTÍN, 1993) (fig. 4a).

— Tensor 2, de carácter extensivo, con una dirección de extensión según N150° E, caracterizado fundamentalmente por fallas normales y normal-direccionales. De edad post-Pleistoceno inferior-medio (fig. 4b).

### 3.2. Análisis sismológico

En la zona de estudio se localizan 12 sismos de magnitudes que oscilan entre 2.6 y 4.1, comprendidos entre los años 1923 y

1993 (I.G.N., 1994). En el mapa de localización (fig. 5) de los mismos se observa que los epicentros se disponen según 2 direcciones fundamentales: N30°E y N135°E orientaciones coincidentes con las obtenidas en el análisis de la fracturación realizado en el análisis microestructural.

Con los datos de las diferentes estaciones que registraron los eventos (I.G.N., 1979, 1982) y con el programa HYPOINVERSE (KLEIN, 1978), se han relocalizado dos de los sismos más importantes:

ALCOCER1 (30-06-1979) y DURON (23-02-1982), ambos de magnitud 4,1. Con los datos obtenidos, se han establecido los posibles mecanismos focales de estos dos sismos mediante el programa BOLAS (NUÑEZ-CORNÚ, 1987).

En el caso del terremoto de DURON (23 de Febrero de 1982) se han establecido dos posibles mecanismos focales (fig. 6), uno de

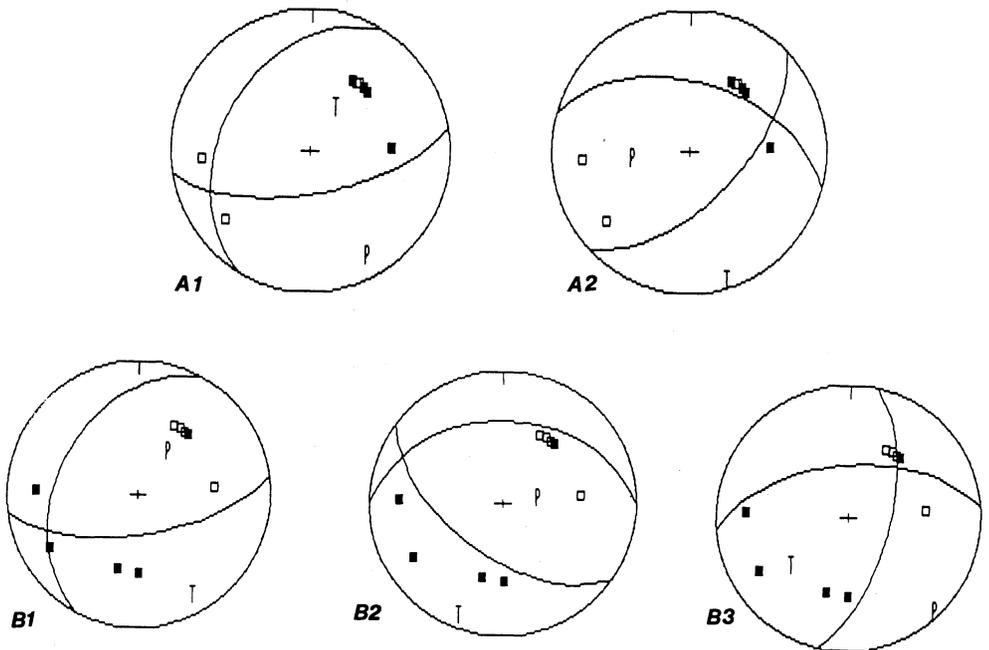


Fig. 6. Soluciones posibles de los mecanismos focales de los sismos de DURON (A1 y A2) y ALCOCER1 (B1, B2 y B3); obtenidos mediante el programa BOLAS (Nuñez-Cornú, 1987).

carácter inverso (A1 ) y el otro de carácter normal (A2) . Debido, tanto al número de datos como a su distribución, no se ha podido establecer cual de los dos mecanismos es el correcto.

Para el caso del sismo de ALCOCER 1 (30-06-1979) se han establecido tres posibles mecanismos focales (fig.6): dos de carácter normal (B1 y B2) y el otro de carácter inverso (B3).

Para discriminar cual de los dos planos

nodales de cada uno de los mecanismos es el plano de falla, se ha aplicado uno de los métodos de análisis poblacional de fallas utilizado en el estudio microestructural: el Modelo de Deslizamiento. Este método, nos permite asignar a cada uno de los planos el carácter normal o inverso. Exceptuando los casos en que los planos bucen 45°, uno de ellos tendrá carácter normal y el otro inverso, lo que nos permite establecer cual de ellos es el plano de falla, en función de la

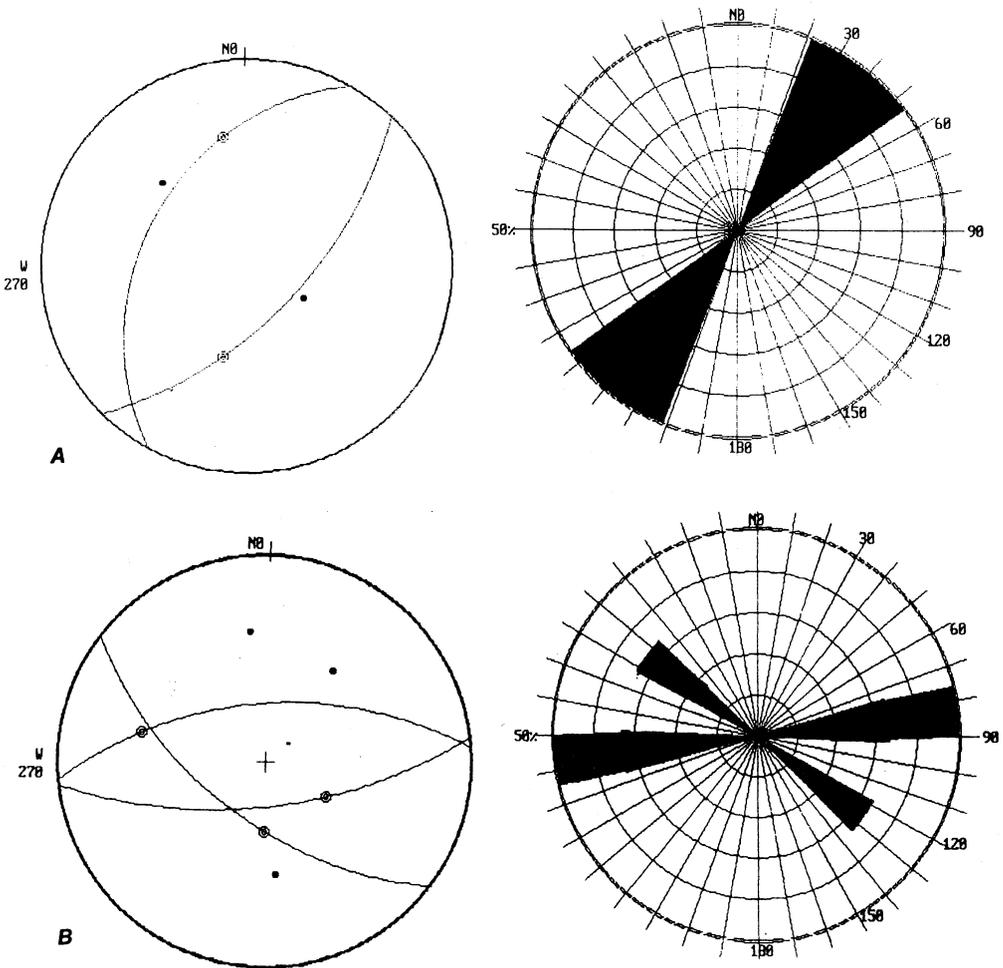


Fig. 7. Orientación de los planos de falla deducidos del análisis de los mecanismos focales de los sismos de: A) DURON y B) ALCOCER1.

coherencia con el carácter que presente el mecanismo focal correspondiente (DE VICENTE, 1988; CAPOTE et al., 1991).

Utilizando esta metodología, discriminamos los planos de falla de los mecanismos del sismo de DURON. Ambos mecanismos presentan un plano de falla con una orientación según  $N30^{\circ}-40^{\circ}E$  (fig. 7a). Del análisis de los tres mecanismos del sismo de ALCOCER, obtenemos que dos de los posibles planos de falla presentan una orientación según  $N85^{\circ}E$  y el otro según  $N125^{\circ}$  (fig. 7b).

Las orientaciones de las fallas deducidas del análisis de estos mecanismos, coinciden tanto con las direcciones de las principales lineaciones morfoestructurales determinadas en el área de estudio, como con las obtenidas del análisis microestructural frágil.

Y considerando que, en cada uno de los mecanismos focales el cabeceo de la estría sobre el plano de falla viene dado por el polo del plano auxiliar, podemos analizar el conjunto de los planos deducidos como una población de fallas. Los resultados obtenidos mediante el método de los diedros rectos

y el método de inversión de esfuerzos (fig. 8), muestran que los planos normales se ajustan a un proceso extensivo según NE-SO, proceso coincidente con el definido por el tensor 2 establecido en el análisis poblacional de fallas.

#### 4. CONCLUSIONES

Se han deducido dos campos de paleoesfuerzos neotectónicos en la zona. El tensor 1 correspondería a los últimos estadios del tensor «Guadarrama». Este tensor compresivo en régimen de desgarre, con una dirección de acortamiento según  $N150^{\circ}E$ , estructura los materiales de edad Turolense-Vallesense, produciendo fallas en dirección según  $N130^{\circ}-150^{\circ}E$  y suaves plegamientos.

A partir del Pleistoceno inferior-medio se produce un cambio gradual en el estado de esfuerzos que continua en la actualidad, pasándose del régimen compresivo (campo de esfuerzos «Guadarrama») a un régimen extensivo (tensor 2) con una dirección de extensión en  $N150^{\circ}E$ . Este tensor produce fallas normales y normal direccionales de direcciones  $N40^{\circ}-60^{\circ}E$ , a las que se asocian pliegues de arrastre.

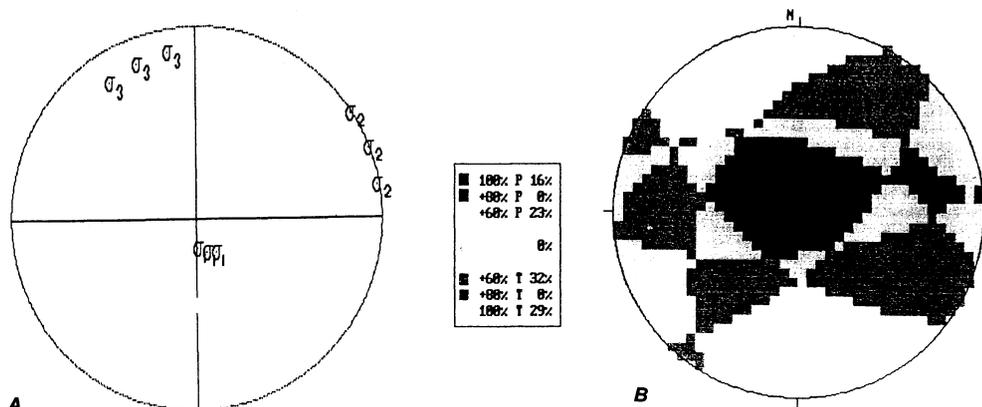


Fig. 8. Resultados del análisis de los planos de falla deducidos de los mecanismos focales mediante: A) Método de Inversión de Esfuerzos y B) Método de los Diedros Rectos.



Debido a la coincidencia de la dirección de acortamiento del tensor «Guadarrama» y la dirección de extensión deducida del tensor 2; podemos establecer que todas las deformaciones observadas y tensores deducidos, pertenecen a un mismo proceso geodinámico. Este proceso estructura el borde oriental de la Cuenca de Madrid en una serie de fosas de dirección NE-SO, siendo la más importante

de ellas en la que se encaja el río Tajo (fig.9).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una síntesis de la Tesis de Licenciatura de Jorge Luis Giner Robles, que ha sido financiada gracias a una beca del Consejo de Seguridad Nuclear y al proyecto PB91-0397 de la D.G.I.C.Y.T.

## BIBLIOGRAFIA

- ANGELIER, J.; MECHLER, P. (1977). Sur une methode graphique de recherche des contraintes principales egalelement utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des diedres droites. *Bull.Soc. Geol. Fr.*, 7 (19):1309-1318.
- CAPOTE, R.; FERNÁNDEZ CASALS, M. J. (1978). La tectónica postmiocena del sector central de la Depresión del Tajo. *Bol.Geol.y Min.*, 89:114-122.
- CAPOTE, R.; DE VICENTE, G.; GONZÁLEZ-CASADO, J. M. (1991). An application of the slip model of brittle deformations to focal mechanism in three different plate tectonics situations. *Tectonophysics*, 191:399-409.
- DE VICENTE, G. (1988). *Análisis poblacional de fallas. El sector enlace Sistema Central-Cordillera Ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- ETCHECOPAR, A. (1984). *Etude des états des contraintes en tectonique cassante et simulations de déformations plastiques (approche mathématique)*. These d Etat. U.S.T.L. Montpellier; 269 pp.
- ETCHECOPAR, A.; VASSEUR, G.; DAIGNIERES, M. (1981) An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensor from fault striation analysis. *Journal of Structural Geology*, vol. 351-365.
- GINER, J. L. (1993). *Actividad tectónica reciente en el borde oriental de la Cuenca de Madrid*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid; 303 pp.
- HERNÁNDEZ PACHECO, F. (1965) Carácter de los plegamientos del Neógeno de la Depresión del Tajo. En: *1er Col.Int.O.P. Terrenos yesíferos*, 5: 47-57. Serv.Obras Púb.
- Instituto Geográfico Nacional (1979, 1982). Boletín de sismos próximos, años 1979 y 1982.
- Instituto Geográfico Nacional (1994). Petición de datos nº 94/0002.
- KLEIN, F. W. (1978). Hypocenter location program-  
HYPOINVERSE: user to guide to version 1, 2, 3, 4. *Geol.Surv.Open-file Rep.*(U.S.), 78(694):1-113.
- MUNOZ-MARTÍN, A. (1993). *Campos de esfuerzos alpinos y reactivación de fallas en el sector de enlace de Sierra de Altomira y la Cordillera Ibérica*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid: 250 pp.
- NUÑEZ-CORNÚ, F. J. (1987). Un programa interactivo de BASIC para cálculo de mecanismos focales. *Rev.de Geofísica*, 43: 209-212.
- RECHES, Z. (1983). Faulting of rocks in three-dimensional strain fields, II. Theoretical analysis: *Tectonophysics*, vol. 95: 133-156.
- RECHES, Z. (1987). Determination of the tectonic stress tensor from slip along faults that obey the Coulomb yield condition. *Tectonics*, 7: 849-861.
- RECHES, Z; BAER., G.; HATZOR, Y. (1992) Constraints on the upper crust from Stress Inversion of fault slip data. *Journal of Geophysical Research*, vol. 97, B9: 12481-12493.
- SAN JOSÉ, M. A. (1975a) Memoria del mapa geológico de España 1: 50.000 (2a serie) nº 584. Mondejar. I.G.M.E
- SAN JOSÉ, M. A. (1975b) Memoria del mapa geológico de España 1: 50.000 (2a serie) nº 606. Chichón. I.G.M.E.
- SAN JOSÉ, M. A. (1975c) Memoria del mapa geológico de España 1: 50.000 (2a serie) nº 583. Arganda. I.G.M.E
- SILVA, P. G. (1988) *El cuaternario del sector centro-meridional de la Cuenca de Madrid: aspectos geomorfológicos y neotectónicos*. Tesis de Licenciatura. U.Complutense de Madrid. 143 pp.
- SILVA, P. G.; GOY, J. L.; ZAZO, C. (1988). Neotectónica del sector centro-meridional de la Cuenca de Madrid. *Estudios geológicos*, 44: 415-427.

Recibido: 26-III-94

Aceptado: 10-X-94