

## EMPLAZAMIENTO HACIA EL ENE DEL MANTO DE LOS REALES (ALPUJARRIDES OCCIDENTALES): CRITERIOS ESTRUCTURALES Y DE PETROFABRICA

J. M. Tubía (\*)

### RESUMEN

El manto de Los Reales descansa sobre el manto de Ojén, al norte de Sierra Alpujata. La zona de contacto entre mantos exhibe una intensa deformación plástica con rocas miloníticas; la deformación disminuye progresivamente al alejarse del contacto. El estudio estructural de las rocas infra y suprayacentes al contacto permite atribuir esta deformación al emplazamiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén.

Las distribuciones de la foliación y de la lineación de estiramiento indican una dirección de cizallamiento WSW-ENE. Las características microestructurales de las milonitas y las orientaciones preferentes cristalinas de la enstatita en las peridotitas basales proporcionan un sentido de cizallamiento tal que el manto de Los Reales se ha desplazado, en su posición actual, desde el WSW hacia el ENE.

**PALABRAS CLAVE:** Manto de Los Reales, Manto de Ojén, milonita, peridotita, sentido de cizallamiento.

### ABSTRACT

Los Reales nappe rests over Ojen nappe to the North of Sierra Alpujata. The nappe contact zone shows a intense plastic deformation with mylonitic rocks. The deformation decreases progressively going away from the contact. The structural study of footwall and hangingwall rocks permits to attribute this deformation to the Los Reales nappe emplacement over that of Ojen.

The foliation and stretching lineation distributions show a WSW-ENE shear direction. The mylonite microstructural characteristics and the enstatite crystalline preferred orientations in the basal peridotites give a shear sense in according that, Los Reales nappe is displaced, in their present position, from the WSW towards the ENE.

**KEY WORDS:** Los Reales Nappe, Ojén Nappe, Mylonite, Peridotite, Shear sense.

### Introducción

El conocimiento de la dirección y sentido de movimiento de los mantos de corrimiento es de gran importancia, desde un punto de vista tectónico, para la elaboración de una interpretación geodinámica de un orógeno. La dirección de transporte de los mantos de la Zona Bética es un tema todavía en discusión, aunque el carácter alóctono de los diversos complejos en los que clásicamente se han dividido las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas se conozca desde principios de siglo (para una revisión, ver Egeler y Simon, 1969).

Se admite actualmente que, en el tercio central de la cordillera, el desplazamiento se ha realizado desde el sur hacia el norte (Aldaya, 1969), aunque ha habido partidarios de desplazamientos hacia el sur (Durand-Delga, 1968). La forma arqueada de la cadena en Gibraltar ha determinado que se hayan señalado direcciones de movimiento hacia el noroeste en el extremo occidental (Durr, 1967; West-erhof, 1977). Hay que señalar que otros autores, como Kampschuur (1972), dan un desplazamiento hacia el suroeste.

La diversidad de criterios estructurales puede obedecer a varias causas, como son: 1) la existencia de

---

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

una tectónica reciente muy activa, y 2) la actuación de una importante deformación tangencial posterior al empilamiento inicial de mantos (Paquet, 1974). Ambos hechos impiden generalmente la observación de los contactos iniciales entre mantos, lo que dificulta la determinación de las direcciones y sentidos de movimiento.

El interés de este artículo reside en que presenta criterios estructurales, microestructurales y de petrofábrica, en las rocas de la zona de contacto entre dos mantos alpujárrides, que indican una dirección de desplazamiento para los Mantos Alpujárrides occidentales hacia el ENE.

Las principales características estructurales originadas por el emplazamiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén son la abundancia de rocas de la serie de las milonitas, en el sentido de Sibson (1977), a uno y otro lado del contacto, y la disminución de la intensidad de la milonización al alejarse del contacto. Las estructuras y la fábrica de las rocas que aparecen en la zona de contacto entre mantos se estudian detalladamente en Tubía y Cuevas (en preparación).

Las milonitas tienen una acusada fábrica plano-linear, mostrando una foliación y una lineación de estiramiento muy marcadas. La orientación de la fo-

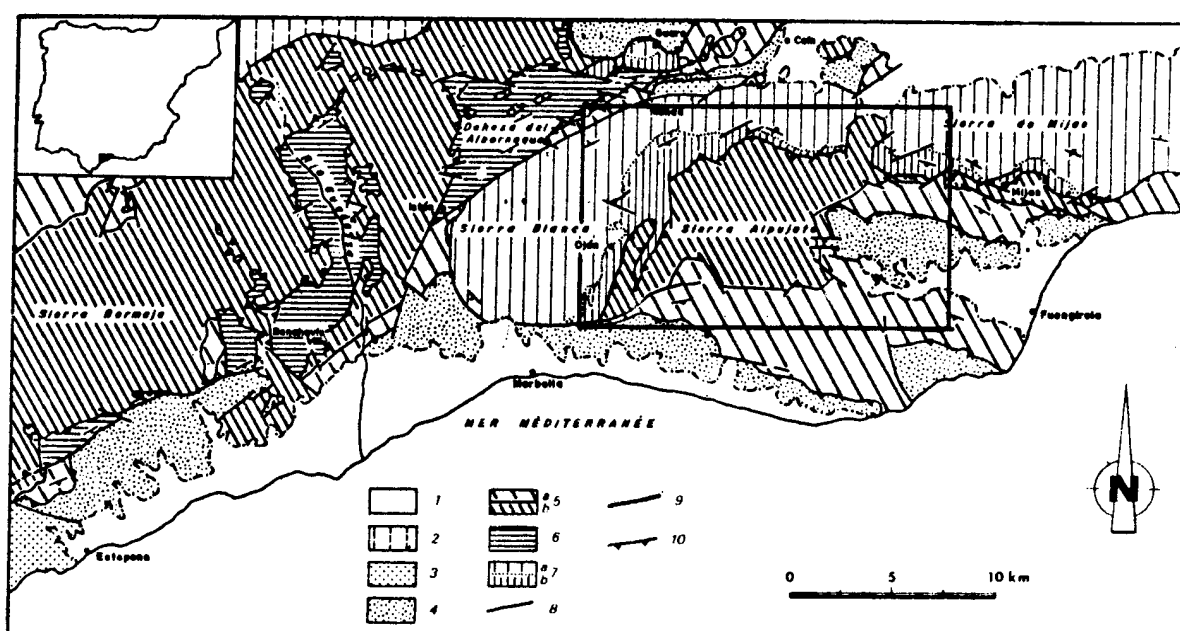


Fig. 1.—Mapa geológico esquemático, según Navarro-Vilá y Tubía (1983). 1, Depósitos post-manto; 2, Unidad de Las Nieves; 3, Flyschs alóctonos; 4, Complejo Maláguide; 5, Manto de Los Reales (5a, serie metamórfica; 5b, peridotitas); 6, Manto de Guadaíza; 7, Manto de Ojén (7a, mármoles; 7b, serie metapelítica); 8, Contacto tectónico en general; 9, Falla; 10, Cabalgamiento.

### Situación geológica y estructuras de la zona de contacto

El sector estudiado forma parte del Complejo Alpujárride. Está situado al oeste de Málaga, donde se han diferenciado recientemente tres mantos alpujárrides, que son, en orden ascendente: el manto de Ojén, el de Guadaíza y el de Los Reales (Navarro-Vilá y Tubía, 1983). En este trabajo se estudian las estructuras existentes en la zona de contacto entre los mantos de Ojén y Los Reales, al norte de Sierra Alpujata (fig. 1); en dicha zona el manto de Ojén está representado por migmatitas y milonitas cuarzo-feldespáticas y el de Los Reales por las peridotitas del macizo de Sierra Alpujata.

liación y de la lineación es idéntica en las milonitas cuarzo-feldespáticas y peridotíticas: en ambos casos es subparalela al contacto entre mantos (fig. 2).

Las medidas de la foliación y lineación exhiben variaciones importantes a lo largo del contacto (figura 2). Estos cambios en la orientación de las estructuras penetrativas se deben a las deformaciones posteriores al apilamiento de mantos, principalmente a la actuación de pliegues de gran radio, de direcciones axiales N 160-170° E y N 90° E.

Anulados los efectos de las deformaciones tardías, el macizo peridotítico de Sierra Alpujata mostraría una forma elíptica, alargada de manera semejante al de Sierra Bermeja; la foliación se inclinaría al sur,

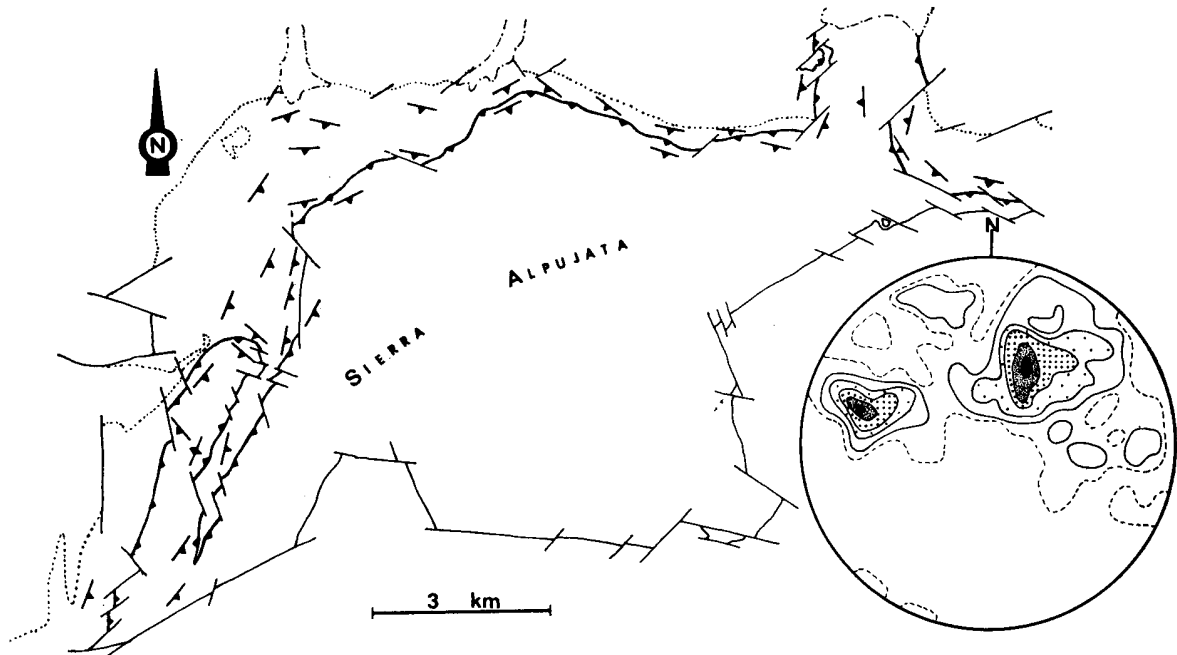


Fig. 2 A.—Mapa estructural y diagrama de orientación (105 medidas) de la foliación milonítica en la zona de contacto entre los dos mantos (proyección equiareal, hemisferio inferior; contornos: 0.5/1.5/3.5/5.5 > 7.5 %).

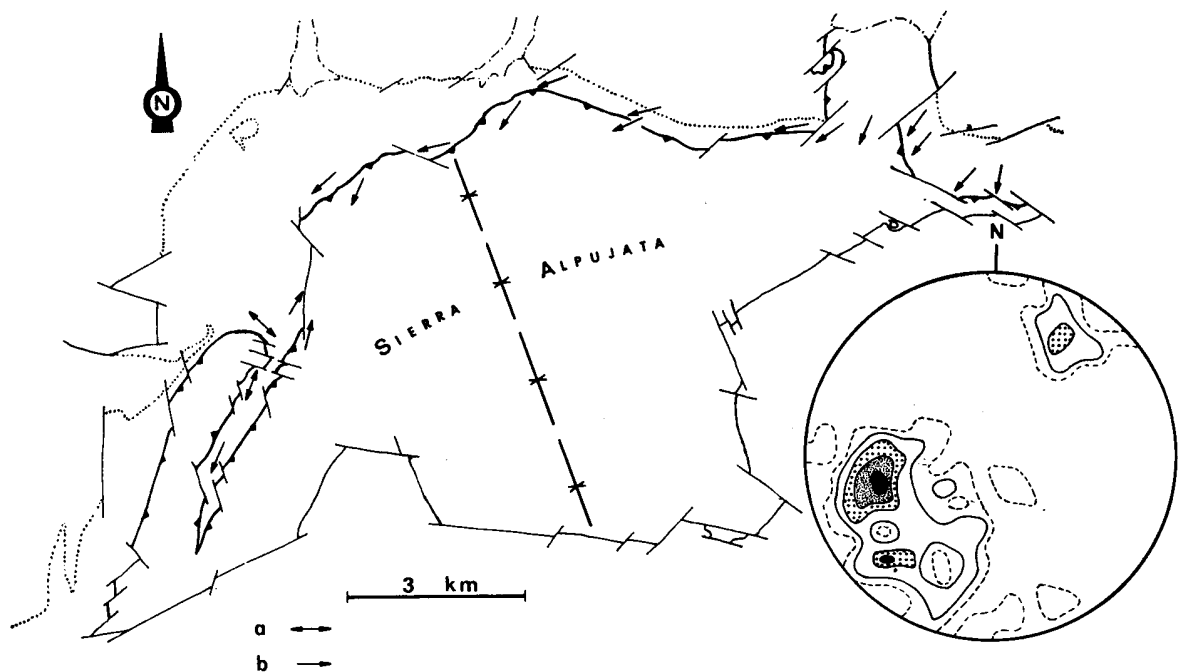


Fig. 2 B.—Distribución de las lineaciones miloníticas (a: subhorizontales; b: inclinadas, con sentido de buzamiento) y diagrama de orientación (60 medidas) de las lineaciones (proyección equiareal; hemisferio inferior; contornos: 0.8/2.5/6/9 > 12 %).

y la lineación tendría una dirección WSW-ENE, coincidente, aproximadamente, con el alargamiento del macizo.

### Mecanismo de deformación

Trabajos como los de Nicolás *et al.* (1971, 1972) sobre peridotitas alpinas, de Bouchez y Pêcher (1981) en cuarcitas, Berthé *et al.* (1979) en milonitas cuarzo-feldespáticas, y Etchecopar (1977) sobre modelos teóricos de deformación, señalan la utilidad del análisis estructural y de las orientaciones preferentes cristalinas para precisar el mecanismo de deformación de las tectonitas; si la deformación se ha producido por cizalla simple, permiten determinar, además, la dirección y el sentido de cizallamiento (Nicolás y Poirier, 1976).

La deformación asociada al emplazamiento del manto de Los Reales se ha producido por un mecanismo próximo a la cizalla simple, de acuerdo con las siguientes observaciones:

- En las milonitas del manto de Ojén el feldespato aparece, generalmente, como porfiroclastos con sombras de presión asimétricas. La uniformidad del sentido de asimetría de las sombras de presión, en muestras distribuidas regularmente a lo largo del contacto, apoya el carácter rotacional de la deformación (fig. 3), según los resultados obtenidos por Berthé *et al.* (1979).

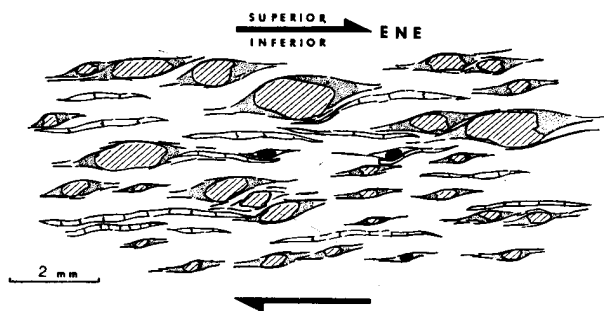


Fig. 3.—Milonita cuarzo-feldespática (selección XZ). Las cintas de cuarzo (ribbon-quartz) señalan la traza de la foliación. La asimetría de las sombras de presión de los porfiroclastos indica un sentido de cizallamiento tal que la parte superior de la figura se desplaza hacia el ENE respecto de la inferior.

- Las secciones XZ (perpendiculares a la foliación y paralelas a la lineación de estiramiento) de milonitas peridotíticas contienen numerosos porfiroclastos alargados de enstatita (3-4 mm.; X/Z : 5/1), con la traza del cleavage (100) oblicua respecto a la de la foliación. El alargamiento de los cristales de ortopiroxeno se debe,

de acuerdo con Nicolás *et al.* (1971), a que han sufrido una deformación plástica por deslizamiento intracristalino sobre planos de deslizamiento que coinciden con los del cleavage (100) (fig. 4). La constancia del sentido de inclinación del cleavage en relación a la foliación (fig. 5) también está de acuerdo con una deformación por cizallamiento simple.

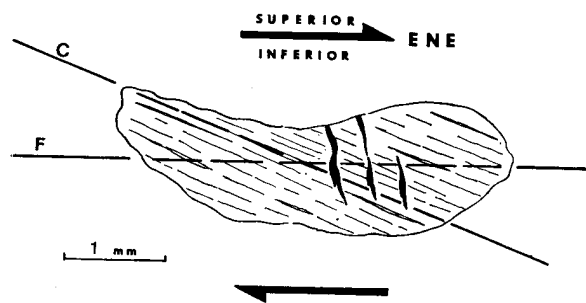


Fig. 4.—Porfiroclasto de enstatita de una milonita peridotítica (sección XZ). El alargamiento del cristal marca la posición de la foliación (F). La línea C corresponde a la traza del plano de deslizamiento intracristalino, que coincide con la del cleavage (100). El sentido de cizallamiento acorde con la inclinación de F respecto de C es igual al de la figura 3.

La existencia (~ 20 %) de feldespato potásico con sombras de presión con asimetría contraria y de porfiroclastos de enstatita con relaciones cleavage-foliación inversas, indica una componente de cizalla pura, de manera semejante a la situación señalada por Darot (1974) en Sierra Bermeja.

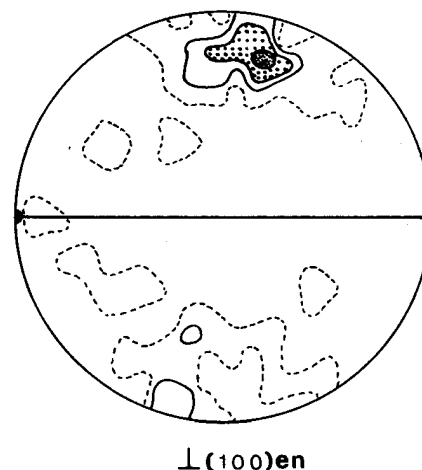


Fig. 5.—Diagrama de polos del cleavage (100) de la enstatita en una peridotita milonítica (proyección equiareal; hemisferio inferior; 40 medidas; contornos: 0.5/1.5/2.5 > 3.5 %). Sección XZ (la línea indica la traza de la foliación y los puntos en sus extremos, la lineación). La oblicuidad del plano de deslizamiento intracristalino (100) respecto a la foliación indica el sentido de cizallamiento.

La deformación alcanzó valores elevados en las cercanías del contacto, de acuerdo con el pequeño tamaño de grano de las rocas de dicha zona, y con los ángulos de cizallamiento grandes que se deducen de los modelos de diagramas de orientación preferencial cristalina de la enstatita en las peridotitas miloníticas (fig. 6).

orientación de la lineación. El repetido sentido de asimetría de las sombras de presión de los porfiroclastos en las milonitas cuarzo-feldespáticas señala un sentido de cizallamiento (fig. 3) coincidente con el que indican la inclinación sistemática del cleavage (100) de la enstatita respecto de la foliación (fig 5) y los diagramas de la fábrica de la enstatita (fig. 6)

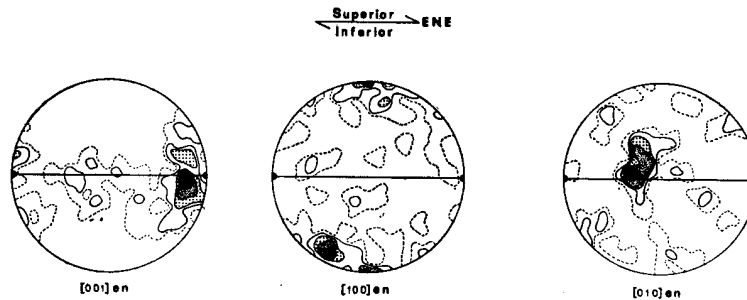


Fig. 6.—Diagrama de orientación preferencial cristalina en sección XZ, de enstatita en una milonita peridotítica (proyección equiareal; hemisferio inferior; 50 medidas; contornos: 0.5/1.5/2.5/3.5 > 4.5 %). Los máximos de [100] y [001] a ángulos elevados y bajos, respectivamente, con la lineación son consistentes con la activación del sistema de deslizamiento (100) [001], único posible en la enstatita (Nicolás y Poirier, 1976). La oblicuidad de [001] con respecto a la traza de la foliación es semejante a la posición media del cleavage (100) en la figura 5, y ambas son coherentes con el sentido de cizallamiento que se obtiene de las microestructuras (figs. 3 y 4).

### Discusión: dirección y sentido de las traslaciones

Varios autores (ver Egeler y Simon, 1969; Paquet, 1974) han considerado que los conjuntos de la Zona Bética se han movido en dirección noreste-suroeste, con anterioridad a la etapa de traslaciones hacia el norte, de edad Miocena; esta fase previa de desplazamientos se designa, habitualmente, como “etapa inicial de empilamiento”.

Las estructuras descritas anteriormente corresponden a un episodio de deformación dúctil asociado al emplazamiento del manto de Los Reales, por lo que pueden atribuirse a la “etapa inicial de empilamiento”, ya que la que origina los desplazamientos hacia el norte se realiza en condiciones frágiles (Aldaya, 1969; Egeler y Simon, 1969).

Si la deformación por cizalla simple es intensa los elementos estructurales (foliación y lineación de estiramiento) tienden, prácticamente, a coincidir con los cinemáticos (plano de flujo y dirección de flujo) (Etchecopar, 1977). Esto ocurre al norte de Sierra Alpujata, por lo que la lineación de estiramiento de las milonitas es un indicador adecuado de la dirección de movimiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén.

La dirección de movimiento es aproximadamente WSW-ENE, según lo expuesto previamente sobre la

en las milonitas peridotíticas cercanas al contacto. El sentido de cizallamiento es tal que determina el desplazamiento de la parte superior (manto de Los Reales) con respecto a la inferior (manto de Ojén) desde el WSW hacia el ENE.

### Conclusiones

El contacto entre las peridotitas de Sierra Alpujata y las milonitas cuarzo-feldespáticas del manto de Ojén subyacente corresponde a la etapa inicial del apilamiento de mantos de la Zona Bética. El estudio de sus estructuras pone de manifiesto la existencia de desplazamientos hacia el ENE en los Mantos Alpujarrides del sector occidental de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.

### Bibliografía

- ALDAYA, F.  
1969. Sobre el sentido de los corrientes de los Mantos Alpujarrides al sur de Sierra Nevada (Zona Bética, provincia de Granada). *Bol. Geol. Min.*, 80, 212-217.
- BERTHÉ, D.; CHOUKROUNE, P. y JEGOUZO, P.  
1979. Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: The example of the South Armoric Shear Zone. *J. Struct. Geol.*, 1, 31-42.

- BOUCHEZ, J. L. y PÊCHER, A.  
1981. The Himalayan Main Central Thrust Pile and its quartz-rich tectonites in Central Nepal. *Tectonophysics*, 78, 23-50.
- DAROT, M.  
1974. Cinématique de l'extrusion, à partir du manteau, des péridotites de la Sierra Bermeja (Serranía de Ronda, Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 278, 1673-1676.
- DURAND-DELGA, M.  
1968. Coup d'oeil sur les unités malaguides des Cordillères bétiques (Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 266, 190-193.
- DÜRR, S.  
1967. Geologie der Serrania de Ronda und ihrer Südwestlichen Ausläufer (Andalusien). *Geol. Romana*, 6, 1-73.
- EGELER, C. G. y SIMON, O. J.  
1969. Sur la tectonique de la Zone Bétique (Cordillères Bétiques, Espagne). *Verh. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch., Afd. Nat. Amsterdam*, 25, 1-190.
- ETCHECOPAR, A.  
1977. A plane kinematic model of progressive deformation in a polycrystalline aggregate. *Tectonophysics*, 39, 121-139.
- KAMPSCHUUR, W.  
1972. *Geology of the Sierra de Carrascoy (SE Spain) with emphasis on Alpine polyphase deformation*. Tesis doctoral, Universidad de Amsterdam. *GUA Papers of Geology*, 114 págs.
- NAVARRO-VILÁ, 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 Lherzolites. *Tectonophysics*, 12, 65-86.
- NICOLAS, A.; BOUCHEZ, J. L. y BOUDIER, F.  
1972. Interprétation cinématique des déformations plastiques dans le massif lherzolitique de Lanzo (Alpes piémontaises). Comparaison avec d'autres massifs. *Tectonophysics*, 14, 143-171.
- NICOLAS, A. y POIRIER, J. P.  
1976. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks*. Wiley - Interscience, London, 444 págs.
- PAQUET, J.  
1974. Tectonique éocène dans les Cordillères bétiques; vers une nouvelle conception de la paléogéographie dans la Méditerranée occidentale. *Bull. Soc. Géol. France*, 16, 58-73.
- SIBSON, R. H.  
1977. Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. London*, 133, 191-215.
- TUBÍA, J. M. y CUEVAS, J.  
Nappe-related structures in the Western Alpujarrides (Southern Spain) (en preparación).
- WESTERHOF, A. B.  
1977. On the contact relations of High-temperature peridotites in the Serranía de Ronda, Southern Spain. *Tectonophysics*, 39, 579-592.

Recibido el 1 de diciembre de 1983.  
Aceptado el 25 de mayo de 1984.