

# Evolución metamórfica de los esquistos con Grt-St-Ky del antiforme de Arinteiro (Complejo de Órdenes, noroeste del Macizo Ibérico)

*Metamorphic evolution of the Grt-St-Ky schists from the Arinteiro antiform (Órdenes Complex, northwestern Iberian Massif)*

P. Castiñeiras <sup>(1)</sup>, R. Arenas <sup>(1)</sup>, J.R. Martínez Catalán <sup>(2)</sup> y J. González del Tánago <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

<sup>(2)</sup>Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España.

## ABSTRACT

The Órdenes Series in the Arinteiro antiform are generally Grt-St-Ky schists which exhibit a regional schistosity ( $S_2$ ) and a metamorphic peak mineral assemblage with Qtz-Pl-*Ms*-Bt-Grt-Ky-Rt-Ilm. Some garnets show a distinctive petrographic zoning which correlates with compositional zoning patterns. Kyanite occurs as stretched aggregates, usually surrounded by a shimmer aggregate of muscovite. Staurolite is scarce and develops allotriomorphic crystals partially replaced by garnet and kyanite. Mineral analyses were undertaken in six samples of Grt-St-Ky schists to obtain mineral chemistry and PT determinations, with special attention given to the characterization of garnet and plagioclase zoning, and avoiding later reequilibration between Fe-Mg minerals. PT conditions were calculated using the TWEEQU method with core and rim compositions of garnet and plagioclase, and an average composition of matrix biotite. Peak metamorphic conditions can be divided into a baric and a thermal peak. The obtained PT path is interpreted to be a consequence of crustal thickening occurred in Lower Ordovician times. This evolution is clearly different from that registered in the underlying high-P and high-T units.

**Key words:** Medium pressure metamorphism, multi-equilibrium thermobarometry, PT path, Órdenes Complex

Geogaceta, 32 (2002), 107-110  
ISSN:0213683X

## Introducción

El Complejo de Órdenes es un gran *klippe* que aflora en el noroeste peninsular junto con otros tres complejos alóctonos (Cabo Ortegal, Bragança y Morais) y la Banda de Malpica-Tui. Estos complejos están constituidos por el apilamiento de unidades alóctonas de origen diverso que, en función de su constitución litológica y evolución metamórfica, pueden agruparse en tres conjuntos de unidades, de muro a techo: unidades basales, ofiolíticas y superiores. A su vez, las unidades superiores pueden dividirse en unidades de alta P y alta T, y unidades de media P, que ocupan una posición culminante (Martínez Catalán et al., 1997, 1999).

En el Complejo de Órdenes, la unidad de media P está constituida por una potente secuencia metasedimentaria de carácter *flyschoid*, conocida clásicamente como Serie de Órdenes, que está intruida por grandes cuerpos de gabros y granitoides (Martínez Catalán et al., 1984; Díaz García, 1990).

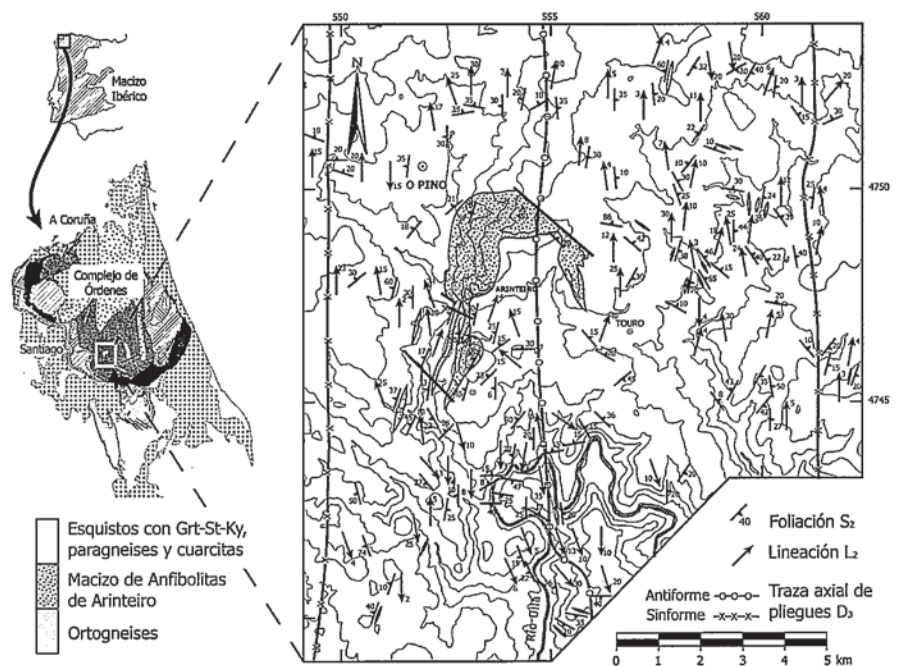


Fig. 1.- Mapa geológico de los esquistos con Grt-St-Ky del antiforme de Arinteiro.

Fig. 1.- Geologic map of the Grt-St-Ky schists from the Arinteiro antiform.

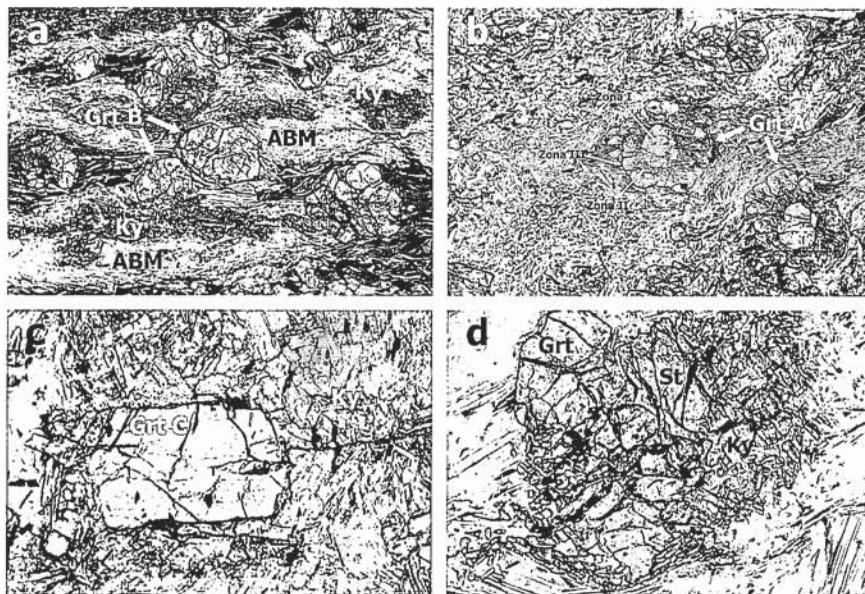


Fig. 2.- Diversos aspectos petrográficos de los esquistos con Grt-St-Ky: a, textura general (ABM, agregados brillantes de moscovita); b, granates de tipo A que presentan un zonado textural característico; c, granate de tipo C parcialmente incluido en un agregado de distena; d, estauroлита reemplazada en parte por granate y distena.

Fig. 2.- Different petrographic aspects of the Grt-St-Ky schists: a, general texture (ABM, muscovite shimmer aggregates); b, A-type garnets showing a characteristic textural zoning; c, C-type garnet partially included in a kyanite aggregate; d, partial replacement of staurolite by garnet and kyanite.

Las condiciones del metamorfismo en la Serie de Órdenes varían entre la facies de los esquistos verdes, en su parte más alta, y la facies de las granulitas de media presión en la parte basal. Recientemente han sido datados el magmatismo bimodal y el primer evento de metamorfismo, que alcanzó condiciones de la facies de las granulitas (Abati et al., 1999). Las edades obtenidas varían entre 493-500 Ma (U-PB en monacitas y circones), siendo el magmatismo bimodal ligeramente más antiguo (498-500 Ma) que el metamorfismo (493-498 Ma), lo que apunta hacia un ambiente acrecionario en el Ordovícico inferior para la evolución de las unidades de media P. Teniendo en cuenta los datos estructurales, metamórficos y geocronológicos, se ha reconocido también un evento de edad Devónico inferior (c. 390 Ma) en las unidades de media P del Complejo de Órdenes (Dallmeyer et al., 1997; Abati et al., 1999; González Cuadra et al., 1999). Este último evento se ha atribuido a un desarrollo temprano de la cuña orogénica Varisca (Díaz García, 1999a, 1999b).

La mayor parte de la Serie de Órdenes muestra una típica zonación metamórfica barroviense, que aumenta desde la zona de la clorita-biotita hasta la zona de la sillimanita. Además, la sección inferior de esta serie, que aflora en la parte noroeste del Complejo de Órdenes, ha registrado condiciones metamórficas ma-

yores, con migmatización y desarrollo regional de metamorfismo en facies de las granulitas de media P en el macizo metabroico de Monte Castelo (Abati, 2000).

**Esquistos con Grt-St-Ky**

Los metasedimentos de la Serie de Órdenes en el antiforme de Arinteiro (Fig. 1) son fundamentalmente esquistos con Grt-St-Ky (abreviaturas minerales según Kretz, 1983), con cantidades menores de

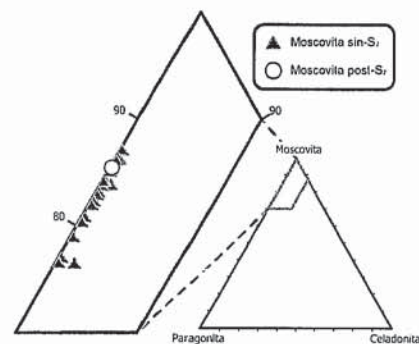


Fig. 3.- Diagrama triangular Ms-Pg-Cel para los esquistos con Grt-St-Ky.

Fig. 3.- Ms-Pg-Cel ternary diagram for the Grt-St-Ky schists.

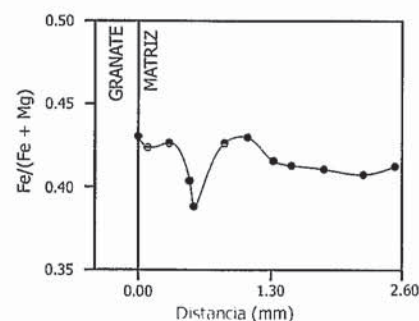


Fig. 4.- Relación Fe/(Fe+Mg) en las biotitas a lo largo de trayectorias cada vez más alejadas del granate.

Fig. 4.- Fe/(Fe+Mg) ratio in biotites along different trajectories increasingly farther from garnet.

cuarcitas, esquistos grafitosos y rocas calcosilicatadas (escasas). Los esquistos metapelíticos porfidoblásticos muestran una esquistosidad regional (S<sub>2</sub>) definida por dominios lepidoblásticos de micas (Ms+Bt), con porfidoblastos de Grt y St, y agregados estirados de Ky (Fig. 2a); los

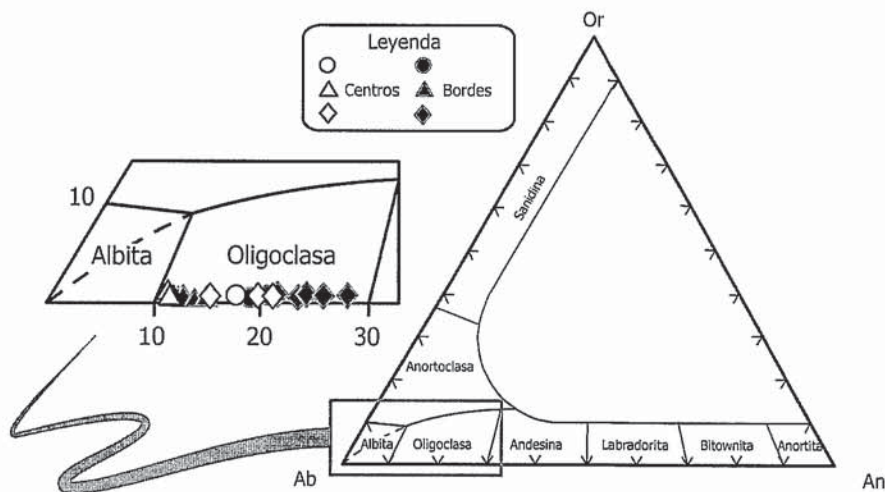


Fig. 5.- Diagrama Ab-An-Or de clasificación de plagioclasas para los esquistos con Grt-St-Ky.

Fig. 5.- Feldspar classification Ab-An-Or diagram for the Grt-St-Ky schists.

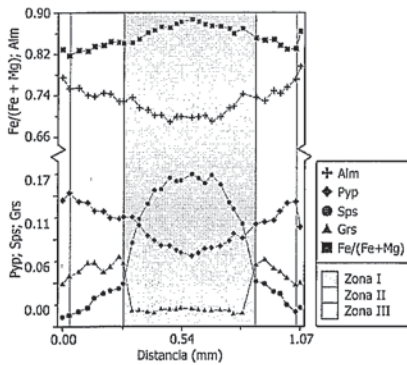


Fig. 6.- Variación de la composición química a lo largo de un perfil de un granate de tipo A.

Fig. 6.- Chemical variation throughout an A-type garnet profile.

microlitones están constituidos por Qtz y Pl. Algunos esquistos metapelíticos que ocupan la posición estructural más baja en el antifórme de Arinteiro muestran un desarrollo local y muy limitado de sillimanita. Se han reconocido otras dos fábricas planares, una previa preservada en los porfidoblastos de St y Grt como una fina esquistosidad interna ( $S_1$ ), y otra posterior que aparece como un débil clivaje disyuntivo desarrollado en la zona de charnela del antifórme de Arinteiro.

Las condiciones del pico metamórfico están dentro de la zona de la distena, donde se desarrolló una asociación mineral con Qtz-Pl-Ms-Bt-Grt-Ky-Rt-Ilm. Algunos granates muestran un característico zonado petrográfico (granates de tipo A, Fig. 2b), con un núcleo idiomorfo pobre en inclusiones (zona I), una zona intermedia muy rica en microinclusiones (zona II), y un borde idiomorfo (zona III). Estas tres zonas tienen también pautas composicionales características. Otros granates sólo están constituidos por la zona I (granates de tipo C, Fig. 2c), aunque los porfidoblastos más frecuentes (granates de tipo B, Fig. 2a) presentan un zonado composicional equivalente a las dos zonas exteriores descritas para los granates de tipo A. Los agregados estirados de distena aparecen habitualmente rodeados por un agregado brillante de moscovita (Fig. 2a). La estauroilita es escasa y aparece en forma de cristales alotriomorfos reemplazados parcialmente por Grt y Ky (Fig. 2d).

Un hecho destacado de la evolución termal de los esquistos de Arinteiro es la existencia de un metamorfismo temprano (pre- $S_1$ ) de baja presión, durante el que se formaron abundantes venas con cuarzo y andalucita. Estas venas se encuentran por toda la región de Arinteiro, y contienen

grandes cristales de andalucita (hasta 20 cm) pseudomorfizados por distena. Por el momento se desconocen la edad y el significado de este temprano evento. No obstante, considerando que estas venas con cuarzo y andalucita están relacionadas con un cizallamiento regional, se puede descartar la posibilidad de un metamorfismo de contacto extenso.

### Química mineral y termobarometría

Se han realizado análisis minerales por medio de una microsonda de electrones JEOL 8900 del Centro de Microscopía Electrónica "Luis Bru", de la Universidad Complutense de Madrid. Se escogieron seis muestras de esquistos con Grt-St-Ky como las más apropiadas para obtener la química mineral y realizar cálculos termobarométricos. Las determinaciones analíticas detalladas en estas muestras se efectuaron poniendo especial atención en la caracterización del zonado de la plagioclasa y el granate, y evitando reequilibrios posteriores entre los minerales ferromagnesianos.

Las micas blancas sin- y post- $S_2$  son moscovitas con una composición relativamente constante (Fig. 3) y una baja sustitución paragonítica (12-26 mol% Pg). Para controlar la influencia del granate en la composición de la biotita, se analizaron bastantes biotitas de la matriz a lo largo de zonas cada vez más alejadas del granate (Fig. 4). Las menores relaciones Fe/(Fe+Mg) son características de las biotitas situadas cerca del granate. Después, tras una zona en la que se alcanzan las mayores relaciones Fe/(Fe+Mg), las biotitas muestran composiciones intermedias, que se han atribuido al pico térmico. La plagioclasa (Fig. 5) tiene un zonado composicional en el que la anortita aumenta de centro ( $An_{11-20}$ ) a borde ( $An_{12-26}$ ).

Los análisis realizados en los granates confirman que la zonación textural coincide con una zonación química. En los granates de tipo A, los perfiles composicionales a lo largo de las tres zonas texturales muestran un zonado característico (Fig. 6). Las moléculas de almandino y piropro aumentan a lo largo de las zonas I y II junto con un descenso en la molécula de espesartina y la relación Fe/(Fe+Mg). Esta pauta es característica de un zonado de crecimiento progrado (Tracy, 1982). Sin embargo, el contenido en grosularia muestra un patrón complejo. Esta pauta es plana en la parte interna de la zona I, y experimenta un marcado ascenso en el borde de esta misma zona. Este aumento en el contenido

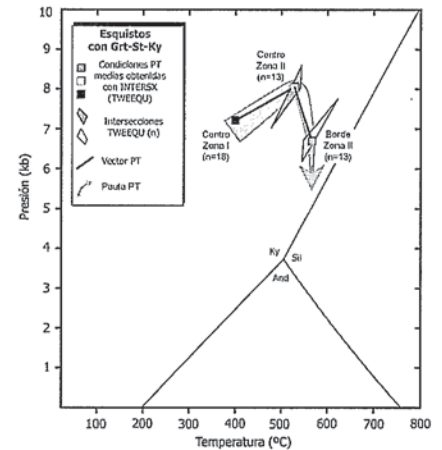


Fig. 7.- Vectores PT y pauta obtenida de los datos termobarométricos calculados con TWEEQU para los estadios progrado y pico metamórfico en los esquistos con Grt-St-Ky del antifórme de Arinteiro.

Fig. 7.- PT vectors and obtained path from thermobarometric data calculated with TWEEQU for the prograde and metamorphic peak stages in Grt-St-Ky schists of the Arinteiro antifórme.

de grosularia es interpretado como resultado de una reacción entre granate y plagioclasa (Spear et al., 1990). El contenido de grosularia decrece lentamente a lo largo de la zona II; este comportamiento es típico de los granates descompresivos. Finalmente, la zona III puede ser interpretada como un borde retrógrado, caracterizado por un aumento en la relación Fe/(Fe+Mg) y el contenido de grosularia, mientras que disminuye el contenido en piropro.

Las condiciones PT fueron calculadas usando el método TWEEQU de Berman (1991). Se han considerado las composiciones de centros y bordes de plagioclasa, de las zonas I y II de los granates de tipo A y una composición media de biotita para obtener las condiciones PT próximas al pico metamórfico (Fig. 7). Las condiciones del estadio progrado se calcularon utilizando una supuesta asociación mineral en equilibrio, con  $An_2$ , centro de la zona I del granate y una composición media de la biotita de la matriz. Las condiciones del pico metamórfico pueden dividirse en un pico bórico a 8 kb y 525°C (centro de plagioclasa, centro de la zona II de granate, y biotita media de la matriz), y un pico térmico a 6.5 kb y 575°C (borde de plagioclasa, borde de la zona II del granate, y biotita media de la matriz).

La pauta PT obtenida es interpretada como consecuencia de un engrosamiento cortical que, como sugieren las edades ya existentes en la misma unidad, ocurrió

en el Ordovícico inferior (Abati et al., 1999). La termobarometría de multiequilibrio aplicada en los esquistos con Grt-St-Ky del antiforme de Arinteiro confirma la evolución metamórfica de presión intermedia de la Serie de Órdenes. Esta evolución es claramente diferente de la registrada en las unidades infrayacentes de alta T y alta P, y constituye un hecho significativo para poder dividir en dos conjuntos (alta P y alta T, y media P) el "terrane" que se encuentra a techo de la sutura Varisca, representada por las unidades ofiolíticas.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PB94-1396-CO2 y PB97-0234-CO2 de la DGICYT y la DGEISIC.

#### Referencias

- Abati, J. (2000): Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid. 200 pp.
- Abati, J., Dunning, G.R., Arenas, R., Díaz García, F., González Cuadra, P., Martínez Catalán, J.R. y Andonaegui, P. (1999): *Earth Planet. Sci. Letters*, 165, 213-228.
- Berman, R.G. (1991): *Can. Mineral.*, 29, 833-855.
- Dallmeyer, R.D., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Gil Ibarra, J.I., Gutiérrez Alonso, G., Farias, P., Bastida F. y Aller, J. (1997): *Tectonophysics*, 277, 307-337.
- Díaz García, F. (1990): *Serie Nova Terra*, 3, Ed. O Castro, La Coruña. 230 pp.
- Díaz García, F., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R. y González Cuadra, P. (1999a): *Inter. Jour. Earth Sci.*, 88, 337-351.
- Díaz García, F., Arenas, R., Martínez Catalán, J.R., González del Tánago, J. y Dunning, G.R. (1999b): *Jour. Geol.*, 107, 587-605.
- González Cuadra, P., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F., Abati, J. y Dunning, G.R. (1999): *X European Union Geosc.*, (E.U.G. Meeting), Estrasburgo, 4, 34.
- Kretz, R. (1983): *Amer. Miner.*, 68, 277-279.
- Martínez Catalán, J.R., Klein, E., de Pablo Maciá, J.G. y González Lodeiro, F. (1984): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 7, 139-210.
- Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F. y Abati, J. (1997): *Geology*, 25, 1103-1106.
- Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F. y Abati, J. (1999): *Basement Tectonics*, Kluwer, 13, 65-84.
- Spear, F.S., Kohn, M.J., Florence, F.P. y Menard, T. (1990): *Jour. Metamorphic Geology*, 8, 683-696.
- Tracy, R.J. (1982): *Reviews in Mineralogy*, 10, 355-397.