

generados por una dirección de acortamiento, próxima también a N 150 E, para tiempos pliocuaternarios. Dichos pliegues están igualmente asociados a saltos inversos de las fallas NE-SO (ver fig. 2).

Los desplazamientos sinestrales e intermitentes, deducidos de criterios cinemáticos en rocas de falla asociadas al accidente tectónico (FAM), no tienen porqué ser siempre posteriores

a la edad de los pliegues (aprox. 4-5 m.a) en virtud de que las superficies de falla no estén plegadas.

Estructuras discontinuas mayores preexistentes a través de un campo de esfuerzos regional (σ_R) responden generalmente con un tipo de deformación homogénea traslacional, como es el caso que nos ocupa. La reactivación de estos accidentes mayores conlleva, con este tipo de desplazamientos,

variaciones de los ejes principales del elipsoide de deformación en los materiales de cobertera adyacentes al plano de cizalla sin que ello implique el que se pliegue el plano de falla.

Referencias

- Sanz de Galdeano, C. (1983): *Estudios Geol.*, 39: 157-165.
Ott d'Estevou, P. y Montecat, C. (1985): *C. R. Acad. Sc. Paris*, 300, 366-368.

Estudio preliminar de la fracturación a escala microestructural en las sierras marginales aragonesas*

Preliminary study of brittle microstructures in the «sierras marginales aragonesas»

H. Millan*, A. M. Casas* y J. J. Navarro*

* Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. 50009 Zaragoza.

* Este trabajo ha sido subvencionado por los proyectos CB-5/87 del CONAI (Diputación General de Aragón), PB88-0389-CO2-01 de la DGICYT, así como por el Instituto de Estudios Altoaragoneses.

ABSTRACT

Brittle microstructure in the «Sierras marginales aragonesas» have been analysed by means of the Right Dihedra, γ -R diagrams and Etchecopar's methods. The existence of several compression directions can be interpreted as the results of a NNE regional compression and others (mainly ENE and E-W) linked to compressive macrostructures striking N-S. Some of the extensive stress tensors obtained can be associated to extension in the footwall of the main thrust of the sierras.

Key words: *sierras marginales aragonesas, fracturing, stress tensor.*

Geogaceta, 9 (1991), 42-44.

Introducción

Las sierras exteriores aragonesas (Prepirineo meridional) limitada al N por el sinclinatorio de Jaca, y al S por los materiales miocenos de la cuenca del Ebro, representan el extremo meridional de las unidades alóctonas.

Los materiales más antiguos aflorantes pertenecen al Trías superior (Fm. Pont de Suert). A partir de ellos, la serie, predominantemente marina, está constituida por las calizas arenosas, calizas con rudistas y miliólidos de las Fms. Areny y Bona (Cretácico superior), a continuación los materiales de transición y continentales de la Fm. Tremo (Cretácico-Paleoceno), las calizas con Alveolinas y Nummúlites de la Fm. Guara (Ilerdiense-Luteciense), las margas de Arguis, las calizas arenosas y margas de la Fm. Belsué-Atarés (Canudo *et al.*, 1990), para terminar con los potentes depósitos fluviales de la Fm. Campodarbe (Eoceno superior-Oligoceno).

Una de las características más notables de este frente cabalgante es la presencia de una serie de anticlinales

de orientación N-S que, formando parte del bloque superior del cabalgamiento basal de la cuenca de Jaca, se superponen bien sobre la propia cobertera mesozoica-terciaria o bien sobre parte de los depósitos molásicos asociados al frente de sierras. Ya Almela y Ríos (1950) y posteriormente Puigdefábregas (1975) ponen de manifiesto la edad cada vez más moderna hacia el W de estos anticlinales de orientación meridiana. De los estudios realizados por Barbed *et al.* (1988) y Pocoví *et al.* (1990) se desprende que a partir del Oligoceno superior, y desde el extremo occidental de las Sierras (Sierra de Salinas y Santo Domingo) se produce una inversión del sentido de progresión de la deformación. De una secuencia de bloque inferior que progresa hacia el W pasaríamos a una serie de cabalgamientos que entroncándose en el cabalgamiento basal antes mencionado, y en secuencia de bloque superior, son cada vez más modernos hacia el E.

Aparte de la extinción de los pliegues y estructuras cabalgantes que acabamos de describir, es notoria la

presencia, en una gran parte del ámbito de las sierras, de una importante fracturación a todas las escalas, sin que hasta la fecha se haya realizado ningún análisis de este tipo de estructuras. Con este trabajo hemos pretendido iniciar en esta zona el estudio de la deformación frágil a escala microestructural, del cual presentaremos unos resultados previos. Si bien los métodos de análisis de poblaciones de fallas se han utilizado generalmente en áreas con un menor grado de deformación (por ejemplo, en la Cordillera Ibérica), pensamos que podrá resultar una herramienta auxiliar válida a la hora de interpretar la génesis y evolución de la macroestructura en nuestra zona de trabajo.

Métodos utilizados

Los métodos que hemos usado para inferir los tensores de esfuerzos a partir de poblaciones de fallas son los de Diecros Rectos (Angelier y Mechler, 1977), diagramas γ -R (Simón Gómez, 1986) y método de Etchecopar (Et-

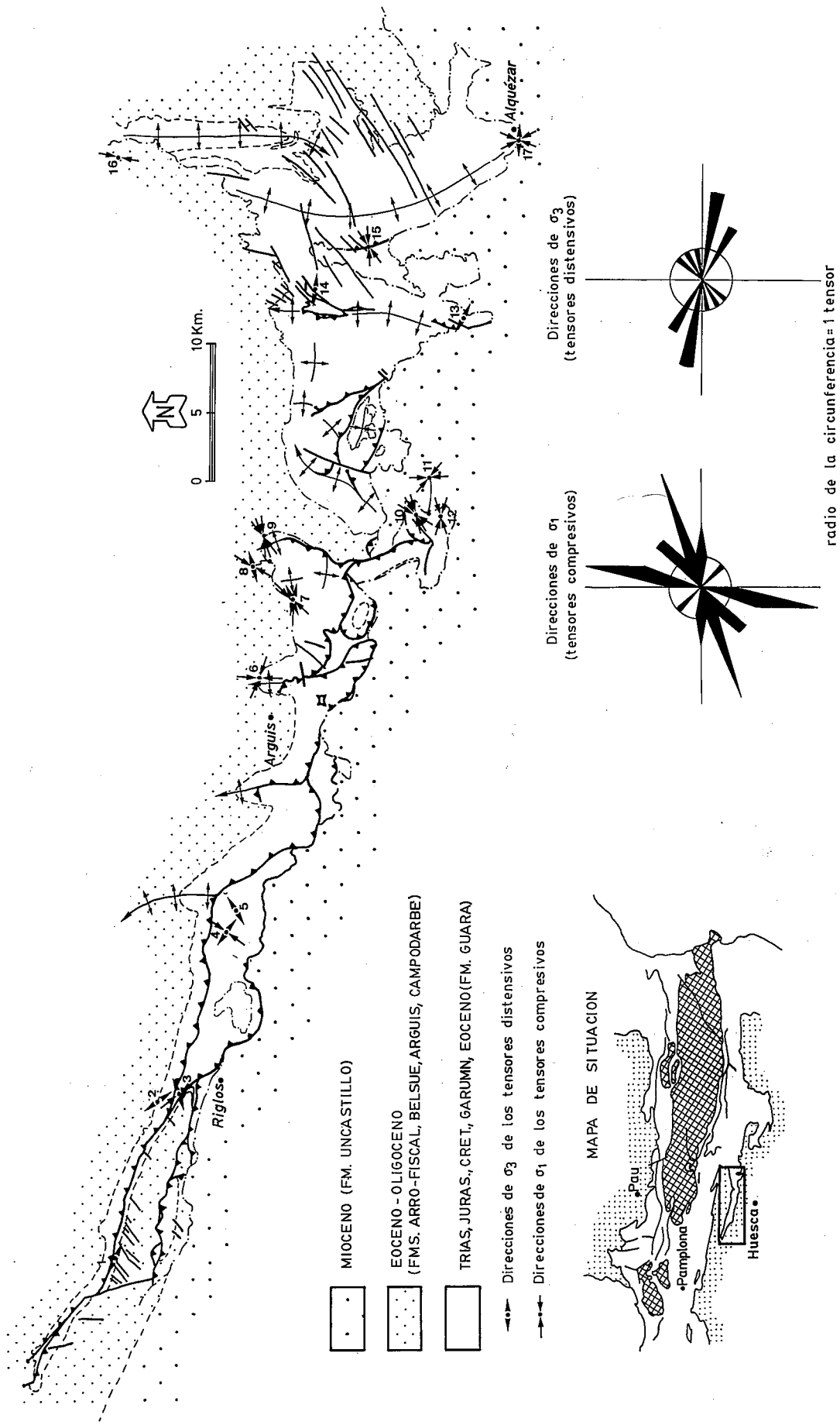


Fig. 1.—Situación de las estaciones de toma de datos microestructurales dentro del área estudiada y direcciones de compresión y extensión de los tensores obtenidos a partir del análisis en cada una de ellas. Los diagramas en rosa muestran la frecuencia relativa de estas direcciones.

Fig. 1.—Location sketch of the outcrops analyzed in the studied area and compression - extension directions obtained from the analysis of the microstructural data. The rose diagram shows the relative frequency of these directions.

checopar *et al.*, 1981). El uso de los tres métodos permite comparar los resultados obtenidos, lo que da una idea de la fiabilidad de los mismos.

El método de los Diedros rectos ha sido el primero en ser utilizado, ya que da una idea rápida de las direcciones de los esfuerzos principales. A continuación se ha aplicado el método de Etchecopar, que permite la separación de los diferentes tensores compatibles con los movimientos de las fallas de la población. Los resultados de este método aparecen como orientación de los ejes de esfuerzos, y la relación $R=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$, que da forma al elipsoide de esfuerzos; el método de Etchecoper ofrece también un test de compatibilidad mecánica de los planos de falla con el tensor mediante el círculo de Mohr.

El método de los diagramas y-R está basado en la ecuación de Bott, y parte de la consideración de que uno de los ejes de esfuerzo principales es vertical, de modo que sólo son necesarias dos variables para definir el tensor de esfuerzos: y (dirección de σ_y , el esfuerzo comprensivo máximo en la horizontal), y $R=(\sigma_z-\sigma_x)/(\sigma_y-\sigma_x)$, la relación de esfuerzos usada en la ecuación de Bott (1959). Todos los pares de valores y-R que explican el movimiento de cada falla se representan como una curva en un diagrama bidimensional. Los «nudos» en los que las curvas correspondientes a diferentes fallas se cortan constituyen las posibles soluciones. La principal ventaja de este método es que muestra el espectro de todos los tensores compatibles con la población de fallas, que pueden ser comprobados después mediante el método de Etchecopar.

Resultados e interpretación

Se han analizado 17 estaciones de datos microestructurales. La práctica totalidad de ellas se sitúan sobre calizas de la Fm. Guara. El análisis se ha basado fundamentalmente en planos de falla de escala decimétrica a métrica, que presentan, en general, buenos indicadores de movimiento, tales como escalones estrilolíticos y de calcita fibrosa. El número de fallas por estación varía entre 15 y 100, siendo lo más frecuente estaciones con 40-45 fallas.

Las direcciones de compresión y extensión obtenidas aparecen representadas en la figura 1. En el mapa y en las rocas de frecuencia de direcciones de compresión (para los tensores con σ_1 horizontal) y de extensión (para los tensores con σ_1 en posición vertical) pueden observarse las siguientes tendencias:

— Se encuentra bien representada la dirección de compresión NNE, que correspondería a lo que podemos considerar como compresión regional «pirenaica».

— Existen también en numerosos puntos direcciones de σ_1 perpendiculares a las orientaciones de las macroestructuras compresivas a las que se encuentran asociadas; estas direcciones de compresión se encuentran comprendidas generalmente entre ENE y E-W. En este punto conviene hacer notar que por la relación entre los ejes de los tensores y la orientación de la estratificación se ha determinado que en algunos casos la fracturación es anterior a la flexión de las capas y en otras posterior (considerando que, en general, cuando se produce la fracturación, uno de los

ejes del tensor de esfuerzos es vertical).

— La mayor parte de las direcciones de σ_3 en los tensores distensivos se encuentran en torno a E-W. Suponemos que, en el sector occidental de las sierras, algunas de ellas pueden estar relacionadas con una extensión localizada en el bloque inferior del cabalgamiento principal. En el sector oriental aparecen también macroestructuras distensivas (fosa de la Pardina del Seral), en un contexto de pequeñas fosas de pull-apart.

Referencias

- Almela, A. y J. M. Ríos (1950): Actas del 1^{er} Cong. Int. del Pirineo. San Sebastián, t II, pp. 1-28. *Pub. Instituto de Estudios Pirenaicos*, 1952.
- Angelier, J. et P. Mechler (1977): *Bull. Soc. géol. France* (7), t. XIX, n^o 6: 1309-1318.
- Barbed, F.; M. B. Martínez Peña; H. Millán Garrido; J. J. Navarro Juli y A. Pocoví Juan (1988): *Symposium on the Geology of the Pyrenees and the Betics*. Univ. de Barcelona, p. 91.
- Bott, M. H. P. (1950): *Geol. Mag.*, 96, 109-117.
- Canudo, J. I.; J. Malagón, A. Meléndez, H. Millán, E. Molina y J. J. Navarro (1991): *Geogaceta*, 9, 81-84.
- Etchecopar, A.; G. Vasseur & M. Daignières (1981): *Journal of Structural Geology*, 3 (1): 51-65.
- Pocoví, A.; H. Millán, J. J. Navarro y M. B. Martínez (1990): *Geogaceta*, 8, 36-39.
- Puigdefábregas, C. (1975): *Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos*. Jaca, n^o 104, 188 pp.
- Simón Gómez, J. L. (1986): *Tectonophysics*, 124, 37-53.

Recibido el 1 de octubre de 1990.
Aceptado el 26 de octubre de 1990.

Pulsaciones glaciares y terrazas marinas escalonadas en los alrededores de la Base Antártica Española. Isla Livingston. Shetland del Sur

Glacial pulses and marine terraces near the Antarctic Spanish Base, Livingston Island, South Shetlands

J. López Martínez*, E. Martínez de Pisón* y A. Arche Miralles**

* Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

** Inst. de Geología Económica. C.S.I.C. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

ABSTRACT

The recent fluctuations of the glaciers can be modelled near the Antarctic Spanish Base (BAE), where six morainic arches are exposed, as well as eight marine terraces up to +18.6 m. Some con-