

# Las diaclasas E-W y NW-SE en el sector central de la Cuenca del Ebro. Relación con el campo de esfuerzos Neógeno

*The E-W and NW-SE trending joint sets in the Central Ebro Basin (Spain). Relationship with the neogene stress field*

L. Arlegui (\*) y J. L. Simón

Dpto. Geología, Universidad de Zaragoza, Plaza San Francisco, s.n., 50009-Zaragoza, España.  
(\*) email: arlegui@posta.unizar.es

## ABSTRACT

There are three regional joint sets in the central Ebro basin. The southern part is dominated by a primary N-S striking joint set and a secondary E-W set. In the northern part, the primary joint set strikes NW-SE. Detailed outcrop observations where the three sets do coexist suggest that the E-W set is the result of stress perturbation originated by the previous N-S set over the extensional NE-SW stress field responsible for the development of the NW-SE joints in the northern area.

**Key Words:** joint, Ebro basin, palaeostress

Geogaceta, 24 (1998), 27-30  
ISSN: 0213683X

## Introducción. Familias regionales de diaclasas

En el sector central de la Cuenca del Ebro varias de las familias definidas a escala de afloramiento (Arlegui y Simón, 1993; Arlegui, 1996) están presentes en un gran número de estaciones con similares características de orientación, espaciado y relaciones con otras fracturas. Esto nos permite hablar de familias regionales de diaclasas, esto es, familias que aparecen sistemáticamente en una región dada y llegan a tener el carácter de estructuras penetrativas. Así, por ejemplo, encontramos numerosas estaciones en las que la familia primaria (es decir, aquella que por criterios de cronología relativa con otras fracturas hemos determinado que se formó con anterioridad) posee una dirección dominante N-S, y está acompañada de otra familia secundaria de dirección E-W. En otras estaciones, por el contrario, hay una familia primaria de dirección NW-SE que sólo está acompañada de diaclasas asistemáticas subperpendiculares. La familia N-S, al ser la familia primaria en buena parte de la cuenca, ha concentrado los estudios de varios autores en cuyos trabajos podemos encontrar la descripción de la misma (Simón, 1989; Hancock, 1991; Arlegui y Simón, 1993; Arlegui, 1996). En el presente trabajo completamos la descripción de

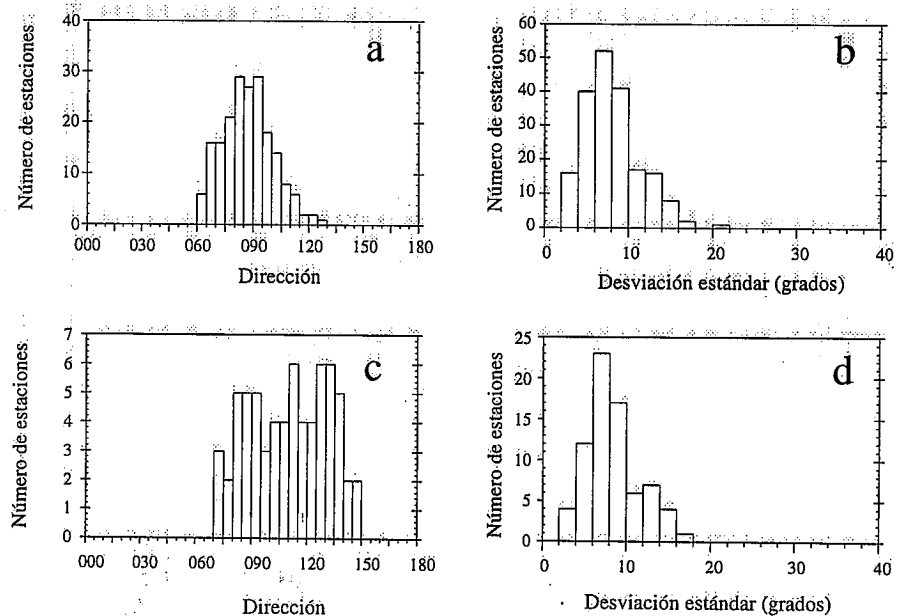


Fig. 1.- a) Histograma de direcciones modales de la familia E-W. b) Histograma de desviaciones estándar de la familia E-W. c) Histograma de direcciones modales de la familia NW-SE. b) Histograma de desviaciones estándar de la familia NW-SE.

Fig. 1.- a) orientation histogram of the E-W set. b) Standard deviation histogram of the E-W set. c) orientation histogram of the NW-SE set. b) Standard deviation histogram of the NW-SE set.

las familias de diaclasas de la Cuenca del Ebro, exponemos las relaciones que guardan entre sí y las interpretamos en términos de paleoesfuerzos tectónicos y sus perturbaciones.

## Descripción de la familia E-W

Su orientación general es E-W, aunque localmente se presenta como ESE-WNW o ENE-WSW. La media de direc-

ciones modales de las estaciones en las que aparece es N087E (Fig. 1a), y su desviación estándar de 15° (Fig. 1b). Los planos son verticales, y su continuidad horizontal está en general limitada por la presencia de la familia N-S, contra la cual se interrumpen. Su grado de sistematicidad es variable, siendo en algunas estaciones comparable al de la familia N-S. El espaciado suele ser regular, aunque menos que el de la familia N-S. Al igual que ocurre con esta última, existe una buena correlación entre dicho espaciado y el espesor de las capas.

No se han observado criterios cinemáticos claros que indiquen que alguna de estas diaclasas pudiera tener un origen como superficies híbridas de tensión y cizalla. En cambio, sí aparecen ocasionalmente estructuras plumosas y costillas pobremente desarrolladas. Al margen de estas ornamentaciones, la mayoría de las superficies son más rugosas e irregulares que las de la familia N-S. Todos estos hechos sugieren para todas ellas un origen tensional.

**Descripción de la familia NW-SE**

La orientación general de esta familia es NW-SE, aunque abundan estaciones en las que aparece como WNW-ESE o E-W. La media de direcciones modales es N110E, y la desviación estándar es de 21° (Fig. 1c, d). Se trata de diaclasas primarias verticales de continuidad horizontal métrica a decamétrica, limitadas en la vertical por el espesor de las capas. Son planos regulares, aunque menos que los de la familia N-S, y también muy sistemáticos. Su menor regularidad viene probablemente condicionada por el predominio de las litologías detríticas en la zona en la que aparecen con más frecuencia (parte septentrional de la cuenca). Por lo que respecta a los espaciados podemos decir que en general presentan una clara dependencia con respecto al espesor de las capas. Frecuentemente llevan asociadas diaclasas perpendiculares asistemáticas.

No hemos encontrado indicadores de cizalla sobre sus planos en ninguna de las estaciones en que aparece registrada. Sus superficies en ocasiones exhiben marcas plumosas. La distribución de frecuencias de orientación sigue típicamente curvas unimodales. Podemos, por tanto, asignar a esta familia un origen predominantemente tensional. La dirección media que se obtiene para el eje  $\sigma_3$  a partir de los polos de sus planos es N020E.

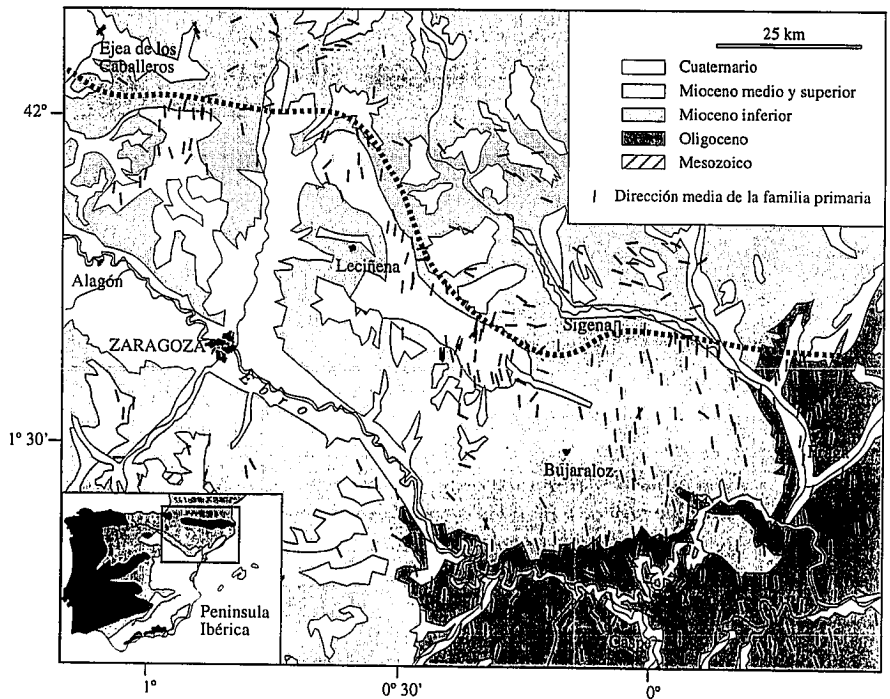


Fig. 2.- Mapa de distribución de familias primarias de diaclasas en el sector central de la Cuenca del Ebro. Cada segmento representa la dirección modal de la familia primaria de diaclasas de cada estación (típicamente representa en torno a 50 direcciones de diaclasas). Por simplificar, no se ha representado la orientación de la familia secundaria cuando existe, por tanto no aparece la familia E-W.

Fig. 2.- Map of the central Ebro basin showing the modal direction of the primary joint set in each station (approximately 50 data in each station). For drawing clearness, secondary sets are not displayed, so E-W joint set is not plotted.

**Distribución espacial de las familias de diaclasas**

La distribución geográfica de las familias primarias N-S y NW-SE en la Cuenca del Ebro sigue un patrón bien definido. La familia NW-SE ocupa preferentemente una banda que comprende la Depresión Presomontana, al norte de las Sierras de Alcubierre, Pallaruelo y Sigüenza, llegando hasta el frente surpirenaico (Turner y Hancock, 1990). La familia N-S domina en el sector meridional, en la vertiente sur de la Sierra de Alcubierre y estribaciones, hasta el contacto con la Cordillera Ibérica. El límite entre ambos dominios (Fig. 2) sigue una línea de dirección WNW-ESE que discurre por la vertiente norte de las sierras de Alcubierre, Ontiñena y Sigüenza.

También puede reconocerse un reparto desigual de ambas familias en la serie miocena aflorante. Así, a lo largo del límite geográfico mencionado, una y otra no se mezclan al azar. La familia NW-SE aparece ocupando las zonas bajas de la serie, en tanto que la familia N-S domina en las partes altas (Arlegui, 1992). Así, la depresión al Norte de las sierras de

Alcubierre-Sigüenza, donde dominan las diaclasas NW a WNW, se encuentra en una posición estratigráfica y topográfica relativamente baja, mientras que las formaciones que coronan ciertos relieves elevados (Monlora, al este de Ejea) están afectadas sólo por la familia N-S. En todo este sector septentrional, la sustitución de una familia por otra se produce a una cota aproximada de 400-450 m.

**Relaciones entre las tres familias de diaclasas**

En aquellas estaciones en las que coexisten las tres familias (especialmente notorio en la Sierra de Sigüenza) se observa que las diaclasas E-W a menudo son bifurcaciones de diaclasas de la familia NW-SE (ver Fig. 3), y aparecen en el diagrama de frecuencias como picos parásitos de esta última. Del mismo modo, se observa que allí donde el espaciado de las diaclasas N-S es menor no se forman diaclasas NW-SE, que son sustituidas por las E-W. Parece, por tanto, que la aparición de discontinuidades E-W está controlada por alguna perturbación de esfuerzos debida a la presencia de la familia

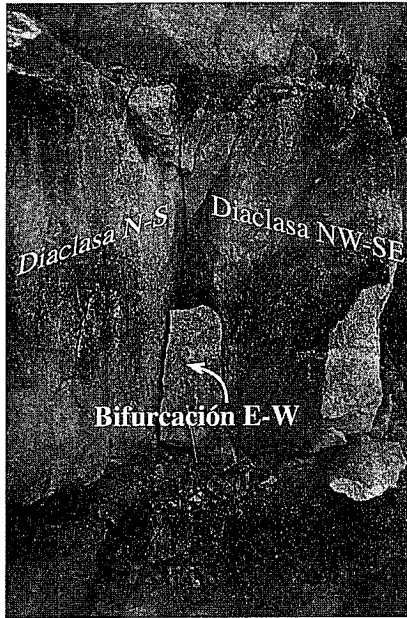


Fig. 3.- Aspecto de campo del diaclasado en una estación situada en la Sierra de Sigena. Explicación en el texto. Observese el portaminas como escala.

Fig. 3.- Field view of jointing in the Sierra de Sigena. See main text for explanation. Notice the pencil as scale.

N-S, y que allí donde esta familia alcanza un desarrollo máximo el alcance de tales perturbaciones es, lógicamente, mayor. Cuando las diaclasas N-S están suficientemente separadas (caso a en la Fig. 4) las diaclasas NW-SE se desarrollan sin modificaciones, presentando tan sólo en la proximidad de las diaclasas N-S los efectos de esa perturbación (bifurcaciones y giros). En cambio, allí donde el espaciado de las diaclasas N-S está por debajo de un cierto valor crítico (que para bancos de 70-80 cm. de potencia parece ser de unos 15-20 cm) la porción de roca situada entre dos fracturas está enteramente afectada por la perturbación, pudiendo desarrollarse únicamente las diaclasas E-W (caso b en la figura 4).

Según las predicciones de los modelos de Simón *et al.* (1988) y Caputo (1995), en el caso de que dentro de un campo de extensión existan discontinuidades anteriores que actúen como superficies libres (carentes, por tanto, de componente de cizalla), éstas reorientarán las trayectorias de los esfuerzos principales hasta hacerlas paralelas a las discontinuidades cerca de sus extremos y perpendiculares en el resto de su entorno. En nuestro caso, esto explicaría la aparición de la familia de diaclasas E-W. Las observaciones realizadas en los afloramientos de la Sierra de Sigena sugieren una vinculación de las

mismas a puntos donde el espaciado de las diaclasas N-S es menor y donde, por consiguiente, las perturbaciones que éstas producen son más notorias. Esto avala la interpretación de que su dirección E-W está esencialmente controlada por la presencia de las diaclasas N-S.

#### El campo de esfuerzos de extensión NE-SW

Por su parte, la distribución espacial de las diaclasas NW-SE, su relativamente homogénea orientación en una zona amplia de la Cuenca del Ebro y la constancia en su estilo de fracturación, permite caracterizar un campo regional de esfuerzos de carácter extensional. Por otra parte, la franja situada al sur de la sierra de Alcubierre está ocupada por un apretado haz de lineamientos de dirección NW-SE que en afloramiento se revelan como fallas normales (Arlegui *et al.*, 1994; Arlegui y Soriano, 1996; Arlegui y Soriano, en prensa). Aunque entre estas estructuras y las diaclasas NW-SE hay gran disparidad de escalas y aparentemente también de reparto espacial (las fallas normales se extienden preferentemente al Sur de la Sierra de Alcubierre mientras que las diaclasas lo hacen al Norte), la coincidencia de direcciones entre las diaclasas, microfallas y fallas cartográficas NW-SE sugieren la existencia de una relación genética entre ellas. Por otra parte, el sector que ocupan los fotolineamientos citados coincide en gran medida con la zona de predominio de la familia de diaclasas N-S, de desarrollo anterior a las fallas. A tenor de las relaciones observadas en la Sierra de Sigena, descritas en el apartado anterior, podemos interpretar que las diaclasas pertenecientes al sistema de fracturación NW-SE están aquí representadas por las de orientación más cercana a E-W, perturbadas debido a la influencia de las diaclasas previas N-S. Esta interpretación sugiere que el campo NW-SE ha actuado en un ámbito espacial que cubre prácticamente toda la región estudiada, aunque con resultado diferente según existieran o no en cada punto diaclasas N-S de densidad suficiente.

La zona geográfica donde se desarrolla el sistema de fracturación NW-SE coincide con ciertas estructuras de gran radio en la cobertera que evidencian la existencia de movimientos verticales de zócalo (Arlegui *et al.*, 1997). Esta asociación espacial resulta lógica si admitimos que todas estas deformaciones están relacionadas con la propia estructuración neógena de la Cuenca del Ebro. El origen tectónico de las mismas y del propio cam-

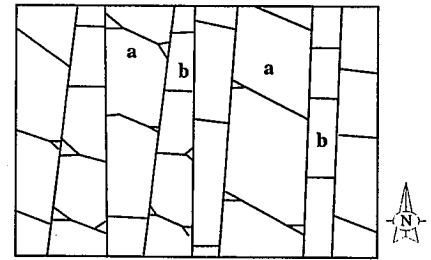


Fig. 4.- Esquema de las observaciones realizadas en Sigena sobre la relación entre las familias N-S, E-W, NW-SE y sus bifurcaciones. Explicación en el texto.

Fig. 4.- Summary of the field observations done in the Sierra de Sigena on the relationships between N-S, E-W and NW-SE joints and forkings. See main text.

po de extensión NE-SW a NNE-SSW debemos buscarlo en procesos ligados al rebote isostático sufrido por el Pirineo en y a partir del Neógeno. Este proceso produjo movimientos verticales diferenciales entre la cuenca del Ebro y el Pirineo, que fueron en parte resueltos mediante la reactivación de fallas profundas en el zócalo preterciario de la cuenca (Simón, 1994; Arlegui y Soriano, en prensa).

#### Conclusiones

Durante el Neógeno tardío la zona centroseptentrional de la Cuenca del Ebro quedó sometida a un campo de esfuerzos extensional con  $\sigma_3$  orientado NE-SW, que se habría superpuesto al campo intraplaca con  $\sigma_3$  más próximo a E-W (Simón, 1989). Este campo no habría experimentado una evolución significativa en el tiempo, pero sí importantes perturbaciones en el espacio causadas por la presencia de las estructuras previas de direcciones NW-SE y N-S. Si partimos de una situación en la que tenemos una familia de diaclasas tensionales bien desarrollada, Simón *et al.* (1988) y Rives (1992) demostraron que la aparición de una nueva familia se producirá en dirección perpendicular a la anterior en virtud de la perturbación local que introduce la presencia de la familia primaria. En la vertiente norte de la Sierra de Sigena observamos relaciones geométricas a escala de afloramiento que concuerdan con las previsiones de ese modelo. Las diaclasas E-W, bien aparecen como bifurcaciones de las NW-SE en su contacto con las N-S, bien las sustituyen cuando las diaclasas N-S presentan espaciados más bajos. Todo ello sugiere que las diaclasas E-W pueden ser el resultado del mismo proceso que da lugar a las

NW-SE, pero enmascarado por las perturbaciones de esfuerzos que producen las fracturas previas N-S allí donde se encuentran más desarrolladas. Sólo en las zonas donde la familia N-S no se desarrolló de forma suficiente habrían podido formarse diaclasas NW-SE primarias en respuesta directa al campo de esfuerzos regional.

#### **Agradecimientos**

Este trabajo fue financiado por los proyectos JOU2-CT94-0308 de la Unión Europea y PB93-1218 (DGICYT).

#### **Referencias**

Arlegui, L.E., (1992): *Geogaceta*, 12: 25-28.  
Arlegui, L.E., (1996): *Tesis Doctoral*, Univ. de

- Zaragoza, 308 pp y anexos.  
Arlegui, L.E. y Simón, J.L., (1993): *Rev. Soc. Geol. España*, 6(1-2): 115-122.  
Arlegui, L.E.; Simón, J.L. y Soriano, M.A., (1994): *II Congr. Grupo Español del Terciario, Jaca*, Comunicaciones, 39-43.  
Arlegui, L.E., y Soriano, A., (1996): *IV Reun. Naci. Geomorfología*. O Castro-Sada. La Coruña, 11-21.  
Arlegui, L.E.; Simón, J.L., y Soriano, M.A., (1997): *En Calvo, J.P. y Morales, J. (Eds.) Avances en el conocimiento del Terciario Ibérico*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid, pp: 33-36.  
Arlegui, L.E., y Simón, J.L., (1998): *Jour. Struct. Geol.* 20 (7): 827-840  
Arlegui, L.E., y Soriano, M.A., (1998): *Inter. Jour. Remote Sensing*, 19 (16): 3169-3185  
Caputo, R., (1995): *Terra Nova*, 7(5): 479-490.  
Hancock, P.L., (1991): *Phil. Trans. Roy. Soc. London, A*, 337: 29-40.  
Rives, T., (1992): *Thèse de Doctorat*, Université des Sciences et Techniques de Languedoc, Montpellier II. 250pp.  
Simón, J.L., (1989): *Jour. Struct. Geol.*, 11(3): 285-294.  
Simón, J.L., (1994): *Tectónica y Neotectónica del sector central de la Cuenca del Ebro (Montes de Castejón - Alcuabierre - Monegros)*. C.G.S. Madrid.  
Simón, J.L., Serón, F.J., y Casas, A.M., (1988): *Ann. Tectonicae*, II(1): 21-32.  
Turner, J.P. y Hancock, P.L., (1990): *Jour. Struct. Geol.*, 12(2): 217-226.