

Análisis de la fracturación asociada a las alteraciones hidrotermales de tipo Greisen y Episenita en la Sierra del Guadarrama

J.M. González-Casado (*), C. Casquet (**), J.M. Caballero (**), C. Galindo (**), E. Quilez (***), F. Tornos (****)

(*) U. Autónoma de Madrid. Dpt. Q.A. Geología y Geoquímica, 28049 Madrid

(**) U. Complutense de Madrid. Dpt. de Petrología 28040 Madrid

(***) U. Complutense de Madrid. Dpt. de Cristalografía y Mineralogía 28040 Madrid

(****) Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), 28003 Madrid

ABSTRACT

Several episodes of hydrothermal activity have recently been dated in the Sierra del Guadarrama (Caballero *et al.*, 1992a). Stress analysis based upon the fault sets associated with 300-290 M.a. (Wolodes and greisens) and 274 ± 6 M.a. (episyenites) events, have been carried out. The first peak is related to a transtensional strike-slip tectonic regime, with SE-NW compression. The second is associated to an extensional regime, with NE-SW and E-W extension.

Key words: Spanish Central System, Fault Analysis, Permian and Upper Carboniferous Tectonic Regime.

Geogaceta, 13 (1993), 53-56

ISSN: 0213683X

Introducción

En las rocas metamórficas y graníticas del basamento hercínico de la Sierra del Guadarrama se suceden varios episodios de importante actividad hidrotermal, que origina skarns, greisenes, episenitas, etc. (Caballero *et al.*, 1992b). Recientemente, se ha determinado que los eventos hidrotermales se producen desde los 300 M.a. hasta los 100 M.a. como mínimo (Caballero *et al.*, 1992a). La mayoría de las alteraciones hidrotermales muestran un fuerte control estructural, que se pone de manifiesto por las orientaciones preferentes de las mismas y su relación en muchos casos con sistemas de fracturas.

El objeto de este estudio tectónico, es determinar el régimen de esfuerzos asociado con dos de los episodios hidrotermales reconocidos. El primero se sitúa entorno a los 302-290 M.a. y durante el mismo se originan filones de Wolframio y greisenes (datos por K/Ar. Caballero *et al.*, 1992a). El segundo se produce alrededor de los 274 M.a., originándose en este evento un conjunto de alteraciones episeníticas sobre granitos (datadas por Rb/Sr. Casquet *et al.*, 1992 y Caballero *et al.*, en este volumen).

Como estas dos etapas hidrotermales están bien situadas temporalmente y las alteraciones ligadas con ellas, especialmente las episenitas, están repartidas homogéneamente por todo el área cen-

tral de la Sierra del Guadarrama (Caballero *et al.*, 1991), el estudio de la fracturación asociada con cada una de ellas, permite determinar el régimen de esfuerzos existente en la región durante cada episodio.

Metodología

Para determinar el tensor de esfuerzos que origina el desplazamiento de un conjunto de fallas, se han propuesto numerosos procedimientos (p.e. ver revisión de Casas Sainz *et al.*, 1988), en este trabajo se han escogido dos métodos de análisis sencillos, y que son adecuados en una primera aproximación para el estudio de la fracturación asociada con los procesos hidrotermales. Uno es el método de los diedros rectos (Angelier y Mechler, 1977), el cual permite establecer en una proyección estereográfica, la orientación de unas áreas de máxima presión (P) y de máxima tensión (T), que coinciden aproximadamente con la orientación de los ejes de esfuerzos σ_1 (P) y σ_3 (T) que originan el desplazamiento del conjunto de fallas analizado, suponiendo que todas ellas se mueven en el mismo evento tectónico.

El otro método utilizado se basa en el proceso de inversión de Monte-Carlo (Etchecopar y Mattauer 1988); es un método estadístico, en el cual se generan tensores de esfuerzos al azar, que se aceptan y se consideran una solución al problema si explican un determinado

porcentaje de las fallas observadas. Las soluciones permiten establecer en una proyección estereográfica la orientación de σ_1 y σ_3 , y determinar un valor medio de R ($R = \sigma_2 - \sigma_3 / \sigma_1 - \sigma_3$).

Resultados

Durante el primer episodio hidrotermal (300-290 M.a.), se ha determinado la existencia de dos direcciones principales de fracturación N70E ($\pm 10^\circ$) y N110E ($\pm 10^\circ$) (Fig. 1c), las fallas tienen buzamientos altos ($70^\circ \pm 16$ N y S) y estrias con cabeceos bajos (aprox. 30°). Normalmente, cada plano de falla contiene solo una estria, recta y de dirección constante. Los sentidos de movimiento observados en el campo, indican movimiento de las fallas de tipo direccional-normal.

En el análisis de las fallas por el método de Monte-Carlo (Fig. 1), se han calculado tensores que expliquen el 35% de las fallas observadas y se han obtenido 17 soluciones (Fig. 1). Los resultados indican que σ_1 se orienta mayoritariamente según una dirección NO-SE, mostrando inmersiones distintas, que varían desde horizontales a verticales, mientras que el eje σ_3 se sitúa siempre según una línea horizontal orientada NE-SO. El valor de R medio es de 0.5 (desgarres). Los resultados del método de los diedros rectos (Fig. 2), muestran posiciones de σ_1 y σ_3 similares a las anteriores. Por tanto, el régimen general

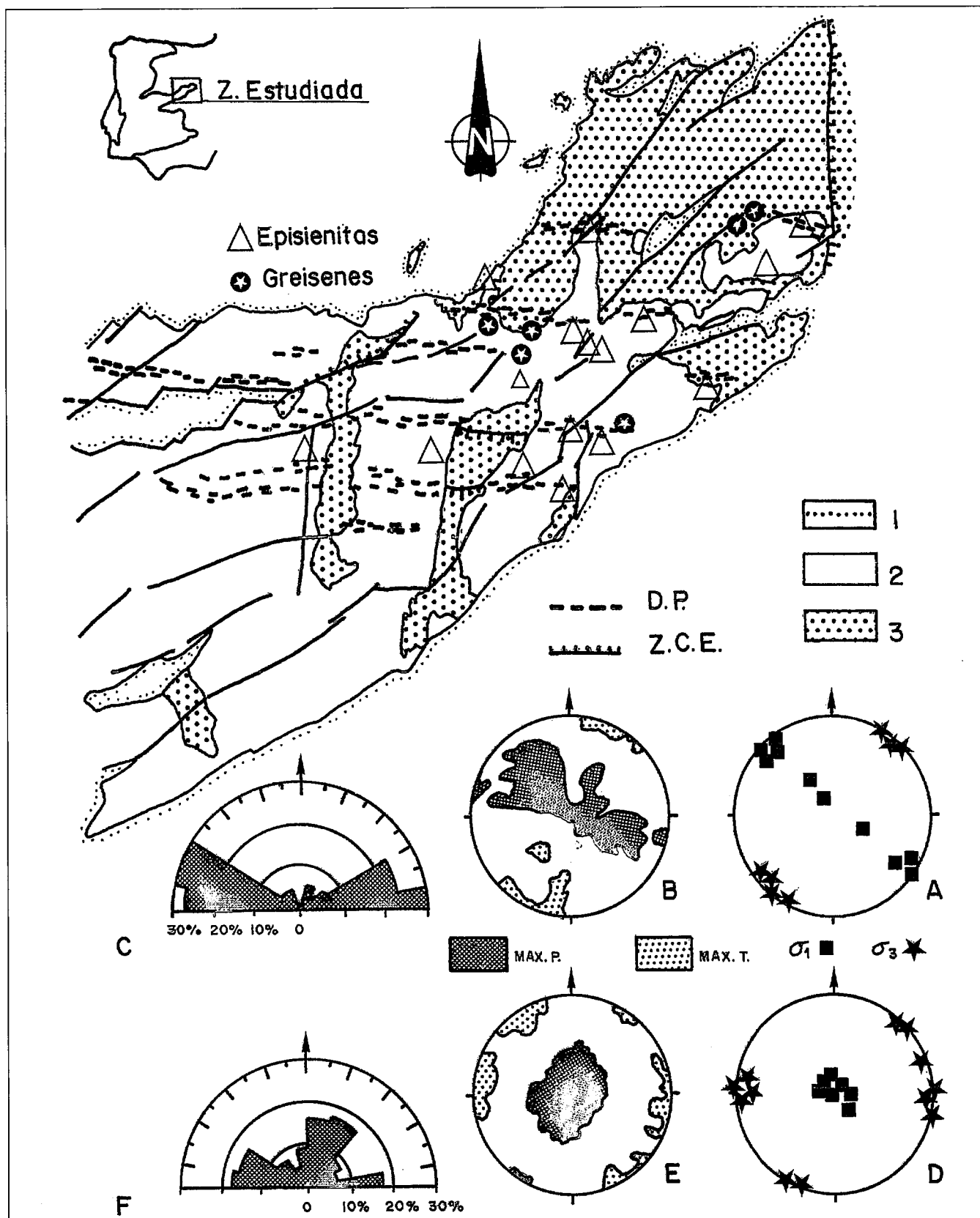


Fig.1. Esquema geológico del Sistema Central Español 1- Cobertera sedimentaria. 2- Granitos hercínicos 3- Metasedimentos. ZCE- Zonas de Cizalla Extensionales. DP- Diques de pórfido. Greisenes (1 a, b, & c). Episenitas (1 d, e, & f). (a & d Orientación de σ_1 y σ_3). (b & e) diagrama P/T. (c & f) principales orientaciones de fracturas.

Fig.1. Geological sketch of the Spanish Central System. 1- Cover. 2- Hercynian granitoids 3- Metasediments. ZCE- Extensional Shear Zones. DP- Porphyry dykes. Greisens (1 a, b, & c). Episenites (1 d, e, & f). (a & d) Stress orientation σ_1 y σ_3 . (b & e) P/T diagram. (c & f) Fault trends.

	EDAD	REGIMEN TECTONICO	ESTRUCTURA	GRANITOIDES	PROCESOS HIDROTHERMALES
DEVONICO	-360	Compresión D ₁₋₂	Pliegues-Esquistosidad		
	-350	Compresión D ₃	Cabalgamientos Dictionitas		
	-340		Z. de cizalla extensionales	Grandes cuerpos laminares de adamellitas orientadas	
CARBONIFERO	-330	Extensión	+ Fallas normales	Stocks graníticos biotíticos g. grueso	Skarns Sn-W (?)
	-320				
	-310				
	-300	Extensión tránsito ↓ Compresión			
PERMIICO	-290		Desgarres	Leucogranitos 2-micas (lacolitos + diques)	Greisenes y filones Q-W(Sn)
	-280	Compresión		Adamellitas (±anf) Diques de pórfidos	
	-270	Extensión	Fallas normales Megagrietas tensión Semi-grabens	+ microdioritas	Episienitas

Fig. 2. Síntesis de la evolución geológica en el Sistema Central Español (modificado de Casquet *et al.* 1988).Fig. 2. Proposed geological evolution for the Spanish Central System (Adapted from Casquet *et al.*, 1988)

de esfuerzos durante esta etapa en el SCE, es una compresión NO-SE y distensión NE-SO, que origina movimientos en las fallas de tipo direccional-normal.

En relación con el episodio hidrotermal que origina la episienitización de los granitos (aprox. 274 M.a.), se desarrolla un importante conjunto de fracturas (>200 analizadas) con tres direcciones principales, N20E, N90E, y N110E (Fig. 1f). Los buzamientos son muy altos ($74 \pm 9^\circ$), mientras que los cabeceos de las estrias presentan dos poblacio-

nes, una mayoritaria con valores entre 60 y 90°, y otra minoritaria con valores entre 0 y 40°; las fallas tienen generalmente movimientos de tipo normal-direccional.

Con el método de Monte-Carlo se han determinado tensores que explican el 25% de las fallas observadas, obteniéndose 64 soluciones (Fig. 1d). La posición media de σ_1 es vertical, mientras que el eje σ_3 está subhorizontal según dos direcciones, N20-60E y E-O, siendo la dirección E-O la que contiene mayor número de tensores solución. El va-

lor de la R se sitúa entre 1,25 y 2,8 (distensión). En el diagrama P/T se observa una orientación similar para la zona de máxima P, mientras que existen varias zonas alrededor del perímetro de la proyección donde el valor de T máximo, (Fig. 1f). Estos resultados se interpretan como una situación de extensión generalizada, con la dirección de acortamiento máximo horizontal en dirección N130-150E.

La existencia en la región de varias direcciones de extensión horizontal, podría interpretarse como una situación de

distensión radial generalizada. Sin embargo, cuando se estudian individualmente los resultados de cada estación de medida de fallas, se observa que en cada una de ellas solo hay una dirección de extensión. Este análisis individualizado permite establecer, que aunque el régimen tectónico en la Sierra de Guadarrama durante este período es distensivo, la orientación de σ_3 es variable localmente. De forma que, cuando en las estaciones son numerosas las fallas con orientación N20E la extensión es aproximadamente E-O, y cuando dominan las fracturas del conjunto N90E-N120E la dirección de extensión se sitúa próxima a N-S.

Discusión y conclusiones

Los tensores de esfuerzos determinados para la primera etapa hidrotermal (300-290 M.a.), se correlacionan bien con el tránsito entre el régimen tectónico extensional existente en la Sierra del Guadarrama durante el Carbonífero (extensión N-S, asociada con procesos metamórficos retrogradados, emplazamiento de granitos, desarrollo de fallas normales, etc (Casquet *et al.*, 1988, Doblas *et al.*, 1988) y la tectónica de desgarres que se desarrolla posteriormente a comienzos del Pérmico (Capote *et al.*, 1987, Casquet *et al.*, 1988, González Ubanell 1981, Sopeña *et al.*, 1988), representando probablemente los resultados obtenidos el tránsito entre estas dos etapas (Fig. 2).

Alrededor de los 270 M.a. tiene lugar la segunda etapa de fracturación estudiada, que indica una situación extensional en el Sistema Central Español. Esta coincidiría con el largo evento extensional del Pérmico medio - Triásico, caracterizado por el desarrollo de grandes fallas normales (Ziegler 1988, Sopeña *et al.*, 1988).

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación financiado por la DGICYT N° PB 88-0124. Agradecemos al Prof. G. de Vicente la colaboración en el tratamiento de los datos.

Referencias

- Angelier, J. y Mechler, P (1977) Bull. Soc. Géol. Fr. (7), 19, 1309-1318
- Caballero, J.M., Casquet, C., Tornos, F., Pellicer (1991) Bol. Soc. Esp. Miner., 14, 273-284
- Caballero, J.M., Casquet, C., Galindo, C., González Casado, J.M., Snelling, N., Tornos, F. (1992a) Geogaceta, 11, pp 18-22
- Caballero, J.M., Casquet, C., Galindo, C., González Casado, J.M., Pankhurst, B., Tornos, F. (1992c) Geogaceta, (en este volumen)
- Caballero, J.M., Casquet, C., Galindo, C., González Casado, J.M., López García, J.A., Quilez, E., Sierra, J., Tornos, F., Vindel, E. (1992b) Bol. Soc. Esp. Miner., 15-1, 249-252
- Capote, R., González Casado, J.M., de Vicente, G. (1987) Cuad. Lab. Xeol. de Laxe 11, 305-311
- Casas Sainz, A.M., Gil Peña, I., Simón Gómez, J.L. (1988) Estud. Geol., 46, 385-398.
- Casquet, C., Fúster, J.M., González Casado, J. M., Peinado, M., Villaseca, C. (1988) Rev. European Geotraverse Projet. E.S.F., 65-76.
- Casquet, C., Caballero, J.M., Galindo, C., Tornos, F. (1992) "Water-Rocks interaction", Kharaka & A.S Maest (Ed). Ed. Balkema 1481-1484.
- Doblas, M., Oyarzun, J., Lunar, R., Mayor, N., Martínez Frías, J. (1988). Geology, 16, 711-749
- Etchecopar, A. y Mattauer, M. (1988). Bull. Soc. Géol. Fr. (8), 4, 289-302
- González Ubanell, A. 1981, Cuad. Geol. Iber. 7, 607-622
- Sopeña, A., López, J., Arche, A., Pérez-Arlucea, M., Ramos, A., Virgili, C., Hernando, S. (1988) in W. Manspizër Ed. Triassic - Jurassic rifting. Develop. Geotectonics 22, p 757-786
- Ziegler, P.A. (1988). in W. Manspizër Ed. Triassic - Jurassic rifting. Develop. Geotectonics 22, p 711-749.

Primera pregunta planteada por Javier Lillo: Entonces, y según la disposición de σ_1 y σ_3 deducida para la primera etapa de fracturación considerada en vuestro trabajo, las estrías que se observan en las fracturas N110-120 serán subverticales...

Respuesta de los autores: En el primer párrafo del epígrafe del trabajo "Resultados" se especifica que las estrías de esta primera etapa de fracturación, observadas en el campo, tienen cabeceos bajos (media alrededor de 30°). Esto

es compatible con la disposición de los esfuerzos principales obtenida mediante el tratamiento estadístico de las fracturas; σ_1 próximo a la horizontal en la mayoría de las soluciones y σ_3 casi horizontal.

Segunda pregunta planteada por Javier Lillo: Yo no estoy discutiendo el que se trate de un régimen transcuriente o no, cuestión que por otra parte es evidente dada la situación de los máximos relativos a σ_1 y σ_3 próxima al plano horizontal; lo que si me causa extrañeza es que las estrías de esas fracturas cuya orientación (vuelvo a recordar a J.M. Gonzalez, N110-120) es prácticamente perpendicular a la orientación de σ_3 y subparalela a la de σ_1 , sean como dices subhorizontales y no muestren cabeceos de gran ángulo, como cabría esperar en fallas tensodireccionales de orientación similar con respecto al elipsoide de deformación y donde el módulo del desplazamiento "normal" es mayor que el módulo correspondiente al desplazamiento "direccional". Dejando aparte la discusión relativa a la orientación de las estrías, ¿que sentido de desplazamiento habéis observado en esas fracturas N110-120?

Respuesta de los autores: En primer lugar la familia de fallas N100-115E forma un ángulo mínimo de aproximadamente 15° con σ_1 , que puede llegar a ser de 30° en el caso extremo. Estas relaciones angulares son aplicables también a σ_3 ; en otras palabras la perpendicularidad entre la familia de fallas N100-115E y σ_3 no es cierta.

Por otro lado ha de recordarse que los métodos de análisis de fallas utilizados en este trabajo parten de las siguientes premisas: la orientación de las estrías sobre el plano de falla es función de la orientación de éste respecto a los ejes de esfuerzos principales, y de la relación "R" entre los valores de los esfuerzos principales (ecuación de Bott, 1959). Además, los planos sobre los que se desarrollan estrías suelen ser preexistentes. Por tanto, cuando se determinan los parámetros del tensor de esfuerzos mediante métodos de análisis de poblaciones de fallas, no es adecuado como sugiere el Sr. Lillo, utilizar o establecer relaciones bidimensionales sencillas entre las alineaciones y la orientación del tensor de esfuerzos.

Respecto al sentido de desplazamiento, la mayoría de las fallas parecen ser dextrales.