FABRICA DEL CUARZO EN TECTONITAS DE ALTA TEMPERATURA (MANTO DE OJEN, CORDILLERAS BÉTICAS)

J. M. Tubía (*) y J. Cuevas (*)

RESUMEN

Las migmatitas homogéneas del manto de Ojén (alpujárrides occidentales, Málaga) han sufrido una intensa milonitización, coetánea del emplazamiento tectónico de las peridotitas de Ronda. Esta deformación plástica ocurre a temperaturas elevadas ($\sim 750^{\circ}\text{C}$), de acuerdo con la mineralogía, microestructuras y diagramas de ejes [c] del cuarzo en las milonitas.

Varios diagramas de ejes [c] de cuarzo son semejantes a las coronas cruzadas de tipo II de Lister y Williams (1979). La geometría de estos diagramas y la presencia de subjunatas basales ($\perp$ [c]), observables ópticamente en sección XZ, sugieren la actuación de sistemas de deslizamientos intracristalinos de dirección [c], junto con los clásicos de dirección $\langle a \rangle$, en el cuarzo.

Esta hipótesis se presta, además, a una interpretación cinemática de tales diagramas en términos de cizalla simple, compatible con el sentido de cizallamiento regional.

PALABRAS CLAVE: Deformación plástica, diagramas de ejes [c], subjunatas, deslizamiento intracristalino, sentido de cizallamiento.

ABSTRACT

The homogeneous migmatites of the Ojen nappe (Western Alpujarrides, Malaga) are intensely mylonitized simultaneously to the tectonic emplacement of the Ronda peridotites. This plastic deformation is produced at high temperatures ($\sim 750^{\circ}\text{C}$), according to the mineralogy, microstructures and quartz [c] axis diagrams of mylonites.

Several quartz [c] axis diagrams are like those type II crossed-girdles (Lister y Williams, 1979). The geometry of these patterns and the presence of basal subboundaries ($\perp$ [c] optically perceptibles in XZ section, suggest that the intracrystalline [c] slip acts together with the classic $\langle a \rangle$ slip.

This hypothesis allows a kinematic analysis of those patterns in terms of simple shear in according to the regional shear sense.

KEY WORDS: Plastic deformation, [c] axis patterns, subboundaries, intracrystalline slip, shear sense.

Introducción

Existe una extensa bibliografía sobre el significado de los diagramas de orientación preferente (D.O.P.) de ejes [c] del cuarzo, respaldada por los resultados sobre deformación experimental de este mineral (Christie *et al.*, 1964; Blacic, 1975; Kirby y McCormick, 1979; Trepied y Doukhan, 1982) y por los avances en la interpretación cinemática de la fábrica del cuarzo en las zonas de cizalla dúctil (Bouchez *et al.*, 1983).

La deformación experimental del cuarzo ha de-

mostrado que el deslizamiento intracristalino es un importante mecanismo de deformación plástica, a escala mineral, y que la activación de los diversos sistemas de deslizamiento intracristalino del cuarzo depende, esencialmente, de la temperatura: primero aparecen los sistemas que tienen como dirección de deslizamiento un eje $\langle a \rangle$, y a temperaturas más elevadas los de dirección [c] (Blacic, 1975; Nicolas y Poirier, 1976) y $\langle a + c \rangle$ (Trepied, 1978). Por lo que respecta a tectonitas naturales, en condiciones de temperaturas bajas y moderadas ($T^{\circ} \leq 500^{\circ}\text{C}$) la fábrica del cuarzo está producida por los deslizamien-

(*) Departamento de Geomorfología y Geotectónica, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco. Apartado 644, Bilbao.

Fig. 1.—Situación de las milonitas del manto de Ojén estudiadas y diagramas de ejes [c] de cuarzo correspondientes, en sección XZ (el diámetro corresponde a la traza de la foliación y los puntos de sus extremos a la lineación mineral de estiramiento). 150 medidas por diagrama; intervalos: 1, 2, 4, 6, $\geq 8\%$, para un área de conteo del 0.45%; proyección equiareal, hemisferio inferior. Manto de Ojén: 1, mármoles; 2, sucesión metapelítica; 3a, migmatitas; 3b, milonitas. Manto de Los Reales: 4, peridotitas; 5, sucesión metamórfica.

tos intracristalinos de dirección $\langle a \rangle$ (Wilson, 1975; Bouchez, 1977 y 1978; Bouchez y Pêcher, 1981), lo que conduce a D.O.P. de ejes $[c]$, en sección XZ, con máximos próximos a la posición del eje Z si el plano de deslizamiento es el plano basal, (0001), (Bouchez y Pêcher, 1976 y 1981) o con máximos sobre el eje Y si el plano de deslizamiento es prismático, $[10\bar{1}0]$ (Wilson, 1975; Nicolas y Vialon, 1980). La actuación conjunta de varios sistemas de deslizamiento de dirección $\langle a \rangle$ proporciona modelos en coronas, centradas en el eje Y, y formando un ángulo pequeño ($\leq 30^\circ$) con el eje Z (Bouchez, 1977 y 1978; Bouchez y Pêcher, 1981).

Los D.O.P. de ejes $[c]$ del cuarzo originados por deslizamientos de dirección $\langle a \rangle$, y procedentes de zonas de cizalla dúctil, son asimétricos respecto del referencial estructural; su empleo con fines cinemáticos reside en el principio, desarrollado inicialmente por Nicolas *et al.* (1971, 1973) en peridotitas alpinas, de que la asimetría de los D.O.P. se debe al carácter rotacional de la deformación y está, además, relacionada con el sentido de movimiento en las zonas de cizalla dúctil (Bouchez, 1977; Burg y Laurent, 1978; Berthé *et al.*, 1979; Simpson, 1980; Boullier y Quenardel, 1981; Bouchez y Pêcher, 1981; Bouchez *et al.*, 1983).

La fábrica de las tectonitas de temperaturas elevadas (facies granulita y, en parte, facies anfibolita) está caracterizada frecuentemente por D.O.P. de ejes $[c]$ con dos coronas cruzadas en ángulo recto, centradas sobre el eje Y y simétricas respecto de la foliación (Behr, 1961). La comprensión de este tipo de diagramas (coronas cruzadas de tipo II de Lister y Williams, 1979) es insuficiente, ya que incluso los sistemas de deslizamiento intracristalino que los producen no están bien identificados (Lister y Dornispen, 1982).

Este trabajo trata sobre la fábrica del cuarzo de tectonitas de alta temperatura ($\sim 750^\circ\text{C}$) del manto de Ojén (Alpujarrides occidentales, cordilleras Béticas). Su interés radica en que los D.O.P. de ejes $[c]$ del cuarzo y sus microestructuras proporcionan una fuerte evidencia sobre la existencia de deslizamientos intracristalinos de dirección $[c]$, en tectonitas de alta temperatura, y se prestan a una interpretación cinemática de la fábrica, en términos de deformación por cizalla simple, compatible con los datos estructurales de la región (Tubía, 1984; Tubía y Cuevas, en prensa).

Situación geológica

Todos los ejemplos que hemos analizado proceden del contacto entre los mantos de Ojén y Los Reales, al norte de Sierra Alpujata (Málaga, fig. 1); ambos mantos pertenecen al Complejo Alpujárride de las Cordilleras Béticas (Navarro-Vilá y Tubía, 1983).

En Sierra Alpujata las peridotitas del manto de

Los Reales cabalgan a los materiales cuarzofeldespáticos (migmatitas y milonitas) del manto de Ojén. La base de las peridotitas (200-300 m.) presenta facies de grano fino, porfiroclásticas o miloníticas, que indican una deformación de baja temperatura para las peridotitas ($800-900^\circ\text{C}$), señalada por lineaciones N 70° E, con un sentido de cabalgamiento hacia el noreste, indicado por la fábrica del olivino y del ortopiroxeno. Las migmatitas del manto de Ojén, homogéneas y sin deformación, están milonitizadas en las proximidades (100 m.) del contacto con las peridotitas. A partir de los datos regionales (Tubía, 1984 y 1985; Tubía y Cuevas, en prensa), se puede deducir que la deformación de las rocas cuarzo-feldespáticas del manto de Ojén se ha producido en condiciones próximas a la fusión parcial ($\sim 750^\circ\text{C}$).

El manto de Los Reales y el de Ojén presentan, en las proximidades del contacto, las siguientes estructuras:

- Una foliación milonítica, subparalela al contacto entre mantos, y que afecta tanto a las rocas cuarzofeldespáticas del manto de Ojén como a las peridotitas del manto de Los Reales suprayacentes (fig. 1).
- Una lineación mineral de estiramiento, definida en el manto de Los Reales, por el alargamiento de porfiroclastos de enstatita o de agregados de espinela y plagioclasa.

Tanto la foliación milonítica como la lineación mineral de estiramiento se mantienen con una orientación idéntica a ambos lados del contacto. La deformación muestra una acusada polaridad en los dos mantos, que se traduce en un mejor desarrollo de la fábrica plano-lineal de las rocas y en la progresiva reducción del tamaño de grano al aproximarse al contacto. Estos hechos permiten relacionar la deformación al emplazamiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén.

Diagramas de ejes $[c]$ y microestructuras

Las muestras estudiadas contienen proporciones de cuarzo mayores al 50%, y cantidades variables de biotita, sillimanita, granate y porfiroclastos de cordierita y feldespato potásico. Los D.O.P. de ejes $[c]$ del cuarzo, elaborados con la ayuda de la platina universal, corresponden a secciones XZ del elipsoide de deformación finita de las muestras más cuarcíticas y con escasos porfiroclastos, con el objeto de evitar heterogeneidades locales de la deformación (Lister y Price, 1978; García Celma, 1982).

Los diagramas de ejes $[c]$ que hemos obtenido proporcionan modelos muy diferentes, siendo la existencia de máximos en torno al eje Y un rasgo compartido por varios de ellos (fig. 1):

- Un primer tipo, representado por Tb-404 corresponde a una corona oblicua a la foliación y que forma un ángulo de $\sim 30^\circ$ con el eje Z.
- Algunos diagramas están limitados prácticamente a las concentraciones alrededor del eje Y (Tb-415 y Tb-388).
- Un tercer caso presenta los ejes [c] distribuidos en dos círculos menores, centrados en el eje Z y próximos al eje X (Tb-379).
- El modelo más habitual consta de dos coronas cruzadas en ángulo recto y centradas sobre el eje Y (Tb-363, Tb-402, Tb-573). Este modelo es similar, en algunos aspectos, a los diagramas en coronas cruzadas de tipo II de Lister y Williams (1979); no obstante, en nuestros diagramas una de las dos coronas queda re-

ducida tan solo a dos máximos subparalelos al plano XZ. Además se observa una aproximación de estos dos máximos hacia el eje X y de la corona restante hacia el eje Z, mientras que en los diagramas de Lister y Williams (1979) ambas coronas forman aproximadamente 45° con el eje X.

La presencia de estos diagramas de ejes [c] coincide con la aparición de microestructuras que también testimonian la deformación plástica del cuarzo. Existen microestructuras en cintas y en mosaico (fig. 2; Bouchez, 1977), aunque las más habituales son en damero (fig. 3), semejantes a las descritas por Lister y Dornsiepen (1982) en las granulitas de Saxonia. Los granos de cuarzo tienen frecuentemente bandas de deformación (fig. 2), separadas por subjuntas rectilíneas. La representación en un histograma del ángulo que forma el polo de las subjuntas ($\perp$ SJP) y el eje [c] del grano correspondiente, pone de manifiesto que en algunas láminas (Tb-404, fig. 4c) sólo hay subjuntas prismáticas (paralelas al eje [c]), mientras que en otras (Tb-402, fig. 5c) las subjuntas prismáticas (SJP) coexisten con una familia de subjuntas basales (SJB, perpendiculares al eje [c]).

Fig. 2.—Grano de cuarzo con subjuntas prismáticas (SJP) en una cuarcita con microestructuras en mosaico alargado. Sección XZ, manto de Ojén (Tb-404, situación en la figura 1).

Fig. 3.—Sección XZ de una cuarcita con microestructura en damero (Tb-573, localización en la figura 1).

Discusión y conclusiones

El análisis de la fábrica del cuarzo de las milonitas del manto de Ojén está favorecido por el conocimiento previo sobre el origen de la deformación, producida por un mecanismo próximo a la cizalla simple, y su cinemática (Tubía, 1985; Tubía y Cuevas, en prensa). Efectivamente, los diagramas de ejes [c] constituidos por una corona asimétrica respecto de la traza de la foliación (fig. 4) testimonian el carácter rotacional de la deformación, por comparación con datos sobre tectonitas naturales (Bouchez, 1977; Burg y Laurent, 1978; Bouchez *et al.*, 1983) y con las predicciones de modelos teóricos de la fábrica realizados por computador (Lister y Hobbs, 1980). La presencia de subjuntas prismáticas en las muestras con tales diagramas apoya lo anterior, ya que los polos de las subjuntas se concentran junto a la lineación de estiramiento, proporcionando diagramas asimétricos (fig. 4b), que también son un criterio de deformación rotacional (Bouchez, 1978). Las inclinaciones respectivas de la corona de ejes [c] y de los polos de las subjuntas prismáticas ($\perp$ SJP, fig. 4) indican un sentido de cizallamiento que concuerda con el obtenido mediante otros criterios estructurales. La utilización conjunta de los D.O.P. de ejes [c] y de las subjuntas está justificada, ya que, en nuestro caso, las subjuntas forman puntos triples con los límites entre granos (fig. 2), o son cortadas por granos nuevos, por lo que han de relacionarse con la deformación principal, responsable de la fábrica de las tec-

tonitas (Nicolas *et al.*, 1971) y no con deformaciones tardías.

Las interpretaciones de la fábrica se basan en el principio de que los minerales que se deforman por deslizamiento intracristalino, en condiciones de cizalla simple, tienden a orientar su plano y dirección de deslizamiento intracristalino en paralelo, respectivamente, con el plano y dirección de cizallamiento

coaxial (Hobbs *et al.*, 1976; Lister y Hobbs, 1980), situación que ocurre frecuentemente en las zonas de cizalla dúctil (Lister y Williams, 1979).

El significado de los diagramas en coronas cruzadas de tipo II es más confuso; Lister y Dornsiepen (1982) han planteado la posibilidad de que este modelo sea debido, en parte, al deslizamiento intracristalino del cuarzo sobre el eje [c], basándose única-

Fig. 4.—Relación entre los diagramas de ejes [c] de cuarzo (a) y de polos de subjuntas (b) de la muestra Tb-404. Los polos de las subjuntas se sitúan en la perpendicular a la corona, e indican el sentido de cizallamiento de la figura. El histograma (c) muestra que los polos de las subjuntas y el eje [c] del grano de cuarzo correspondiente forman ángulos elevados ($\sim 90^\circ$), por lo que se trata de subjuntas prismáticas.

de la deformación rotacional (Nicolas y Poirier, 1966; Etchecopar, 1977). Los diagramas anteriores, con una corona, son el resultado de la activación de los diversos sistemas de deslizamiento intracristalino de dirección $\langle a \rangle$ (Bouchez, 1977; Boullier y Quenardel, 1979; Simpson y Schmid, 1983), lo que explica que los ejes [c] y las subjuntas prismáticas formen ángulos elevados (60° - 90°) con el eje X del elipsoide de deformación. Sobre la determinación del plano de deslizamiento, la presencia de máximos en torno al eje Y en varios diagramas, sugiere que la contribución del sistema intracristalino prisma $\langle a \rangle$ ha sido importante (Wilson, 1975; Boullier y Bouchez, 1978).

La geometría del diagrama de la muestra Tb-379 (fig. 1) indica que, localmente, la deformación es

mente en la amplia abertura de las dos coronas, pero sin apoyos microestructurales o cinemáticos. Uno de los aspectos más interesantes de este trabajo reside en que la fábrica de las tectonitas de alta temperatura, del manto de Ojén, con modelos en coronas cruzadas de tipo II, puede ser atribuida a una deformación por cizalla simple, en la que intervienen sistemas de deslizamiento de dirección $\langle a \rangle$ y [c] (Tubía y Bouchez, 1984). Esta interpretación está fundamentada en criterios cinemáticos y microestructurales, resumidos en las figuras 5 y 7, y en su compatibilidad con la tectónica regional.

Las subjuntas basales, abundantes en nuestras muestras con diagramas en coronas cruzadas de tipo II, son microestructuras que raramente aparecen ci-

Fig. 5.—Relación entre los diagramas de ejes [c] de cuarzo (a) y de polos de las subjuntas (b) de la muestra Tb-402. El histograma (c) del ángulo entre los polos de las subjuntas y los ejes [c] de los granos de cuarzo correspondientes, muestra una familia de subjuntas basales (SJB) coexistiendo con otra de subjuntas prismáticas (SJP). d y e muestran la distribución de los ejes [0001] y de los polos de las subjuntas basales y prismáticas, respectivamente.

tadas en los trabajos sobre la fábrica del cuarzo. La importancia de las subjuntas basales visibles ópticamente reside en que son superficies de flexión de la red cristalina subperpendiculares a la dirección de deslizamiento intracristalino, por lo que indican la activación de deslizamiento de dirección [c], de acuer-

incidir el eje de torsión con el eje [c] (Trepied *et al.*, 1980; fig. 6).

El análisis de las orientaciones preferentes de las subjuntas y de los ejes [c] correspondientes de la muestra Tb-402 (fig. 5) confirma, también, los deslizamientos de dirección [c]. Efectivamente, los polos

Fig. 6.—Geometría de subjuntas basales originadas por flexión (a) o por torsión (b). D. D.: dirección de deslizamiento. E. T.: Eje de torsión. SJB: subjunta basal. El esquema muestra que solo las subjuntas basales de flexión producen desorientaciones de la red cristalina, siendo, por lo tanto, las únicas visibles en el microscopio óptico.

do con los datos sobre deformación experimental del cuarzo (Trepied *et al.*, 1980; Linker y Kirby, 1981); si se tratara de subjuntas basales producidas por torsión la argumentación anterior no sería válida, pero esta posibilidad es inviable, ya que las subjuntas basales de torsión no son visibles ópticamente, por co-

de las subjuntas, basales o prismáticas, se concentran cerca de la lineación; los ejes [c] de los granos con SJP se distribuyen en la corona que forma 60° con la foliación, mientras que los ejes [c] de los granos con SJB se concentran en dos máximos colocados a 30° de la lineación (fig. 5). Si como se ha señalado

Fig. 7.—Interpretación cinemática del diagrama de ejes [c] de cuarzo de la muestra Tb-402. El diagrama A puede ser considerado la suma de dos diagramas parciales que corresponden al conjunto de granos que se deforman según direcciones de deslizamiento <a> (diagrama B) y direcciones de deslizamiento según la dirección [c] (diagrama C). Los tres diagramas son compatibles con el sentido de cizallamiento regional.

previamente, las subjunatas son microestructuras perpendiculares a la dirección de deslizamiento intracrystalino, lo anterior implica que en estas muestras coexisten los deslizamientos habituales de dirección $\langle a \rangle$ con los de dirección $[c]$, ampliamente citados en deformaciones experimentales del cuarzo a temperaturas altas (Blacic, 1975), pero mal caracterizados en tectonitas naturales (Schmid *et al.*, 1981; Bouchez *et al.*, 1984).

Por otra parte, la geometría de estos diagramas de ejes $[c]$ y la orientación de las subjunatas permiten interpretar cinemáticamente la fábrica de las tectonitas de alta temperatura del manto de Ojén que tienen diagramas en coronas cruzadas de tipo II: el diagrama de la muestra Tb-402 puede ser considerado la combinación de dos subdiagramas con distinto significado (fig. 7), uno equivalente al conjunto de granos que se deforman por deslizamiento intracrystalino sobre $[c]$ (representado por los dos máximos de ejes $[c]$ cercanos a la lineación; fig. 7b) y el otro por los granos que utilizan sistemas de deslizamiento de dirección $\langle a \rangle$ (ejes $[c]$ distribuidos en la corona a 60° de la lineación, fig. 7c). Ambos subdiagramas indican el mismo sentido de cizallamiento y son, además, compatibles con el sentido de cizallamiento regional.

La comprobación definitiva de la existencia de deslizamientos de dirección $[c]$ y, en consecuencia, de la interpretación cinemática de las coronas cruzadas de tipo II, precisa estudios de microscopía electrónica de transmisión, actualmente en curso, en colaboración con J. L. Bouchez y D. Mainprice, que permitan comprobar la existencia de dislocaciones basales en los cristales de cuarzo.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud al profesor J. L. Bouchez por las numerosas sugerencias aportadas durante la realización de este trabajo.

Bibliografía

- BEHR, H. J.
1961. Beitrage zur petrographischen und tektonischen Analyses des sachsichen Granulitgebirges. *Freiberger Forsch.*, 119, 1-118.
- BERTHÉ, D.; CHOUKROUNE, P. y GAPAIS, D.
1979. Orientation preferentielle du quartz et orthogneissification progressive en regime cisailant: l'exemple du cisaillement sud-armoricain. *Bull. Minéral.*, 102, 265-272.
- BLACIC, J. D.
1975. Plastic deformation mechanisms in quartz: the effect of water. *Tectonophysics*, 27, 271-294.
- BOUCHEZ, J. L.
1977. Plastic deformation of quartzites at low temperature in an area of natural strain gradient. *Tectonophysics*, 39, 25-50.
1978. Preferred orientations of quartz $\langle a \rangle$ axes in some tectonites: kinematic inferences. *Tectonophysics*, 49, T25-T30.
- BOUCHEZ, J. L.; LISTER, G. S. y NICOLAS, A.
1983. Fabric asymetry and shear sense in movement zones. *Geol. Rundschau*, 72, 401-419.
- BOUCHEZ, J. L.; MAINPRICE, D. H.; TREPIED, L. y DOUKHAN, J. C. L.
1984. Secondary lineation in a high-T quartzite (Galicia, Spain): an explanation for an abnormal fabric. *J. Struct. Geol.*, 6, 159-165.
- BOUCHEZ, J. L. y PÉCHER, A.
1976. Plasticité du quartz et sens de cisaillement dans les quartzites du Grand Chevauchement Central Himalayen. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 18, 1375-1383.
1981. The Himalayan Main Central Thrust pile and its quartz-rich tectonites in central Nepal. *Tectonophysics*, 78, 23-50.
- BOULLIER, A. M. y BOUCHEZ, J. L.
1978. Le quartz en rubans dans les mylonites. *Bull. soc. géol. Fr.*, 20, 253-262.
- BOULLIER, A. M. y QUENARDEL, J.
1981. The Caledonides of northern Norway: relation between preferred orientation of quartz lattice, strain and translation of the nappes. In: *Thrust and Nappe Tectonics*, 185-195, Backwell Sc. Publ., Oxford.
- BURG, J. P. y LAURENT, P.
1978. Strain analysis of a shear zone in a granodiorite. *Tectonophysics*, 47, 15-42.
- CHRISTIE, J. M.; GRIGGS, D. T. y CARTER, N. L.
1964. Experimental evidence of basal slip in quartz. *J. Geol.*, 72, 734-756.
- ETCHECOPAR, A.
1977. A plane kinematic model of progressive deformation in a polycrystalline aggregate. *Tectonophysics*, 39, 121-139.
- GARCÍA CELMA, A.
Domainal and fabric heterogeneities in the Cap de Creus quartz mylonites. *J. Struct. Geol.*, 4, 443-456.
- HOBBS, B. E.; MEANS, W. D. y WILLIAMS, P. F.
1976. *An outline of structural geology*. Ed. Wiley, 571 páginas.
- KIRBY, S. H. y MCCORMICK, J. W.
1979. Creep of hydrolytically weakened synthetic quartz crystals oriented to promote $[2\bar{1}10]$ $\langle 0001 \rangle$ slip; a brief summary of work to date. *Bull. Mineral.*, 102, 124-137.
- LINKER, M. F. y KIRBY, S. H.
1981. Anisotropy in the rheology of hydrolytically weakened synthetic quartz crystals. En "Mechanical Behavior of Crustal Rocks". *Am. Geophys. Union*, 29-48.
- LISTER, G. S. y DORNSIEPEN, U. F.
1982. Fabric transition in the Saxony granulite terrain. *J. Struct. geol.*, 4, 81-92.
- LISTER, G. S. y HOBBS, B. E.
1980. The simulation of fabric development during plastic deformation and its application to quartzite: the influence of deformation history. *J. Struct. geol.*, 2, 355-370.

- LISTER, G. S. y PRICE, G. P.
1978. Fabric development in a quartz-feldspar mylonite. *Tectonophysics*, 49, 37-78.
- LISTER, G. S. y WILLIAMS, P. F.
1979. Fabric development in shear zones: theoretical controls and observed phenomena. *J. Struct. geol.*, 1, 283-297.
- NAVARRO-VILA, F. y TUBÍA, J. M.
1983. Essai d'une nouvelle différenciation des Nappes Alpujarrides dans le secteur occidental des Cordillères Bétiques (Andalousie, Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 296, 111-114.
- NICOLAS, A.; BOUCHEZ, J. L.; BOUDIER, F. y MERCIER, J. C.
1971. Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some European Iherzolites. *Tectonophysics*, 12, 55-86.
- NICOLAS, A.; BOUDIER, F. y BOULLIER, A. M.
1973. Mechanisms of flow in naturally and experimentally deformed peridotites. *Am. J. Sc.*, 273, 853-876.
- NICOLAS, A. y POIRIER, J. P.
1976. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks*. Ed. Wiley Interscience, 444 páginas. Londres.
- NICOLAS, A. y VIALON, P.
1980. Les mécanismes de déformation ductile dans les roches. *Mém. Soc. géol. France*, 10, 127-139.
- SCHMIDT, S. M.; CASEY, M. y STARKEY, J.
1981. An illustration of the advantages of a complete texture analysis described by the orientation distribution function (O.D.F.) using quartz pole data. *Tectonophysics*, 78, 101-117.
- SIMPSON, C.
1980. Oblique girdle orientation patterns of quartz C-axes from a shear zone in the basement core of the Maggia Nappe, Ticino, Switzerland. *J. Struct. geol.*, 2, 243-246.
- SIMPSON, C. y SCHMID, S. M.
1983. An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, 1281-1288.
- TREPIED, L.
1978. Energie élastique des dislocations du quartz. *J. Phys. Lettres*, 39, 433-436.
- TREPIED, L. y DOUKHAN, J. C.
1982. Transmission electron microscopy of quartz single crystals deformed at room temperature at atmospheric pressure by indentations. *J. Physique*, 43, 77-81.
- TREPIED, L.; DOUKHAN, J. C. y PAQUET, J.
1980. Subgrain boundaries in quartz: theoretical analysis and microscopic observations. *Phys. Chem. Minerals*, 5, 201-218.
- TUBÍA, J. M.
1984. Emplazamiento hacia el ENE del manto de Los Reales (Alpujarrides occidentales): criterios estructurales y de petrofábrica. *Estudios geol.*, 40, 177-182.
1985. Sucesiones metamórficas asociadas a rocas ultramáficas en los Alpujarrides occidentales (Cordilleras Béticas, Málaga). Res. Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco, 60 págs.
- TUBÍA, J. M. y BOUCHEZ, J. L.
1984. Déformation naturelle du quartz: coexistence des systèmes de glissement de directions $\langle a \rangle$ et $[c]$ à haute température? (migmatites de la nappe d'Ojén, Chaîne Bétique, Espagne). *Chevauchement et déformation*, Toulouse.
- TUBÍA, J. M. y CUEVAS, J.
High-temperature emplacement of the Los Reales peridotite nappe (Betic Cordillera, Spain). *J. Struct. geol.* (en prensa).
- WILSON, C. J. L.
1975. Preferred orientation in quartz ribbon mylonites. *Geol. soc. Am. Bull.*, 86, 968-974.

Recibido el 20 de mayo de 1985.

Aceptado el 30 de julio de 1985.