

las relaciones de continuidad estratigráfica observadas en algunos puntos entre los últimos materiales marinos y los primeros continentales (Fernández y Soria, 1988), puede considerarse que en las partes más profundas de la Cuenca de Guadix la sedimentación continental relevó a la marina sin interrupción notable, descartándose una etapa generalizada de erosión previa al inicio de la sedimentación continental.

Referencias

- Adrover, R. (1986): *Tesis Doctoral*. Instituto de Estudios Turolenses, 417 p.
- Dabrio, C. J.; Fernández, J.; Peña, J. A.; Ruiz Bustos, A. y Sanz de Galdeano, C. (1978): *Estudios Geol.*, 34, 89-97.
- Fernández, J. y Soria, J. M. (1988): *Simpósios II Congreso Geológico de España*, 291-298.
- Padial, J. (1986): *Tesis Doctoral Univ. Granada*, 307 p.

- Ruiz Bustos, A. (1990): *IX Congress RCMNS*, Barcelona, 301-302.
- Sesé, C. (1989): *Trabajos sobre Neógeno Cuaternario*, 11, 185-214.
- Soria, J. M. y Ruiz Bustos, A. (1991): *Geogaceta*, 9, 94-96.
- Vera, J. A. (1970): *Bol. Geol. Min.*, 81, 429-462.
- Weerd, A. Van de (1976): *Utrecht Micro-pal. Bull. Spec. Bull.*, 2, 1-218.

Recibido el 1 de octubre de 1991
Aceptado el 25 de octubre de 1991

Observaciones sobre las fracturas de las diaclasas plumosas.

A. Pocoví; L. Arlegui y J. L. Simón

Dpto. Geología. Univ. Zaragoza. 50009-ZARAGOZA

ABSTRACT

Many joint surfaces show en échelon arrays of microfractures (F-joints) along one or both fringes of hackle marks. Our field observations indicate that, where both sets are present, they are stepped in opposite senses. So the F-joints can not be used as shear criteria for discontinuities. Good examples of hackle marks with F-joints have been reproduced in the laboratory by submitting silicone putty to tensile tests when these include some rotational component. Rotation induces shear in different senses if observed from an external point of view; so it can explain the development of two sets of Riedel fractures showing opposite stepping. In geological conditions, this rotation occurs around the tips of fractures undergoing vertical displacement. Thus, from this model, hackle marks and F-joints could be used for detecting the sense of small dip-slip movements on joints.

Key words: joint, hackle mark.

Geogaceta, 11 (1992), 94-97.
ISSN: 0213683X

Introducción

Las ornamentaciones plumosas que aparecen en planos de diaclasa o juntas de retracción de distinta naturaleza se expresan por un tenue relieve cuyas crestas se disponen de forma similar a las barbas de una pluma de ave. Asociados a la terminación de estas barbas aparecen, con mucha frecuencia, sistemas de microfracturas dispuestas en escalón, análogos a los que se desarrollan siguiendo el modelo de Riedel. Estas son denominadas *F-joints* (fringe joints, o diaclasas de margen u orla) en la clasificación que hace Hodgson (1961) de los distintos elementos que componen las plumas. Las descripciones y gráficos que aparecen tanto en este trabajo clásico como en todos los que conocemos publicados posteriormente hacen mención sólo a una de dichas orlas de

fracturas escalonadas o, como en el caso de Syme-Gash (1971), a dos orlas con escalonamiento en el mismo sentido. Si exceptuamos una tímida alusión del propio Hodgson (1961), ningún autor menciona explícitamente la posibilidad de que las fracturas F se releven en sentidos inversos a un lado y otro de la pluma.

La mayor parte de los autores asocian las estructuras plumosas a diaclasas de origen tensional, y admiten que la única información que aportan es la concerniente a la propagación de la fractura; el eje de la pluma representa la dirección de propagación y el sentido de apertura de las «barbas» indica el sentido de la misma (Woodworth, 1896; Hodgson, 1961; Hancock, 1985). Otros van más allá en sus interpretaciones, afirmando que, además, la dirección de propagación es normal al eje de esfuerzos σ_3 y para-

lela a σ_1 (Hancock y Engelder, 1989), o que cada tipo de ornamentación es reflejo de una determinada velocidad y modo de propagación (Roberts, 1961; Pollard y Aydin, 1988).

Son raros los trabajos en los que, explícita o implícitamente, se interpretan las marcas plumosas como indicios de cizalla (Syme-Gash, 1971; Bergerat *et al.*, 1991); la existencia de diaclasas con estructuras dobles que se abren en sentidos opuestos a partir de un punto central parece contradecir la posibilidad de que la forma de la pluma tenga algo que ver con esa supuesta cizalla. Sin embargo, la disposición de las microfracturas F sí podría sugerir en un principio un criterio de cizalla, siempre y cuando mostrasen una total coherencia con el modelo de Riedel, al cual les une una evidente similitud.

La discusión de este último aspecto

es precisamente el objetivo central de nuestro trabajo. Nos basaremos, por una parte, en la observación de numerosos ejemplos de estructuras plumosas con cortejos de microfracturas escalonadas en los materiales carbonáticos de la Cuenca del Ebro y del Prepirineo y, por otra, en los resultados de la modelización experimental. Pretendemos realizar algunas matizaciones referentes a su geometría, mecanismos y utilidad en Geología Estructural, llamando especialmente la atención sobre la existencia de sistemas de microfracturas escalonadas en sentidos distintos a techo y muro de los estratos y sobre las consecuencias que este hecho tiene en la interpretación mecánica de las diaclasas.

Observaciones de campo

En numerosos puntos de la Cuenca del Ebro y sierras prepirenaicas han podido observarse, afectando a calizas y margas muy calcáreas, diaclasas que muestran buenos ejemplos de estructuras plumosas con microfracturas F. El eje de las plumas es siempre paralelo a la estratificación, aunque rara vez se sitúa en el centro de la capa. De ahí que la mayor parte de las plumas sean asimétricas, encontrándose uno de los lados más desarrollado que el otro. Como consecuencia de ello, también las microfracturas F que orlan la pluma presentan un desarrollo muy desigual, observándose generalmente con claridad sólo una de las franjas, bien a techo o bien a muro del estrato.

Esta parece ser una situación bastante común en todas las estructuras plumosas, a juzgar por los ejemplos que se reproducen en la mayor parte de los libros y artículos consultados por nosotros. Quizá esa sea la razón por la cual, hasta el presente, ha pasado desapercibida la existencia de microfracturas F escalonadas en sentidos contrarios en un lado y otro de la pluma. Sin embargo, tanto en alguna de las fotografías publicadas por otros autores (Ramsay y Huber, 1987, fig. 27.32) como en los ejemplos estudiados por nosotros, las diaclasas en las que pueden observarse ambas franjas de microfracturas F (aunque porcentualmente escasas respecto al total) presentan siempre esta última configuración. En algunas ocasiones las dos franjas de microfracturas F están bien diferenciadas (fig 1.A); en otras

se observa cómo, en las líneas abiertas en abanico correspondientes a la zona de terminación de la pluma, los escalones F van girando y pasando sin solución de continuidad de un sentido determinado a un lado del eje de la pluma a prácticamente el contrario al comienzo del otro (fig. 1.B).

Aproximación experimental

Con el fin de abordar una posible

interpretación de los cortejos de microfracturas F hemos intentado simularlas experimentalmente. El material empleado para ello ha sido pasta de silicona, sustancia sintética que presenta un comportamiento viscoso fuertemente determinado por la velocidad de deformación: es elástico-frágil ante sollicitaciones bruscas aplicadas en fracciones de segundo (tirones, golpes), pero fluye con facilidad en unos pocos minutos (Price y Cosgrove, 1990, pp. 22-23).

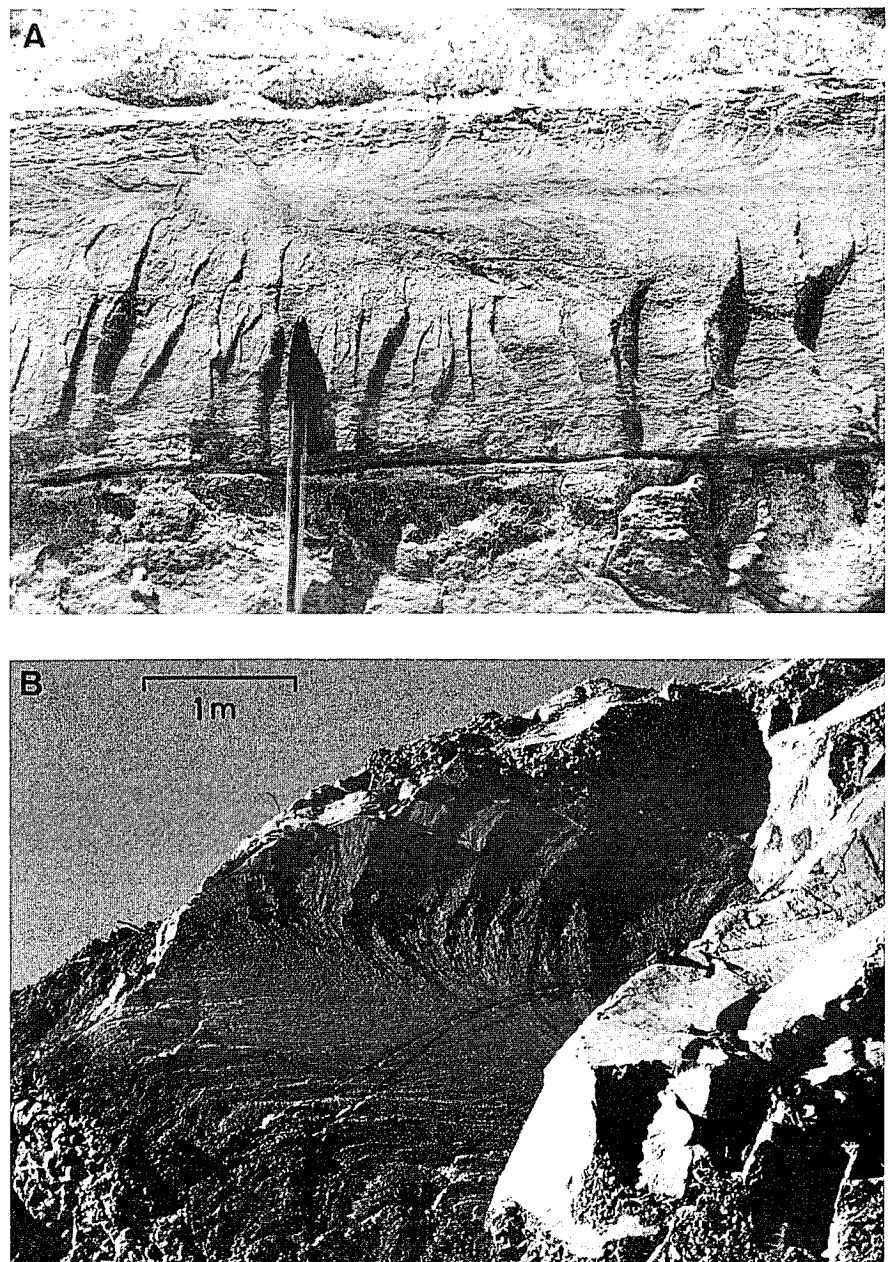


Figura 1.—Ejemplos de diaclasas plumosas con microfracturas F escalonadas en sentidos contrarios a techo y muro del estrado. A: Oligoceno superior-Mioceno inferior (?) de Mequinenza (escalones sinestrales a techo y dextrales a muro). B: Eoceno de Arguis (escalones dextrales a techo y sinestrales a muro).

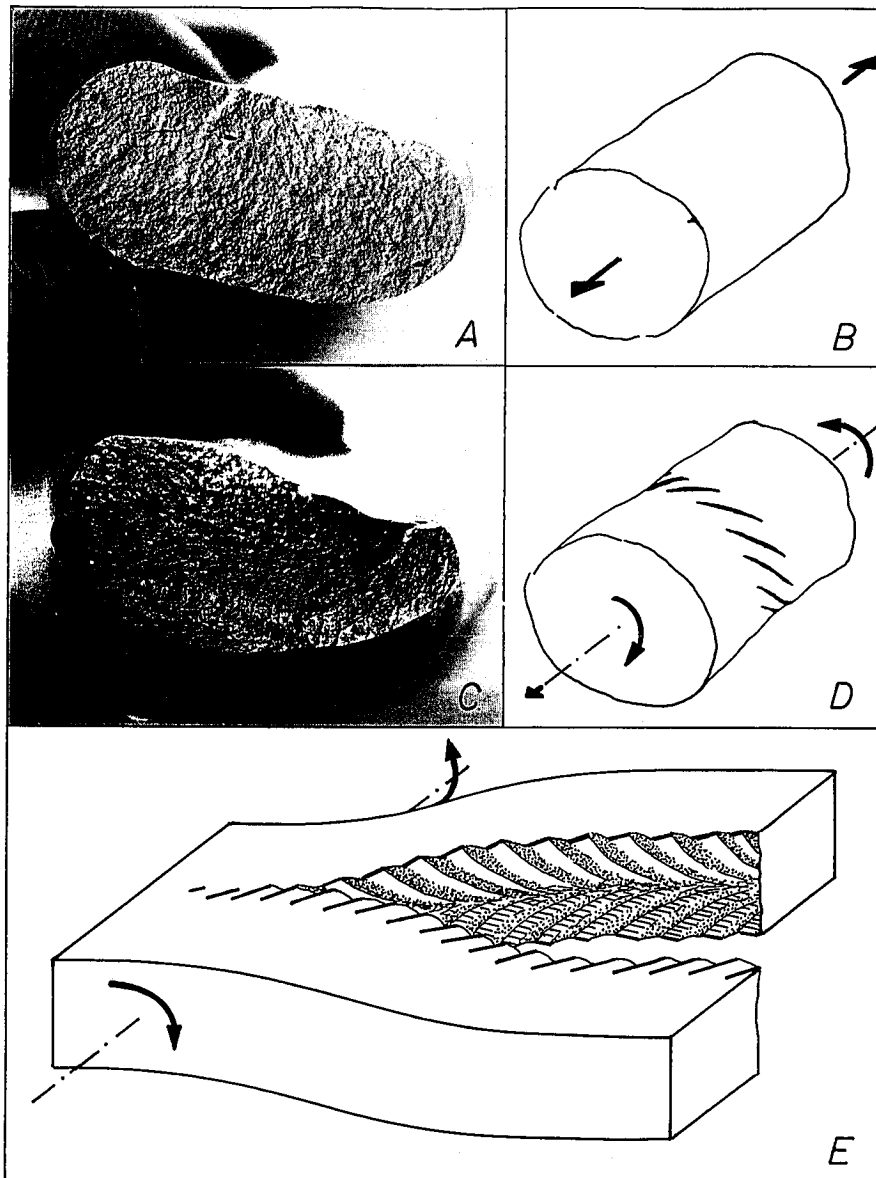


Figura 2.—Resultados de la modelización experimental. A y B: ensayo de tracción simple. C y D: ensayo de tracción-torsión, con desarrollo de estructura plumosa y microfrazuras escalonadas. E: esquema de torsión aplicada a un cuerpo plano por medio de un desgarró en tijera, con desarrollo de dos orlas diferenciadas de microfrazuras F escalonadas en sentidos contrarios.

Los ensayos realizados han consistido en una tracción aplicada manualmente y de forma directa sobre una pastilla alargada de silicona. No nos hemos propuesto el control cuantitativo de los parámetros implicados en el proceso y, por otra parte, existen dificultades técnicas para someter la silicona a ensayos de tracción mecánicos normalizados. Todo ello, unido al relativo éxito obtenido ya en los primeros intentos manuales, nos ha aconsejado limitarnos a este procedimiento. Se han aplicado dos modalidades de tracción, realizando un total de 50 pruebas en cada una de ellas (fig. 2):

(1) **Tracción simple** (fig. 2.A y B). En la mayoría de los ensayos (68%) la rotura se propaga a partir de un punto situado en la cara superior de la pastilla, dando un esbozo de pluma que respondería al modelo «de eje perpendicular al estrato» y con escalonamiento de microfrazuras F apenas perceptible. En el resto de casos (32%) no aparecen centros de propagación significativos ni ningún tipo de estructura plumosa sobre la fractura.

(2) **Tracción + torsión** sobre el plano perpendicular al eje de estiramiento (fig. 2.C, D y E). En el 100 % de los ensayos se han obtenido estruc-

turas plumosas muy claras orladas por escalonamientos F idénticos a los de las diaclasas naturales. Lo más frecuente (54 % de casos) es que dichos escalonamientos se desarrollen sólo en uno de los lados de la pluma. Sin embargo, en un 10 % de pruebas éstos se aprecian con claridad en ambos lados, siempre con sentidos contrarios. En el 36 % restante se aprecian con nitidez escalones F que van girando y cambiando de sentido progresivamente en la zona de terminación de la pluma (fig. 2.D).

Este hecho queda explicado por la componente rotacional aplicada en el ensayo. La torsión, en efecto, induce un movimiento de cizalla entre los dos labios de la fractura, cuyo sentido depende del sentido de giro de aquélla (fig. 2.C). Una torsión en sentido «horario» (giro relativo del propio labio sobre el que se sitúa el observador) produce una componente de cizalla sinistral en cualquier punto de la fractura, supuesto que estamos observando ésta siempre desde fuera hacia el interior de la pastilla de silicona. Sin embargo, si utilizamos un mismo punto de observación (por ejemplo, «desde arriba») para determinar el sentido de cizalla en las partes superior e inferior de la pastilla, estaremos, de hecho, observando «desde fuera» la cizalla en la parte superior y «desde dentro» la de la parte inferior; así, la primera será sinistral y la segunda «parecerá» dextral. Si la torsión afecta a un cuerpo plano y la cizalla consiguiente da lugar a microfrazuras en relevo según el modelo de Riedel, éstas (observadas las de las partes superior e inferior desde un mismo punto de vista) formarán dos conjuntos escalonados en sentidos contrarios (fig.2.E.).

Discusión y conclusiones

Las observaciones de campo y la modelización experimental que hemos descrito, aunque por el momento no constituyen más que aproximaciones elementales, permiten ya inferir dos conclusiones que creemos significativas:

(1) Cuando una pluma aparece orlada por dos cortejos de fracturas escalonadas F, el sentido de sus escalones es contrario a un lado y otro de la misma. No puede considerarse, por tanto, como un criterio de cizalla s.s. sobre el plano de diaclasa.

(2) Las microfracturas F en diaclasas puramente tensionales pueden explicarse mecánicamente si a la tracción se añade una ligera componente rotacional. Es ésta la que induciría una cizalla aparente con sentidos contrarios a un lado y otro del centro de propagación de la fractura.

Queda por dilucidar la causa de dicha componente rotacional. Es evidente que el mecanismo cinemático mediante el cual ésta se ha aplicado en nuestros experimentos no es del todo realista. En condiciones de deformación habituales, esa hipotética componente rotacional parece necesitar de un cierto desplazamiento vertical (aunque éste pueda ser prácticamente imperceptible) a lo largo del plano de diaclasa. Así, una fractura tensional casi pura con una ligera componente normal produciría ese efecto de torsión en tijera en torno a los extremos hasta los que en cada momento se ha propagado (la figura 2.E puede considerarse un esquema representativo, aunque muy exagerado, de dicho proceso). La continuidad en la propagación de la diaclasa permitiría un desarrollo longitudinal de la estructura plumosa y de las franjas de microfracturas F. Según este modelo, la observación combinada del sentido de la pluma y del sentido del escalonamiento de microfracturas F a techo o muro del estrato permitiría detectar el carácter de «bloque hundido» y «bloque levantado» de uno y otro labio de la discontinuidad (figura 3). Tal información podría ser útil, a su vez, en virtud de su posible vinculación con el dispositivo macroestructural.

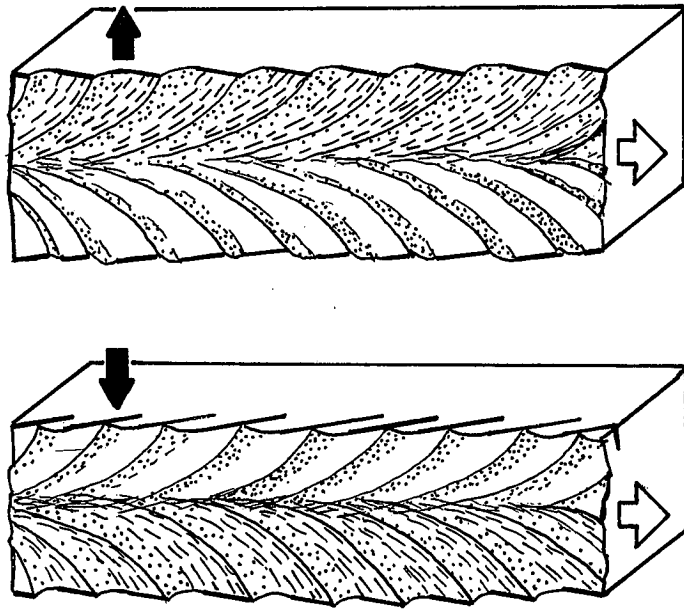


Figura 3.—Esquemas de relación entre el sentido de la pluma y del escalonamiento de microfracturas F, el sentido de propagación de la fractura (flecha blanca) y el de la componente vertical de los labios de la fractura (flecha negra).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con cargo al proyecto CICYT nº GEO91-0924.

Bibliografía

- Bergerat, F; Angelier, J. y Bouroz, C. (1991): *C. R. Acad. Sc. Paris*, II, 312: 309-316.
- Hancock, P. L. (1985): *J. Struct. Geol.*, 7(3/4): 437-457.
- Hancock, P. L. y Engelder, T. (1989): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101(10): 1197-1208.
- Hodgson, R. A. (1961): *Am. Jour. Sci.*, 259: 493-502.
- Pollard, D. D. y Aydin, A. (1988): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 100: 1181-1204.
- Price, N. J. y Cosgrove (1990): *Analysis of geological structures*, Cambridge Press.
- Ramsay, J. G. y Huber, M. I. (1987): *The techniques of Modern Structural Geology*, vol.2, Academic Press.
- Roberts, J. C. (1961): *Am. Jour. Sci.* 259: 481-492.
- Syme-Gash, P. (1971): *Tectonophysics*, 12: 349-391.
- Woodworth, J. B. (1896): *Boston Soc. Nat. Hist. Proceed.*, 27: 163-183.

Recibido el 1 de octubre de 1991
Aceptado el 25 de octubre de 1991

Caracterización geoquímica de los granitoides de Mora Gálvez (Toledo)

P. Andonaegui

Dpto. Petrología y Geoquímica. Fac. C.C. Geológicas Universidad Complutense. 28040 Madrid.

ABSTRACT

In the plutonic complex of Mora-Gálvez (south Toledo) we have distinguished three types of granitoids: coarse grained granites, porphyritic granites and cordierite nodules leucogranites. All of them are biotite-bearing and they usually have minor cordierite. Geochemically are peraluminous and their origin could be from melting of crustal rocks.

Key words: Geochemistry, peraluminous granites, Iberian Hercynian belt.

Geogaceta, 11 (1992), 97-100.
ISSN: 0213683X