

Estimaciones termobarométricas en los metagabros coroníticos de la región de Segovia (Sierra de Guadarrama)

Thermobarometric estimations on coronitic metagabbros from the Segovia region (Sierra de Guadarrama)

C. Villaseca ⁽¹⁾, C. Martín Romera ⁽¹⁾ y L. Barbero ⁽²⁾

⁽¹⁾ Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad Ciencias Geológicas, UCM, 28040 Madrid.

⁽²⁾ Dpto. Geología, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real (Cádiz).

ABSTRACT

Coronitic gabbros of tholeiitic affinity cropping out in the Segovia region in relation to ductile shear zones are studied in the present work. Mineral equilibria and thermobarometric calculation indicate that maximum P-T was close to 830°C and 7 kbar. Retrograde conditions of 525-650°C and 2-3.8 kbar are estimated. Maximum calculated PT conditions agree with the general clockwise metamorphic path established for this intracontinental collisional belt, which evolves from eclogitic conditions of around 775° C and 14 kb towards granulite facies conditions like the ones estimated for this metagabbros.

Key words: mafic granulites, P-T paths, hercynian metamorphism, Sierra de Guadarrama

Geogaceta, 32 (2002), 11-14

ISSN:0213683X

Introducción

Las series metamórficas de la región de Segovia están compuestas por materiales variados de edad pre-Arenigiense imprecisa, que comprenden tanto series sedimentarias Proterozoicas como macizos de ortogneises que las intruyen en el límite Cámbrico-Ordovícico Inferior, según los trabajos geocronológicos (ver discusión en Valverde-Vaquero y Dunning, 2000). En las abundantes series de ortogneises (glandulares, bandeados o leucogneises) aparecen interbandeados niveles menores de rocas metasedimentarias (metapelitas, metapsamitas, cuarcitas, mármoles, rocas de silicatos cálcicos,...) y algunos tipos de metabasitas (Villaseca *et al.*, 1993). Se pueden distinguir dos grandes grupos de metabasitas, ambas de afinidad toleítica, en las series de Segovia: i) metabasitas retro-eclogíticas, siempre incluidas en las series metasedimentarias del sector, que son intruidas por los ortogneises, y a las que se les asigna una edad pre-Cámbrica imprecisa (Fig. 2 de Villaseca *et al.*, 1993); ii) metabasitas coroníticas, con textura metafénea preservada, de edad más reciente (magmatismo intrahercínico), pues intruyen en las series glandulares y no sufren el fuerte enterramiento sin-collisional (metamorfismo hercínico de alta presión), aunque están localizadas en las bandas de cizalla dúctiles del sector (Villaseca, 1985). La deformación marginal de los mayores de estos sills toleíticos indica un emplazamiento tardi-D1 de estas metabasitas coroníticas. Ninguno de estos episodios

magmáticos básicos han sido datados con precisión.

En este trabajo se aborda el estudio detallado de la química mineral de estas metabasitas coroníticas con la intención de precisar mejor la evolución del metamorfismo hercínico del sector. Éste describe una clásica pauta horaria en diagramas P-T, desde momentos de máximo enterramiento, estimado en unos 14 kb y 770 ± 15 °C (Barbero y Villaseca, 2000), y una marcada descompresión de los materiales, siempre en condiciones de facies granulítica, que conlleva fenómenos de fusión parcial en diversos materiales cuarzofeldespáticos del sector, en condiciones próximas a 740 ± 20 °C y 4-5 kb (Martín Romera *et al.*, 2001).

Caracterización geoquímica de las metabasitas coroníticas

Estas metabasitas ya han sido previamente caracterizadas como gabros toleíticos por su carácter subcalino y su bajo contenido en K_2O (Villaseca, 1985). Se proyectan en campos toleíticos en aquellos diagramas que tienen en cuenta el elevado contenido en FeO total y TiO_2 de estas muestras (Villaseca, 1985; Villaseca *et al.*, 1993). No obstante, las concentraciones en K_2O y P_2O_5 de estas metabasitas son suficientemente elevadas como para definir un carácter claramente continental de las mismas, alejado de los campos composicionales de toleitas oceánicas o tipos MORB

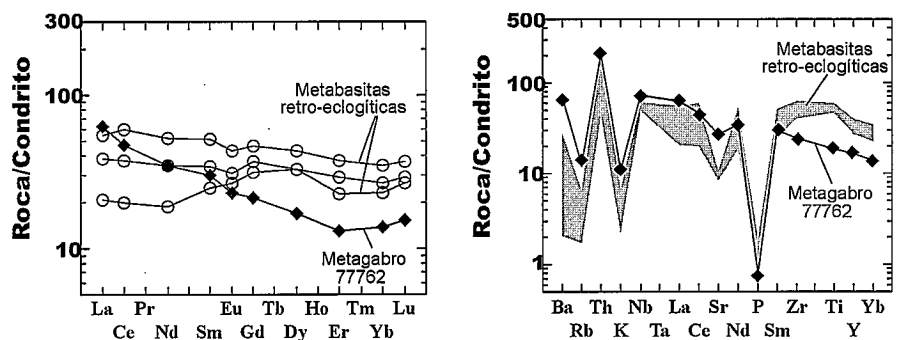


Fig. 1.- Aspectos composicionales de los metagabros coroníticos comparados con las metabasitas retro-eclogíticas del sector. Los diagramas están normalizados al condrito C1 de Sun & McDonough (1989). Se observa un mayor grado de fraccionamiento en los espectros del metagabro coronítico 77762.

Fig.1.- Compositional features of coronitic metagabbros with respect to nearby retro-eclogitic metabasites. Chondritic normalization values are those of Sun & McDonough (1989). Sample of coronitic metagabro (77762) has the most fractionated pattern.

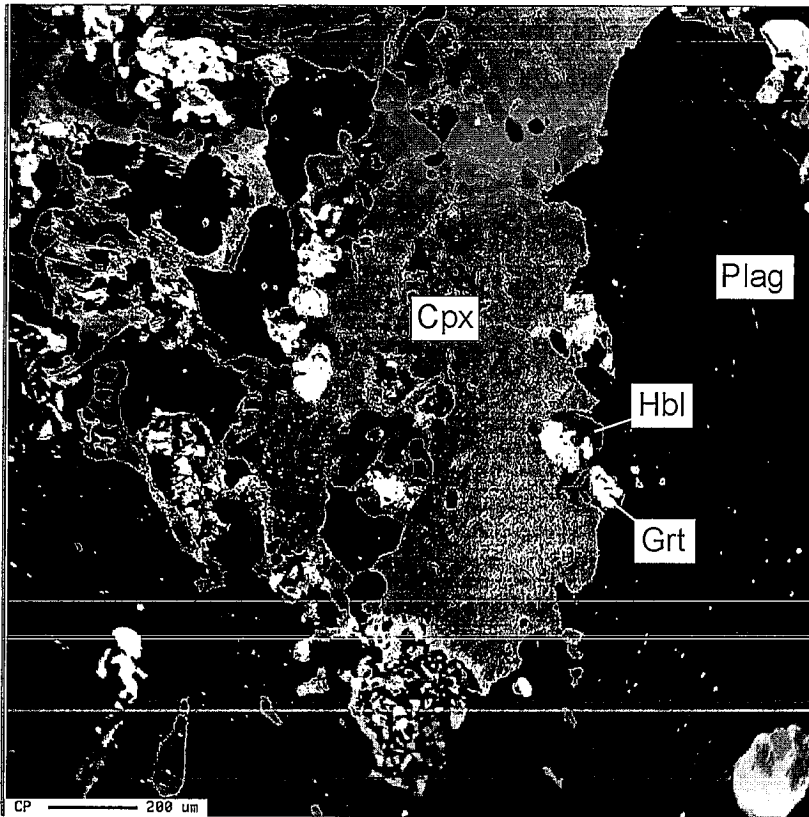


Fig. 2.- Imagen electrónica de un metagabro piroxénico con aureola parcial de granate (Grt, blanco) y anfíbol hornbléndico (Hbl, gris oscuro) alrededor de un agregado granoblástico de clinopiroxeno (Cpx, gris claro) (muestra 70130). La plagioclasa (Plag) sale con tonos negros en la imagen. Escala gráfica de 200 micras.

Fig. 2.- BSE image of metagabbro 70130. A partial garnet (Grt, bright)-amphibole (Hbl, dark grey) aureole around granoblastic aggregate of clinopyroxene (Cpx, grey) is shown. Plagioclase crystals (Plag) are in black. Graphic scale is 200 μm .

(Pearce *et al.*, 1975, diagrama $\text{K}_2\text{O}-\text{TiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$, no mostrado).

En elementos traza también presentan características más enriquecidas que el MORB. De hecho estos metagabros son ligeramente más ricos en LILE (Rb, Ba, K), HFSE (Th, Nb) y LREE (La, Ce) que las metabasitas retroecológicas previas (Fig. 1), que tenían características, a su vez, de MORB enriquecidos (Barbero y Villaseca, 2000). En los diagramas de trazas normalizados (Fig. 1) presentan espectros fraccionados tanto en REE ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 4.2$) como en elementos traza incompatibles, debido a concentraciones próximas a las del MORB en elementos traza de la derecha del diagrama (HREE-Y-Zr-Ti). Los contenidos relativamente bajos en Ti y Zr de estos metagabros los diferencia, de nuevo, de las metabasitas retro-ecológicas, más antiguas.

Petrografía y química mineral

Las características petrográficas pueden variar mucho de un afloramiento a otro, pues hay decenas de pequeños sills y bandas metabásicas de esta serie (Villaseca, 1985). Los afloramientos mayores y mejor conservados son los del área al sur de Revenga

(Segovia). Se pueden distinguir tres tipos petrográficos: I) granulitas coroníticas con dos piroxenos ígneos, relictos, II) granulitas coroníticas con granate accesorio, y III) tipos anfíbolitizados, mucho más foliados, que suelen corresponder a facies más marginales de las bandas metagabroideas. En el sector de Pasapán (Segovia) hay una pequeña banda de metabasitas coroníticas tipo-II (ver situación en Fig. 1 de Villaseca, 1985).

Las granulitas tipo-I contienen megacristales de ortopiroxeno y clinopiroxeno además de plagioclasa, ortopiroxeno y clinopiroxeno metamórficos (a veces formando coronas alrededor de los megacristales de piroxenos metaígneos), anfíbol y biotita. Como accesorios aparecen cuarzo, esfena, óxidos de Fe-Ti y sulfuros de Fe. Las granulitas coroníticas con granate accesorio (tipo-II), son muy escasas y parecen tipos más retrogradados que los anteriores pues no se observan texturas diabásicas metaígneas ni megacristales de piroxenos. Pueden ser metabasitas bandeadas y presentar mayor proporción modal de cuarzo. El granate puede aparecer en dos sectores: i) aureolando a piroxenos (metamórficos?) junto a hornblenda (Fig. 2), a veces simplectítico con ella, o ii) en granos dispersos. Los tipos más

anfíbolitizados (tipo-III) no han sido incluidos en este estudio.

Debido a la intensa recrystalización granulítica de los metagabros toleíticos, la química mineral de los cristales ígneos originales (plagioclasa y dos piroxenos) es difícil de evaluar. Los megacristales están muy homogeneizados y son próximos en composición a los piroxenos metamórficos que aparecen en diversos tipos texturales: formando coronas, en cristales granoblásticos dispersos, o en intercrecimientos simplectíticos con plagioclasa. No obstante, existen algunas diferencias químicas. Así, los megacristales de ortopiroxeno relicto son ligeramente más ricos en MgO, CaO (algunos podrían haber sido originalmente tipos pigeoníticos) y TiO_2 (y más pobres en MnO) que los ortopiroxenos de textura claramente metamórfica. Igualmente, los megacristales de clinopiroxeno parecen más ricos en TiO_2 (hasta 0.75% en peso) y Na_2O (0.88%) que sus equivalentes metamórficos (0.25% y 0.45%, respectivamente). Por el contrario, no hay diferencias significativas en MgO o CaO entre los diversos tipos petrográficos de clinopiroxenos.

La plagioclasa está muy recrystalizada en todas las muestras, por lo que es raro encontrar cristales alargados grandes, vestigios de la original textura intergranular (diabásica) del metagabro. Se han transformado en un mosaico granoblástico de cristales sin zonar de plagioclasa metamórfica. La mayor parte de las plagioclasas granoblásticas tienen composición An_{30-50} , mientras que las que forman parte de las coronas son ligeramente más cálcicas (An_{47-60}). Las plagioclasas simplectíticas son todavía mucho más cálcicas (An_{55-89}). Hay también diferencias composicionales respecto al tipo de roca. Así, las metabasitas tipo-II del sector de Pasapán (muestra 70130) son las que presentan la plagioclasa más cálcica, siempre en el rango An_{85-97} , independientemente del tipo textural.

En la mayoría de las metabasitas aparece biotita, aunque en proporciones modales generalmente accesorias. Solo en una de las muestras coroníticas de tipo-I (muestra 77762) aparece en grandes blastos, a su vez envueltos por coronas anfíbolíticas o de nueva biotita, raramente envueltos, o de manera parcial, por coronas piroxénicas. Estos cristales mayores de biotita son más ricos en Ti y Mg que las micas más pequeñas. Solo algún tipo de biotita coronítica alrededor de óxidos de Fe-Ti (ilmenita) son tan ricos en Ti y Mg como los megablastos descritos.

Los pequeños cristales de granate (raramente superan las 300 micras) muestran una cierta variabilidad química con el tipo de metagabro. Los granates más magnésicos son los de la metabasita de Revenga (roca 74212, Fig. 3). En esta muestra los granates son muy escasos y aparecen ligados a la plagioclasa e incluso al apatito (formando aureolas a su alre-

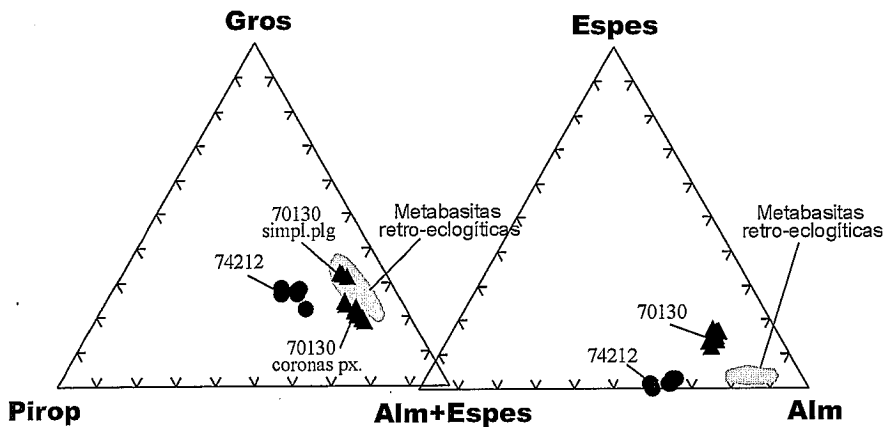


Fig. 3.- Composición de granates en los diagramas Piropo-Grosularia-(Almandino+Espesartina) y Piropo-Espesartina-Almandino. Nótese la composición más rica en espesartina de los granates del metagabro 70130 y el alto contenido en piropo de los granates del metagabro 74212. En la muestra 70130 los granates simplectíticos con plagioclasa son marcadamente más ricos en componente grosularia que los granates granoblásticos que aparecen asociados a minerales máficos (en coronas anfíbólicas, como en la Fig. 2, ó arrosariado con piroxenos). Se ha proyectado, también, la composición de los granates de las metabasitas retro-eclogíticas (Barbero y Villaseca, 2000).

Fig. 3.- Garnet composition in the Prp-Grs-(Alm+Sps) and Prp-Sps-Alm plots. Note the more spessartine character of metagabbro 70130 garnets. Metagabbro 74212 show garnets with high pyrope contents. In sample 70130 symplectitic garnets with plagioclase show higher grossular content than granoblastic garnets associated to mafic minerals (irrespectively of appearing as necklaces with amphibole around pyroxenes, as in Fig. 2, or in clusters with pyroxenes and plagioclase). In the same diagram is also plotted the compositional field of retro-eclogitic metabasite garnets from Barbero & Villaseca (2000).

dedor y con concentraciones de P_2O_5 de hasta 0.05% en peso). En la muestra 70130 el granate que aparece disperso con otros minerales granoblásticos (plagioclasa, cuarzo, así como piroxenos) es más cálcico que el que ocurre en las coronas anfíbólicas alrededor de clinopiroxenos de tendencia megablástica (Fig. 3). De cualquier manera, todos los granates analizados en estos metagabros son distintos composicionalmente a los granates de alta presión de las metabasitas retro-eclogíticas analizadas por Barbero y Villaseca (2000), mucho más pobres en contenidos de piropo y espesartina (ver Fig. 3).

El anfíbol es un mineral claramente metamórfico en todos estos metagabros coroníticos. Varía en composición desde ferro-pargasitas en los metagabros de Revenga hasta magnesio-hornblenda en la muestra 70130 del sector de Pasapán. Los anfíboles de las bandas de Revenga son, además, más ricos en Ti, Al, Na, K (y más pobres en Mn) que los de Pasapán, que de hecho se proyectan en los mismos campos composicionales que los anfíboles secundarios de los metagabros de Revenga. Ninguno de estos anfíboles son tan aluminicos como los anfíboles de las metabasitas retro-eclogíticas (Barbero y Villaseca, 2000).

Reacciones minerales y estimación de las condiciones P-T

El metamorfismo hercínico provoca la re-acción de los piroxenos y la plagioclasa ígneos

produciendo la recrystalización de los mismos en variedades metamórficas junto a la aparición de nuevas fases, algunas de las cuales requiere una cierta hidratación del metagabro (biotita, anfíbol). La ausencia significativa de minerales de alta presión (clinopiroxenos ricos en Na, presencia generalizada de granate o anfíboles ricos en aluminio) es coherente con los datos temporales estimados por criterios de campo, de un emplazamiento posterior al máximo enterramiento de las series metamórficas pero en momentos de máxima incubación térmica, lo que provoca la completa granulitización del gabro toleítico.

La generación de los piroxenos metamórficos involucra la destrucción de los megacristales ígneos (Spear y Markussen, 1997). La ausencia de diferencias significativas en relaciones $Fe/(Fe+Mg)$ y de contenidos en Al entre los distintos tipos texturales de piroxenos de estos metagabros coroníticos es consecuencia del fuerte re-equilibrio sufrido en condiciones granulíticas que hace difícil estimar la composición original de la paragénesis ígnea gabroidea. El ocasional granate parece ligado tanto a las clásicas reacciones de piroxenos con plagioclasa, a veces hidratadas, para explicar la aparición conjunta de anfíbol (Hollocher, 1991), como a la intervención de fosfatos cálcicos (apatito), en su estabilización. Los anfíboles y biotitas (que requiere la participación de minerales titanados y el componente de feldespato potásico presente en la plagioclasa, Spear y Markussen, 1997) son reflejo de la hidratación sufrida por

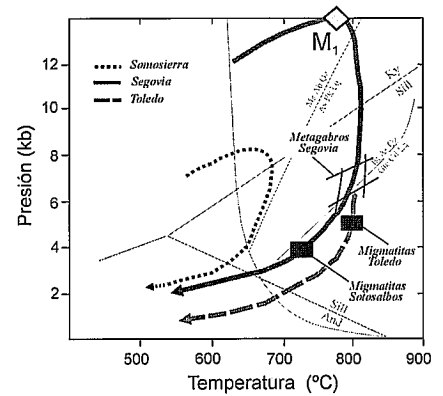


Fig. 4.- Diagrama P-T mostrando los resultados obtenidos con los cálculos termobarométricos de diferentes muestras de metagabros del sector de Segovia. La pauta general recoge datos de la etapa de alta presión (M_1) de Barbero y Villaseca (2000) y de la migmatización en Toledo y Sotosalbos (Segovia), recopiladas por Martín Romera et al. (2001). La pauta de Somosierra está tomada de Escuder et al. (1998).

Fig. 4.- P-T diagram showing the results of thermobarometry in different samples of Segovia metagabros. The broad P-T path summarize data from high pressure stage (M_1) (Barbero & Villaseca, 2000) towards migmatization events in Toledo and Sotosalbos areas, taken from Martín Romera et al. (2001). Somosierra's path is taken from Escuder et al. (1998).

los metagabros durante su granulitización y en etapas más retrogradadas.

Las estimaciones termobarométricas han sido realizadas a partir de minerales en equilibrio textural y se resumen en la Tabla 1. La falta de zonado significativo en piroxenos, plagioclasa y granate simplifican los cálculos realizados. La evaluación de contenidos en Fe^{3+} del clinopiroxeno, por balance de cargas, solo afecta a los cálculos termométricos con el par granate, rebajando los valores térmicos (ver Tabla 1). Se ha asumido todo el hierro como ferroso para estimar temperaturas máximas.

Las composiciones de ortopiroxeno y clinopiroxeno contiguos dan las mayores temperaturas de equilibrio de las calculadas, sin diferencias en cuanto al aspecto granulítico (coronas o granoblásticos) o meta-ígneo (megablastos) del cristal, pues las composiciones son equivalentes. Los valores según las calibraciones de Wood y Banno (1973) dan temperaturas máximas alrededor de 830 ± 30 °C, similar en todos los metagabros con dos piroxenos, valores siempre inferiores a las obtenidas por el método de Wells (1984). Se obtienen valores térmicos ligeramente inferiores cuando se involucra al anfíbol del metagabro. No obstante, hay valores próximos de temperatura con los cálculos termométricos basados en el contenido en Ti del anfíbol (Otten, 1984), salvo en la muestra 70130 que no

	Geotermómetros						Geobarómetros		
	2 piroxenos		Ti-anf	Hbl-Plg	Gte-Cpx	Gte-Opx	Gte-Hbl	Al-anf	Gte-Cpx Plg-Qtz
	W-B	W	Ott	BH				S	
96910	818 811	839 838	859 832 550 **	775-725 814-758				6.0 6.5 3.1 **	
96911	828 825 829 836	862 861 854 859	886	723-740				7.4	
77762	843 866 874	868 902 906	775 788	805-778				7.0	
74212			887 862	862-833	841-753 786-648*		803-708	8.4 8.0	5.7-7.3
70130	833	888	665 641		851-760 787-683*	764-665	526-595	3.8 2.4	5.7-5.9

W-B (Wood y Banno, 1973), W (Wells, 1984), Ott (Ott, 1984), BH (Blundy y Holland, 1990), S (Schmidt, 1992). El geotermómetro Gte-Cpx da un rango de valores según los cálculos de Ellis y Green (1979) y Ganguly (1979). El par Gte-Opx según Harley (1984) y Sen y Bhattacharya (1984). El par Gte-Hbl según Graham y Powell (1984) y Perchuk et al. (1985). El geobarómetro Gte-Cpx-Plg-Qtz da un rango de valores según se utilicen los cálculos de Perkins y Newton (1981) y Eckert et al. (1991).

* cálculos con Fe³⁺ estimado en el clinopiroxeno por balance de cargas.

** cálculos con anfíboles secundarios (retrogradados).

Tabla I.- Estimaciones P-T (kb-°C) en los metagabros coroníticos

Table I.- P-T estimates (kb-°C) on coronitic metagabbros

presenta anfíboles ricos en Ti (Tabla 1). El termómetro de intercambio hornblenda-plagioclasa (Blundy y Holland, 1990) arroja temperaturas algo menores, en el rango 725-850 °C (Tabla 1).

Los termómetros con granate y piroxenos arrojan también temperaturas algo inferiores a las de los dos piroxenos. Salen valores en el rango de 750-850 °C, siempre más bajos los cálculos estimados con ortopiroxeno por el método de Harley (1984), que arrojan temperaturas claramente inferiores a las de facies granulíticas, pues raramente llegan a 700 °C (Tabla 1). En esta misma muestra (70130), el termómetro granate-hornblenda da también temperaturas muy bajas (525-595 °C), en cierta coincidencia con el carácter retrogradado del anfíbol (bajo en Ti) de este metagabro.

Las estimaciones barométricas basadas en los anfíboles de alta temperatura (ricos en Al y Ti) son relativamente coincidentes con las obtenidas con el geobarómetro granate-clinopiroxeno-plagioclasa-cuarzo (Perkins y Newton, 1981), que dan valores en el rango de 6-7 kb (Tabla 1). El fuerte control del contenido en anortita de la plagioclasa en este geobarómetro hace que en el caso de la roca 74212 hayamos considerado las plagioclasas más cálcicas que aparecen como parches en los cristales granoblásticos y que suponemos en equilibrio con el accesorio granate de la muestra, que se nuclea alrededor de otro mineral muy rico en Ca (apatito). Los anfíboles de baja temperatura de la muestra 70130 dan también valores muy bajos de presión: 2.4-3.8 kb (Tabla 1).

Discusión

Las condiciones P-T máximas obtenidas en estas granulitas máficas serían de alrededor

de 830 °C y 7 kb aunque todo el conjunto de estimaciones de condiciones granulíticas conformarían un área que se cerraría hacia 775 °C y 5.7 kb (Fig. 4). Los valores mínimos obtenidos con los anfíboles pobres en Ti, Al y Na+K del metagabro de Pasapán (70130), de 525-650 °C y 2-3.8 kb serían condiciones metamórficas próximas a las evaluadas como valores medios del metamorfismo retrógrado (facies de esquistos verdes) del sector central de Guadarrama.

Las condiciones estimadas en este trabajo se entroncan bien en la pauta P-T general del metamorfismo hercínico del sector, que sería una pauta clásica obtenida en modelos de engrosamiento cortical (Fig. 4). La pauta del metamorfismo parece que evoluciona desde condiciones de máximo enterramiento (condiciones M₁), desde facies eclogíticas (estimadas alrededor de 775 °C y 14 kb, Barbero y Villaseca, 2000) hacia condiciones granulíticas de pico térmico, muy variables dependiendo de la litología. Así en los tipos más máficos, las granulitas con dos piroxenos (las aquí descritas y también los tipos retroeclogíticos previos, ver Barbero y Villaseca, 2000), la recristalización pudo ser a condiciones más profundas que la migmatización que ocurre en tipos cuarzofeldespáticos, relativamente más somera y menos extrema, como se deduce de las condiciones estimadas para las mismas de 725-750 °C y 4-5 kb (Martín Romera et al., 2001) (Fig. 4).

Agradecimientos

El estudio de estos metagabros se inició en la Tesis Doctoral del primer autor, dirigida por el profesor D. José María Fúster Casas, quien nos ayudó en la cartografía de estos afloramientos y en la discusión de sus

implicaciones petrogenéticas. Los objetivos de este trabajo se incluyen en los del proyecto subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (proyecto BTE2000-0575).

Referencias

- Barbero, L. y Villaseca, C. (2000): *Mineral. Magaz.* 64, 815-836.
- Blundy, J.D. y Holland, T.J.B. (1990): *Contrib. Mineral. Petrol.* 104, 208-224.
- Eckert, J.O.Jr., Newton, R.C. y Kleppa, O.J. (1991): *Amer. Mineral.* 65, 852-866.
- Ellis, D.J. y Green, D.H. (1979): *Contrib. Mineral. Petrol.* 71, 13-22.
- Escuder, J., Hernáiz, P.P., Valverde-Vaquero, P., Rodríguez, R. y Dunning, G. (1998): *Tectonophysics* 290, 87-109.
- Ganguly, J. (1979): *Geochim. Cosmoch. Acta* 43, 1021-1029.
- Graham, C.M. y Powell, R. (1984): *Jour. metam. Geol.* 2, 13-31.
- Harley, S.L. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.* 86, 359-373.
- Hollocher, K. (1991): *Amer. Mineral.* 76, 956-970.
- Martín Romera, C., Villaseca, C., López-García, J.A., Boiron, M.C. y Barbero, L. (2001): *XVI ECROFI Abstracts, Memória Fac. CC. Porto* 7, 287-289.
- Ott, M.T. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.* 86, 189-199.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E. y Birkett, T.C. (1975): *Earth Planet. Sci. Lett.* 24, 419-426.
- Perchuk, L.L., Aranovich, L.Y., Podleski, K.K., Lavrenteva, I.V., Gerasimov, V.Y.U., Fedkin, V.V., Kitsul, V.I., Karsakov, L.P. y Berdnikov, N.V. (1985): *Jour. metam. Geol.* 3, 265-310.
- Perkins, D.III. y Newton, R.C. (1981): *Nature* 292, 144-146.
- Schmidt, M.W. (1992): *Contrib. Mineral. Petrol.* 110, 304-310.
- Sen, S.K. y Bhattacharya, P.K. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.* 88, 64-71.
- Spear, F.S. y Markussen, J.C. (1997): *Jour. Petrol.*, 38, 757-783.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989): En Saunders, A.D. y Norry, M.J. (eds.), *Migmatism in ocean basins*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 42, 313-345.
- Valverde-Vaquero, P. y Dunning, G.R. (2000): *Jour. Geol. Soc. London* 157, 15-26.
- Villaseca, C. (1985): *Estud. Geol.* 41, 11-15.
- Villaseca, C., Barbero, L., Huertas, M.J., Andonaegui, P. y Bellido, F. (1993): *A cross-section through Hercynian granulites of Central Iberian Zone*. Serv. Publ. CSIC. 122 pp.
- Wells, P.R.A. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.* 62, 129-139.
- Wood, B.J. y Banno, S. (1973): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42, 109-124.