



## Análisis poblacional de la fracturación tardihercínica en el sector central, del Sistema Central Ibérico

### Population analysis of the late hercynian faulting in the Spanish Central System

CAPOTE, R.; GONZALEZ CASADO, J. M.; DE VICENTE, G.

En la región comprendida entre Cercedilla, El Espinar y Robledo de Chavela (Sistema Central), se han observado una serie de zonas de cizalla dúctiles que cortan a las estructuras Hercínicas anteriores; son de dirección N80-N110E y poseen movimientos de tipo normal. Este tipo de régimen distensivo concuerda con tipos deformacionales descritos por otros autores en el Sistema Central Español. En la misma zona están también presentes una serie de diques y fallas frágiles que corresponden a un régimen deformacional inicialmente de tipo distensión uniaxial, según N5-N10E. Las principales direcciones de fraturación se concretan en dos familias muy próximas (N80E y N100E), o en una única familia según N90E. A favor de esta última dirección, y en régimen de tipo extensión uniaxial se emplazan una serie de porfidios graníticos, muy característicos del área estudiada.

Debido al temprano emplazamiento de estos diques y a los planos de movimiento deducibles para unos y otros tipos de fallas, pensamos que ambos eventos han de tener una cierta relación temporal.

La distensión uniaxial pasa en el tiempo, mediante aumento de las compresiones de dirección N95-N100 E, a tectónica de tipo de desgarre. A toda esta evolución deformacional se le denomina «Etapa Malagon». Estos desgarres afectan de una manera dúctil, si bien sin recristalizaciones posteriores, a los diques de porfido granítico, que aun se están emplazando.

Posteriormente, y ya dentro de la tectónica netamente de tipo frágil, se produce un régimen deformacional de tipo desgarre, con dirección de compresión N50E que termina en distensión radial, que hemos denominado «Etapa Hiendelaencina». En esta fase se emplazan diques de cuarzo y baritina de direcciones N20E y N80E.

**Palabras clave:** Análisis poblacional, fallas, esfuerzos, Tardihercínico, Sistema Central.

In the region between Cercedilla, El Espinar and Robledo de Chavela (Middle Occidental Sector of the Central System) a series of ductile shear zones have been observed that cut to the former Hercynian structures with N80-N100 trends and having normal movement. This extensive regime agrees with other previous works.

There are, in the same area, a series of dykes and brittle faults that correspond to a deformational regime with uniaxial extension (initially from N5 to N10). The main fault trends are N80 and N100 (or only one with N90 trend). Following this last direction a series of granitic dykes are emplaced.

This dyke emplacement and the movement scheme make us think in a certain temporal relation between them. The uniaxial extension changes, with an increase of the compressive axis (N95-N100), to a strike-slip fault tectonics. We will call this deformational evolution, «Malagon Phase».

Subsequently, and in a clear brittle tectonics, it is produced a deformational regime of strike slip type with a direction of compression of N50E, ending in a radial extension named «Hiendelaencina Phase», with emplacement of quartz and baryte dykes with N20 and N80 trends.

**Key words:** (Population analysis, faults, stresses, Late-Hercynian, Central System).

CAPOTE, R.; GONZALEZ CASADO, J. M.; De VICENTE, G. Dpto. de Geodinámica. Facultad de Geología. Universidad Complutense. 28040. Madrid.

## INTRODUCCION

En la región situada entre Cercedilla, El Espinar y Robledo de Chavela (Sector Centro-Occidental del Sistema Central Español), se han observado una serie de bandas de cizalla de dirección Este Oeste que han actuado como fallas normales, relacionables con etapas distensivas Hercínicas (DE LAS DOBLAS M. et Alters 1983, GONZALEZ CASADO, J. M. 1986, CAPOTE, R. 1986), y una serie de fallas y diques netamente tardihercínicos que han sido interpretados mediante métodos de análisis poblacional de fallas (ANGELIER, J. y MECHLER, P., 1977, Diagramas P/T), Diagramas y/R SIMON GOMEZ, J. L. 1982), y (Diagrama e/K', De Vicente, G. 1986). Se intentará, en este trabajo deducir los tipos deformacionales responsables de la génesis de todas estas estructuras.

## LAS ZONAS DE CIZALLA NORMALES

En varios puntos del Sistema Central, han sido localizadas por diversos autores, grandes zonas de cizalla que indican movimientos de tipo normal, y que actuaron bajo condiciones ambientales que permitieron el desarrollo de rocas miloníticas, es decir, en un régimen deformacional de tipo dúctil. Estas estructuras han sido observadas en los siguientes puntos:

— Región de Somosierra y Honrubia (GONZALEZ CASADO, J. M., 1986a y b). Zona de Robledo de Chavela (MARTIN ESCORZA, C. 1975), en el Macizo de San Vicente (DE LAS DOBLAS M. et Alters 1983, y DE LAS DOBLAS, M. 1985). También han sido citadas en estudios de carácter regional sobre esta región (LOCUTURA, J. y TORNOS, F., 1985).

Estas estructuras no deben de confundirse con otras dos etapas anteriores con deformaciones predominantes por cizalla simple; una de ellas origina en la región estudiada (Macizo del Escorial), cabalgamientos posteriores a la segunda fase Hercínica ( $F_2$ ). Y la otra más importante y más antigua sincrónica con la segunda fase Hercínica, durante la que se forman los grandes cabalgamientos visibles en esta región (cabalgamientos de segunda fase de CAPOTE, R. et Alters 1981).

En esta región, las zonas de cizalla encontradas, y que corresponden a las fallas con movimientos normales, se caracterizan por presentar una gran potencia (varios centenares de metros) y un gran desarrollo longitudinal (decenas de kilómetros), con unas orientaciones entre N80 y N100E, y buzamientos de 70 a 60 grados, generalmente hacia el Sur (Fig. 1), afectando tanto a rocas esquistosas y cuarcíticas como a cuerpos graníticos tempranos. Presentan estructuras de tipo dúctil, con una foliación milonítica bien desarrollada (Planos «C»), y en algunos casos con planos «S» conjugados. Aparecen también numerosos cristales rotados, triturados o estirados con diversas características. En todos los casos las diversas microestructuras, tanto planares (Planos «S», «C», o sigmoides), como de porfiroclastos (cuarcos, acintados, feldespatos rotados y fracturados, etcétera) indican movimiento normal.

Por otro lado, la lineación de estiramiento se orienta hacia el Sur, con un ángulo de cabeceo próximo a los 90° con respecto a la foliación milonítica.

En estas milonitas y especialmente en los cristales de cuarzo acintados, se observa una importante etapa de formación de subgranos, lo que unido al hecho de afectar estas zonas de cizalla a algunos granitos hercínicos tempranos, y a las características dúctiles previamente mencionadas, hace posible suponer que se originaron todavía en relación con un pico térmico, es decir, próximas en el tiempo a las últimas deformaciones

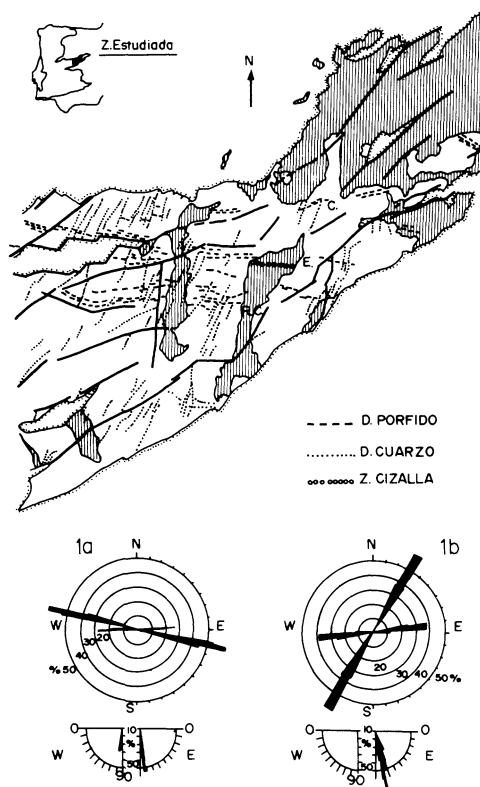


Fig. 1

sinmetamórficas Hercínicas (GONZALEZ CASADO, J. M. 1986).

## ANÁLISIS POBLACIONAL DE FALLAS

Se han utilizado tres métodos distintos que parten de conceptos diferentes. Dos de ellos (los diagramas P/T y y/R) que indagán en la naturaleza del elipsoide de esfuerzos, y el tercero (diagramas e/K') en el de deformación.

El diagrama P/T (ANGELIER, J. y MECHLER, P. 1977) consiste en sumar las áreas compatibles en extensión y en compresión del conjunto de fallas mediante el concepto de diedros rectos. El diagrama y/R relaciona el cabeceo de las estrías con el buzamiento, el ángulo entre la dirección de las fallas y el máximo eje compresivo horizontal

(y) con el invariante  $R$   $(\delta_1 - \delta_2) / (\delta_3 - \delta_2)$  del elipsoide de esfuerzos (BOTT, M., 1959, ARMIJO, R., 1977, SIMON GOMEZ, J. L., 1982). El último método, el diagrama  $e/K'$  (De VICENTE, G., 1986) parte de las relaciones de simetría deducibles del «modelo deslizamiento» (RECHES, Z., 1983) para obtener el parámetro  $K'$  ( $e_1/e_2$ ) del elipsoide de deformación. De este modo, tanto en  $R$  como en  $K'$  se definen trece tipos de regímenes diferentes, desde compresión radial ( $K' = -0.5$ ,  $r = +\theta$ ) hasta extensión radial ( $K' = -0.5$ ,  $r = +\theta$ ), pasando por todos los tipos posibles, con el límite entre compresiones y extensiones en los desgarres puros ( $K' = -/\infty$ ,  $R = -0.5$ ).

PRINCIPALES ORIENTACIONES DE LAS FALLAS Y DIQUES, ANALISIS POBLACIONAL EN LA ZONA DE ESTUDIO

La primera observación deducible de la cartografía geológica de esta región, es la presencia de numerosos diques de pórfido granítico con unas direcciones cercanas a la E-W muy marcadas (Fig. 1). Del análisis de una serie de estaciones de datos microestructurales, deducimos que las orientaciones de las fallas predominantes se pueden agrupar en dos tipos (Fig. 1):

- a) Fallas de direcciones N100-N110E y fallas de direcciones N70-N90E (Fig. 1a).
- b) Fallas de direcciones N70-N90E y fallas de direcciones N20-N30E (fig. 1b).

Como puede apreciarse, las fallas de dirección N70-N90E se encuentran en ambos diagramas. La deducción de estas dos situaciones diferentes se debe a su reiterada asociación en distintas estaciones y a relacionarse con diferentes valores del cabeceo de las estrías. Los buzamientos son, en todos los casos altos (70 a 80 grados).

Las fallas del primer grupo (a), suelen presentar cabeceos muy bajos, indicando movimientos preferentes de tipo desgarre (las N110-N100E sinestrales, y las N70-

N90E, dextrales), si bien debido al bajo ángulo de separación de sus respectivas direcciones, el tránsito desde o a fallas normales debió ser muy brusco, (DE VICENTE, G., 1986). Del análisis de este tipo de fallas mediante el diagrama P/T (Fig. 2a), se deduce que el conjunto de fallas responde a desgarres con dirección de extensión N5-N10E, aunque el eje compresivo parece quedar también en la vertical. Este tipo de diagramas es muy común en tránsitos entre desgarres y fallas normales (DE VICENTE, G., 1986). Del análisis de los diagramas  $y/R$  (Fig. 2b) se deduce una dirección de compresión (y) según N100E (N104 a N97E) con  $R$  cercano a 1, es decir la zona cercana a extensión uniaxial. No obstante, el diagrama que resulta más claro es el  $e/K'$  (Fig. 2c). En él se aprecia que, manteniendo la dirección de máximo eje compresivo horizontal, o mínimo extensivo ( $e_1$ ) entre N93 y N99E, existe una clara evolución en los va-

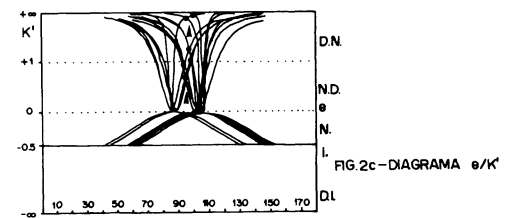
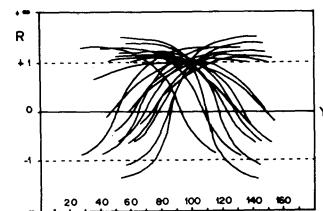
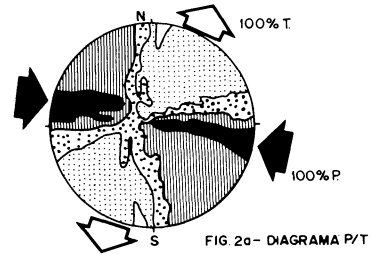


Fig. 2

lores de  $K'$ , con intersecciones cercanas a 0 ( $-0.02$ ), es decir, extensión uniaxial, hasta valores próximos a  $\partial$  (desgarres puros), pasando por fallas normal direccionales y desgarres normales ( $K' = 0,49$  y  $K' = 1,73$ ).

Desde el tipo de tectónica pueden explicarse, tanto el emplazamiento de los diques de pórfido granítico en una única dirección (extensión uniaxial), como la existencia previa de zonas de cizalla dúctiles, también en una única dirección E-W. En efecto cuando  $K' = 0$ , y según el «modelo de deslizamiento» (RECHES, Z., 1983, y DE VICENTE, G., 1986), la deformación es de tipo plana ( $e_y = 0$ ,  $e_x = -e_z$ .  $e_x$  horizontal, estiramiento,  $e_z$  vertical, acortamiento), con lo que se produce una única dirección de fracturación, con dos buzamientos contrarios. Por todo ello, pensamos que la existencia de diques de pórfido en una única dirección predominante puede explicarse mediante esta distensión uniaxial desde N5-N10E, y que posteriormente evolucionaría hacia desgarres con dirección de compresión N100E. Por otra parte, el régimen deformacional del análisis de las zonas de cizalla normales encaja bien en este esquema.

Los bordes de algunos de los diques de pórfido se hallan afectados por zonas de cizalla que indican movimientos en dirección, compatibles con las últimas etapas de esta evolución.

Son zonas de cizalla en las que se forman rocas miloníticas constituidas por porfiroclastos de feldespato y plagioclasa que se deforman frágilmente, y cuarzos con formas acintadas que fueron deformados dúctilmente, todo ello en una matriz abundante y de grano muy fino. Pero a diferencia de lo observado en las rocas miloníticas asociadas a fallas normales y descritas anteriormente, no existe en este caso una etapa de recristalización posterior importante. La lineación de estiramiento en las milonitas tiene un cabeceo sobre el plano de esquistosidad milonítica de 3 a 5°, y una constante dirección entre N80 y N100E. Todas las microestructuras observables en secciones paralelas a la li-

neación y normales a la esquistosidad milonítica (colas de trituración, cristales fracturados, colas de presión, cristales rotados, poligonizaciones oblicuas, etc.) indican un sentido de movimiento sinistral de desgarre de cizalla de dirección N100E.

En estas bandas, se observan también, crenulaciones extensionales (Planos «S» y «C») que en general indican el mismo plan de movimientos.

A todo este ciclo tectónico evolutivo se le ha denominado «ETAPA MALAGON».

Este tipo de tectónica, deducible del análisis microestructural, coincide con una de las posibles explicaciones sobre el emplazamiento de los diques de pórfido granítico en esta región propuesta por GONZALEZ UBANELL (1981), basada en el análisis macroestructural (distensión Norte-Sur).

El otro conjunto de fallas (Fig. 1b), resulta mucho más conocido y desarrollado en todo el ámbito del Sistema Central. Así, DE VICENTE et Alters (1986), estudiando los diques de cuarzo y baritina con mineralizaciones de plata en Hiendelaencina (Sector Oriental del Sistema Central) dedujeron que se trataba de una tectónica que evolucionaba desde desgarres con dirección de compresión N50E hasta distensión radial. Hay que destacar, que en el sector estudiado, todos los diques de cuarzo, como los de baritina, siguen las mismas orientaciones (GONZALEZ UBANELL, A. 1981).

Del análisis microestructural cabe deducir una evolución desde desgarres con dirección de compresión N50-N70E a fallas normales de una forma cualitativa en el diagrama P/T (Fig. 3a). En el diagrama y/R no se aprecia muy bien la evolución, determinándose un máximo con  $R = 1,8$  (fallas normales) y una dirección de compresión (y) según N56E (N45-N65E), (Fig. 3b).

Ahora bien, en el diagrama  $e/K'$  (Fig. 3c), la evolución es muy clara desde  $K'$  cercano a más infinito (desgarres puros) hasta  $K'$  cercana a extensión radial ( $K' = -0.23$ ) y con dirección de  $e$ , constante entre N42 y N63E, con un máximo en N54E. El tránsito

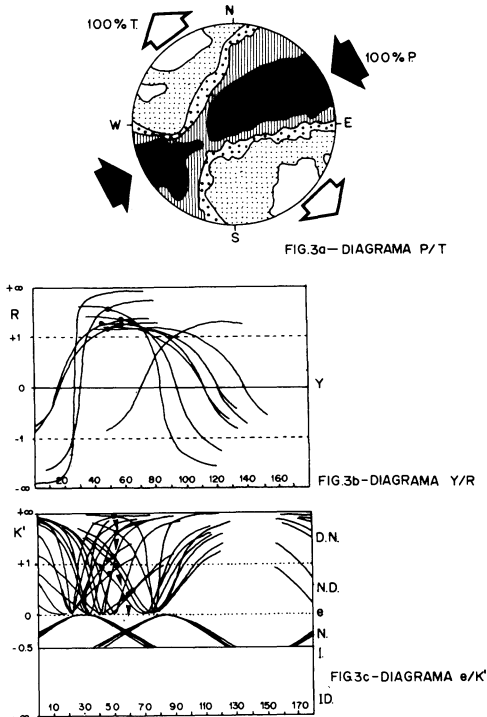


Fig. 3

en este caso es mucho más gradual que en la etapa anterior.

Por todo ello, hacemos corresponder nuestros análisis con la «ETAPA HIENDELAENCINA».

Aquí, las fallas de dirección N20-N30E se moverían inicialmente como desgarres dextrales, mientras que las N70-N90E, lo harían con sinestrales, mientras que en la etapa anterior lo hicieron como dextrales.

La posterioridad de esta fase, y los tipos de movimientos descritos son claramente visibles a nivel macroestructural.

### CONCLUSIONES

En el sector Centro-Occidental del Sistema Central se deduce la existencia de dos etapas de fracturación Tardihercínica.

La última, la etapa Hiendelaencina, está ampliamente desarrollada en todo el ámbito del Sistema Central, pasando desde desgarres con dirección de compresión N55E, hasta distensión radial, moviendo fallas de direcciones N20-N30E y N70-N90E.

La primera estaría, en sus etapas iniciales, relacionada con una clara distensión que daría zonas de cizalla dúctiles de direcciones Este Oeste, y próximas en el tiempo a los últimos picos térmicos. El emplazamiento de los diques de pórfido granítico, bajo distensión uniaxial, y el posterior tránsito a desgarres, con dirección de compresión N100E, cae ya dentro del campo que podemos considerar como frágil, moviendo fallas de dirección N70-N110E, e incluso los bordes de los diques de pórfido granítico, dando lugar a zonas de cizalla sin recristalizaciones posteriores, y que indican movimientos de tipo desgarre. A toda esta evolución tectónica se le denomina etapa «Malagón».

*Recibido 29-I-87  
Admitido 2-IV-87*

## BIBLIOGRAFIA

- ANGELIER, J., MECHLER, P. (1977). Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: La méthode des diédres droits. *Bull. Soc. Geol. Fra.* 19-7, 1309-1318.
- ARMIJO, R. (1977). La zona de fallas de Lorca-Totana (Cordilleras Béticas). Etude tectonique et néotectonique. Tesis U. Paris VII, 98 pp.
- BOTT, M. P. H. (1959). The mechanics of oblique slip faulting. *Geol. Mag.*, 96, 109-117.
- CAPOTE, R. (1985). Historia deformativa en el Sistema Central. Tectónica Prehercínica y Hercínica. *Rev. Real Acad. Cien. Exac. Fis. Nat.* LXXIX-4, 511-522.
- CAPOTE, R., CASQUET, C., FERNANDEZ CASALS, M. J. (1981). La tectónica Hercínica de Cabalgamientos en el Sistema Central. *Cuad. Geol. Iber.* 7, 455-469.
- DE LAS DOBLAS, M., CAPOTE, R., CASQUET, C. (1983). Fenómenos de cizalla en los granitoides de la Sierra de San Vicente (Sierra de Gredos). *Stud. Geol. Sal.* 18, 27-38.
- DE LAS DOBLAS, M. (1985). «S/C deformed rocks: The example of the Sierra de San Vicente (S. de Gredos Toledo, Spain). Thesis U. Harvard Massachusetts. 90 p.
- DE VICENTE, G. (1986). The slip model and the  $e/K'$  diagram (en prensa).
- DE VICENTE, G., MARTINEZ, J., CAPOTE, R., LUNAR, R. (1986). Determinación de los elipsoides de esfuerzo y deformación asociados a la mineralización argentífera de Hiendelaencina (S. C.). *Est. Geol.* 42, 23-31.
- GONZALEZ CASADO, J. M. (1986). Estudio Geológico de la Zona de Cizalla de Berzosa-Honrubia. Tesis Publ. U. Complutense. Madrid. 295 pg.
- GONZALEZ CASADO, J. M. (1986). Las últimas fases de deformación Hercínicas en la región de Buitrago-Honrubia (S. C. E.). *Rev. Mat. Proc. Geol.* (en prensa).
- GONZALEZ CASADO, J. M. (1986). Microestructuras del Cuarzo, en venas de segregación y cuarcitas en la zona de cizalla de Berzosa (S. C. E.). *Rev. Mat. Proc. Geol.* (en prensa).
- GONZALEZ UBANELL, A. (1981). Significado tectónico de los principales sistemas de diques en un sector del Sistema Central Español. *Cuad. Geol. Iber.* 7, 607-622.
- MARTIN ESCORZA, C. (1977). Estudio preliminar de algunos procesos de deformación y cataclisis en la zona de Robledo de Chavela (S. C.). *Bol. Geol. Min.*, 88, 471-493.
- LOCUTURA, J., TORNOS, F. (1985). Consideraciones sobre la metalogenia del sector medio del Sistema Central Español. *Rev. Real Acad. Cien. Exac. Fis. Nat.* LXXIX-4, 589-615.
- RECHES, Z. (1983). Faulting of rocks in three-dimensional strain fields. II theoretical analysis. *Tectonophysics* 95, 111-132.
- SIMON GOMEZ, J. L. (1986). Analysis of a gradual change in stress regime (example from the Eastern Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics* 124, 37-53.