

# Condiciones metamórficas de las metabasitas del Roc de Frausa (Pirineos Orientales)

*Metamorphic conditions of the metabasites in the Roc de Frausa massif (Eastern Pyrenees)*

M. Navidad (\*), M. Liesa (\*\*) y J. Carreras (\*\*\*)

(\*) Dpto. Petrología y Geoquímica. Fac. CC. Geológicas. UCM. 28040 Madrid.

(\*\*) Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Univ. Barcelona. 08028 Barcelona.

(\*\*\*) Departament de Geologia. Univ. Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra

## ABSTRACT

An approach to the metamorphic conditions based in mineral paragenesis of metabasites from different areas of Roc de Frausa Massif has been made. Regional peak metamorphism is showed by the metamorphic paragenesis in granulites conditions from Les Illes sector (Cpx + Pl + Amph + Ilm); P-T conditions during Hercynian metamorphism are  $750 \pm 20^\circ\text{C}$  and  $4.5 \pm 0.5\text{ Kb}$  (18 -20 km) witch a geothermal gradient account between 39 -  $42^\circ\text{C/km}$ . A subsecuent retrograde metamorphism appear in low grade conditions  $3.5 \pm 0.5\text{ Kb}$  and  $480 \pm 20^\circ\text{C}$  (14-16 km) witch a geothermal gradient between 31-  $34^\circ\text{C/km}$ . This retrograde metamorphism is showed in the Montalba sector by Gr - Amph - Pl- Ilm paragenesis; their metamorphic conditions are  $510 \pm 20^\circ\text{C}$  and 4 Kb ( 16 Km ) witch a geothermal gradient between  $30 \pm 2^\circ\text{C/km}$ .

**Key words:** metabasites, amphiboles, garnets, thermobarometers, gradients.

Geogaceta, 20 (3) (1996), 621-624

ISSN: 0213683X

## Introducción

El Macizo del Roc de Frausa es un domo gneísico en el que aflora el basamento hercínico del Pirineo (Fig. 1). Está formado por metasedimentos azoicos atribuibles al Cámbrico (Laumonier, 1988) comparables con la Formación Canavelles y consta de una serie inferior detrítica que progresivamente se hace más carbonatada y amarfética hacia el techo (serie intermedia y superior). En ellos encajan anfibolitas, que en su ma-

yor parte corresponden a rocas ígneas prehercínicas, análogas a las del macizo del Canigó (Guitard, 1970). En esta serie metasedimentaria se intercalan dos cuerpos de ortogneises en diferente posición estructural (Autran y Guitard 1969; Geysant *et al.*, 1978; Liesa y Carreras, 1989).

Estos materiales están afectados por una tectónica polifásica hercínica y por un metamorfismo regional de baja presión que alcanza temperaturas de facies granulíticas al que se superpone localmente un metamorfismo de contacto alrede-

dor de las intrusiones de Ceret y La Junquera (Liesa, 1988).

En este trabajo, se presentan los resultados del estudio metamórfico de las metabasitas de los sectores: Les Illes, Montalba y Más Janer.

## Aspectos petrológicos y de afloramiento de las metabasitas.

**Metabasitas de Les Illes:** Constituyen sills bandeados de 1 a 2 metros de potencia asociadas a los metasedimentos de la serie superior (Fig. 1). Presentan una paragénesis metamórfica regional de grado alto formada por: plagioclasa ( $An_{36-40}$ ), clinopiroxeno (salita), anfíbol (Ho-Tch) e ilmenita y en muy poca proporción biotita desestabilizada a clorita. La biotita aparece como accesorio solo en determinados niveles y forma junto al anfíbol un agregado lepidonemetoblástico. Clinzoisita y esfena son secundarios.

**Metabasitas de Montalba:** Aparecen en la serie intermedia asociadas a niveles de esquistos cuarcíticos y a cuarcitas granatíferas. Presentan una esquistosidad muy penetrativa que es transpuesta por una esquistosidad posterior. Su textura está definida por porfiroblastos de plagioclasa y granate sincinemáticos con la esquistosidad principal formada por biotita y anfíbol lepidonemoblásticos. Presentan una paragénesis de grado

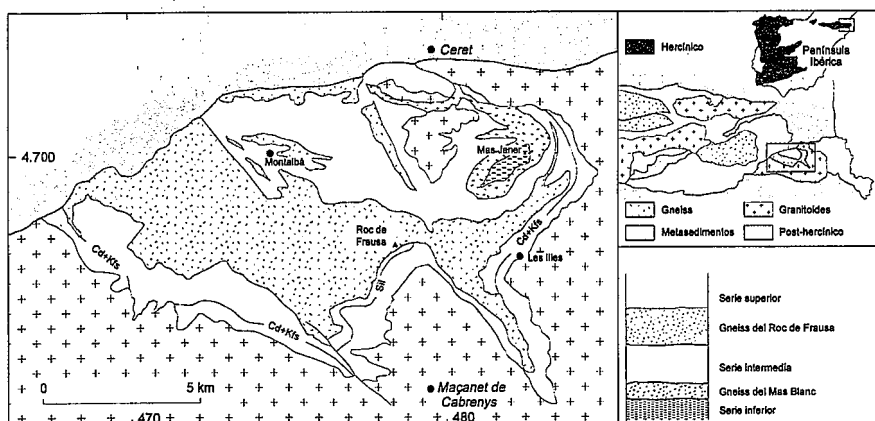


Fig.1.- Situación y Esquema geológico del Macizo del Roc de Frausa.

Fig. 1.- Geological sketch and location of the Roc de Frausa Massif.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
95384 Amph. ncl	37.74	13.77	0.81	10.34	3.26	18.25	0.45	10.59	1.36	0.96	97.51
Amph. bd	36.44	13.3	0.62	10.85	3.32	17.72	0.53	10.62	1.39	0.9	95.69
Pl. ncl	63.18	23.13	0	0.26	0.01	0.05	3.79	9.06	0.04	0.04	99.52
Pl. bd	61.41	24.72	0.01	0.15	0	0.03	5.41	8.04	0.05	0.05	99.82
Gr. ncl	37.33	21.11	0.19	0	0.46	22.71	7.32	10.06	0	0	99.18
Gr. bd	37.73	21.03	0.18	0	0.51	23.98	5.75	10.74			99.95
95378 Amph. ncl	44.7	10.83	0.95	6.18	12.54	7.66	0.38	11.88	0.85	0.28	96.25
Amph. bd	45.04	11.07	0.85	5.86	12.41	8.36	0.3	12.04	0.97	0.16	96.79
Pl. ncl	51.41	30.77	0.01	0.1	0.01	0	0.01	13.71	4.11	0.02	100.15
PL. bd	49.83	31.7	0.01	0.08	0	0	0.02	14.98	3.33	0.06	100.01
RF-3 Amph. ncl	42.41	11.89	1.81	1.97	8.65	15.47	0.25	11.52	1.95	0.17	96.09
Amph. bd	44.31	10.18	1.63	1.05	10.19	14.92	0.23	11.73	1.74	0.18	96.16
Pl. ncl	57.68	26.85	0.02	0.1	0	0	0.02	7.82	6.72	0.04	99.25
Pl. bd	62.47	23.52	0.01	0.14	0	0	0	4.3	8.84	0.02	99.3
Clpx.	52.93	0.46	0.04	0.27	11.02	10.57	0.28	23.94	0.18	0	99.69

Tabla 1.- Composición media de las fases minerales en las anfibolitas del Roc de Frausa.

Tabla 1.- Minerals average composition in the Roc de Frausa amphibolites.

medio formada por: plagioclasa (An<sub>17-24</sub>), anfíbol (Ferro-Tch), biotita (annita) férrica (Fe<sup>+2</sup>/Mg + Fe<sup>+2</sup>=0.8), granate zonado y rico en hierro (Alm<sub>50</sub>Sp<sub>17</sub>Gros<sub>30</sub>Py<sub>2</sub>) e ilmenita. El cuarzo es minoritario. Clinzoisita, sericita y cuarzo en gotas aparecen incluidos en la plagioclasa.

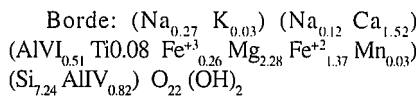
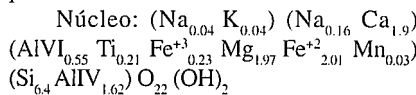
**Metabasitas de Más Janer:** Constituyen boudins intercalados entre los esquistos biotíticos de la serie inferior del mismo nombre (Geysant *et al.*, 1980). Son rocas granonematoblásticas de grano grueso muy recrystalizadas y con una paragénesis formada por: plagioclasa (An<sub>65-69</sub>), anfíbol (Ho-Tch), biotita rica en magnesio y próxima al polo flogopítico, magnetita e ilmenita reemplazada por esfena y cuarzo subordinado. Accidentalmente rutilo residual incluido en clorita (chamosita) secundaria. El anfíbol es de textura cribosa y con bordes simplectíticos con plagioclasa ácida.

**Química mineral**

**Anfíboles:** En la Tabla 1 figuran los promedios representativos de los análisis químicos de los anfíboles que forman las metabasitas del Roc de Frausa. Su fórmula se ha calculado según los métodos de Robinson *et al.*, (1983) y Droop (1987) para anfíboles cálcicos en base a 23 oxí-

genos y 13 cationes excluyendo el Ca, Na y K. La relación de Fe<sup>+3</sup>/Fe<sub>e</sub> es de 0.3 para todos los anfíboles procedentes de las metabasitas de Les Illes y Montalba siendo en estas últimas Na<sub>A</sub> > Na<sub>M4</sub>. Esta relación es algo más elevada en las metabasitas de Más Janer Fe<sup>+3</sup>/FeT= 0.3 -0.5.

**Anfíboles de Les Illes:** Formadas por anfíboles pleocroicos zonados de color verde pardo:



El grado de ocupación en la posición cristalográfica A es mayor en el borde que en el núcleo donde la proporción de sodio es muy baja; por el contrario el Na M4 y Al IV descienden hacia el borde de los cristales. Según la clasificación de Leake (1978) se trata de anfíboles cálcicos tchermackíticos que presentan un zonado de temperatura decreciente hacia el borde formado por magnesio-hornblenda y actinolita (Fig. 2).

**Anfíboles de Montalba:** Contienen anfí-

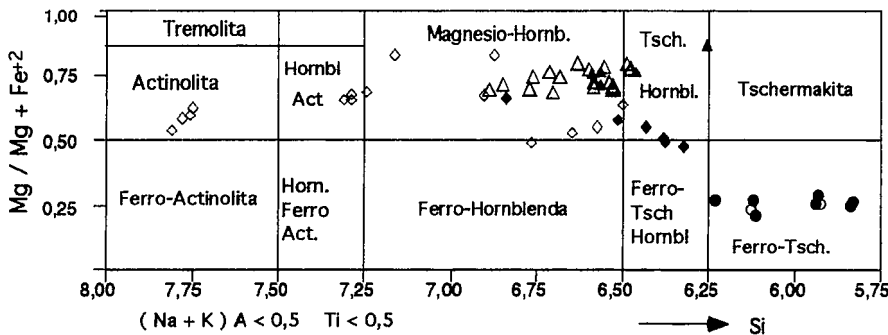
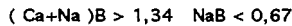
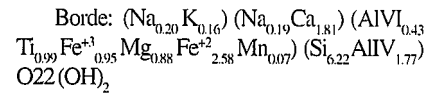
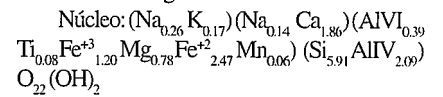


Fig. 2.- Clasificación de los anfíboles del Roc de Frausa según Leake (1978) Símbolos: Montalba (círculos); Les Illes (triángulos); Mas Janer (rombos).

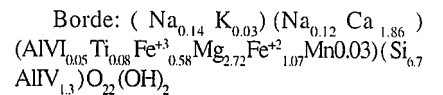
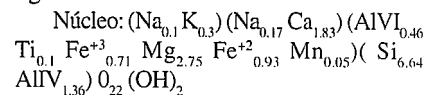
Fig. 2.- The Roc de Frausa amphiboles classification in the Leake (1978) diagram. Symbols: Montalba (dots); Les Illes (triangles); Mas Janer (diamonds).

boles prismáticos de color verde-azulado intenso y ligero pleocroismo a verde pardo. Su zonado composicional es poco apreciable y su fórmula estructural es la siguiente:



Destacan por su elevado contenido en hierro y aluminio que responde a la composición de la roca. Presentan un ligero aumento del AlVI y Na M4 hacia el borde de los cristales y fuerte incremento del Ti. Tanto el núcleo como el borde se clasifican como hornblendas ferro-tschermackitas (Fig. 2).

**Anfíboles de Más Janer:** Formadas por anfíboles metaestables con un ligero zonado de color verde claro. Su fórmula estructural es la siguiente:



Son análogos a los de las anfíboles de Les Illes pero con menor ocupación catiónica en posición A. Sin variaciones composicionales importantes y con un bajo contenido en Ti, se clasifican como tshermackitas hornblendicas con un borde de menor temperatura formado por magnesio-hornblenda.

Respecto a las sustituciones catiónicas y al grado de ocupación se deduce según Spear (1981) que la sustitución principal encontrada en todo el conjunto estudiado es la de tipo edenítico combinada con la titano-ferro-tschermackítica. Sustituciones de este tipo son las que predominan en condiciones de baja presión (Laird & Albee 1981).

Todos los anfíboles se proyectan respecto a los parámetros AlIV-A (Fig. 3 b) definiendo una recta de pendiente igual a uno que indica la sustitución edenítica en la posición A. La sustitución titano-ferro-tschermackítica se define por la correlación lineal que presentan frente a los parámetros AlIV - (A+2Ti+AlVI+Fe<sup>+3</sup>) (Fig.3 c) pero en éste caso con pendiente igual a dos que refleja una sustitución parcial. Este tipo de sustitución también queda reflejada respecto al AlIV - AlVI (Fig.3a) indicando de nuevo que la sustitución tchermackítica no es del todo independiente sobre todo en el caso de los anfíboles de Les Illes y Montalba. La correlación lineal que existe entre Al IV-Ti (Fig.3a) próxima a uno, confirma la sustitución titano-tschermackítica antes mencio-

nada principalmente en los anfíboles de Les Illes y Más Janer. No existe correlación entre Na (M4) frente a Ti ó Al IV lo que indica la ausencia de sustitución glaucofánica ó riebeckítica en éstos anfíboles que han recristalizado fuera del campo de la alta presión y en los que sólo aparece una baja sustitución de Fe+3 por Na (M4).

Respecto a los parámetros Na (M4), AlVI + Fe<sup>+3</sup> + Ti (sensibles a la presión) y AlIV (sensible a la temperatura) todos los anfíboles estudiados se proyectan en continuidad y en general se disponen paralelamente al campo de las presiones intermedias según las áreas definidas por los anfíboles de Dalradian ó Haast River (Fig. 4 a, b) y solapándose con el campo definido para las bajas presiones tipo Abukuma. Asimismo se observa, que los anfíboles de Montalba que presentan un contenido relativamente mayor en AlVI + Fe<sup>+3</sup> + Ti (Fig. 4 a, b) que el resto, no se diferencian respecto al Na (M4) por lo que es de suponer, que el desarrollo de granate almandínico exclusivamente en las litologías del sector de Montalba está principalmente controlado por el mayor contenido en hierro de la roca huésped y no por diferencias de la presión.

**Granate:** Forma porfidoblastos sin-cinemáticos con la esquistosidad principal y se nuclea sobre blastos de plagioclasa previos a ella (Pl (An<sub>17</sub>) + Ep + Cl = Gr + Bt). Su blástesis es por tanto sincrónica con dicha esquistosidad. Son granates zonados, ricos en almandino, con escaso contenido en pirope y cantidades subordinadas de grosularia y espesartina (Tabla 1). Presentan perfiles (Fig. 5) que indican un crecimiento continuo y progrado característico de zonas de grado bajo-medio. Su composición es la siguiente: Núcleo: (Alm<sub>30</sub> Sp<sub>17</sub> And<sub>20</sub> Gr<sub>10</sub> Py<sub>2</sub> U<sub>0.25</sub>). Borde: (Alm<sub>32</sub> Sp<sub>16</sub> And<sub>11</sub> Gr<sub>19</sub> Py<sub>2</sub>) su zonado se caracteriza por perfiles en campana para el manganeso y hierro con un descenso simétrico y marcado del primero hacia los bordes del cristal. El hierro y la relación Fe/Fe+Mg son asimétricos caracterizándose por un marcado aumento hacia los bordes seguido de un ligero descenso para volver a aumentar en uno sus bordes; ésta anomalía podría explicarse por la desaparición de una de las fases reactantes, probablemente clorita para intervenir de nuevo otra fase rica en hierro, epidota. Los perfiles para el magnesio y calcio son aplanados, con un ligero enriquecimiento de éste último hacia el borde probablemente también originado por la participación última de la epidota.

**Plagioclasa:** Varía composicionalmente en función del grado metamórfico. Así, en las anfíbolitas de Les Illes coexiste una plagioclasa relativamente cálcica (An<sub>36-40</sub>) con clinopiroxeno y anfíbol (Ho-Tch) dentro del grado alto; en las anfíbolitas de Montalba es una oligoclasa (An<sub>17-24</sub>) la que coexiste con biotita (Annita) y anfíbol

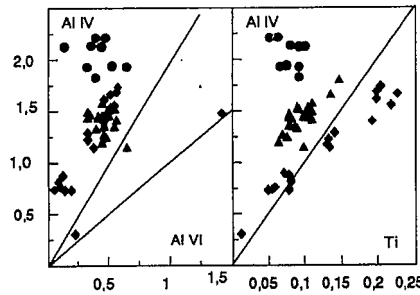


Fig 3a

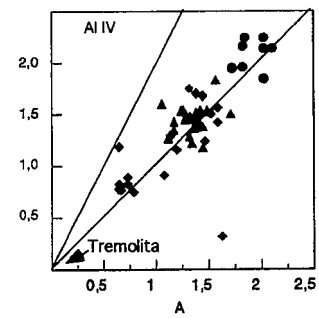


Fig 3b

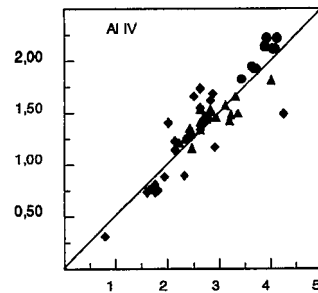


Fig 3c

Fig. 3.- Proyección de los anfíboles en diferentes diagramas de sustitución catiónica (a, b, c). Símbolos como en fig. 2.

Fig. 3.- Amphiboles plots in different cation substitution diagrams (a, b, c). Symbols as in Fig. 2.

(Ho-Ferro-Tch) en un nivel de grado medio (Bt- And). La plagioclasa más cálcica (An<sub>65-69</sub>) se encuentra, en las anfíbolitas de Más Janer, coexistiendo con biotita (Ann-Flgp) y anfíbol (Ho -Tch) en un nivel de grado alto (Bt-Sill). Solo en las plagioclasas procedentes de Les Illes se observa un zonado retrógrado evidente (An<sub>38-20</sub>).

**Condiciones Termobaricas**

En total se han analizado cinco muestras:

Sector de Les Illes RF-3 y 4., M<sub>1</sub>: Pl<sub>An36-40</sub> + Clpx (Salita) + Ho (Tch) + Ilm., M<sub>2</sub>: Pl<sub>An22-20</sub> + Ho (Act) + Ep + Sph

Sector de Mas Janer 95378., M<sub>1</sub> Pl<sub>An65-69</sub> + Ho (Tch) + Bt + Q + Ilm

Sector de Montalba 95380-84. M<sub>2</sub>: Pl<sub>An17-24</sub> + Ho (Fe-Tch) + Gr (Alm50) + Bt + Ilm

Los promedios de los análisis de las fases minerales utilizados en los cálculos termobarométricos figuran en la tabla 1. Los cálculos de las condiciones P-T para el metamorfismo M1 se han realizado a partir de las paragénesis minerales de mayor temperatura en las metabasitas de Les Illes y Más Janer, mientras que los cálculos del M2 se han realizado a partir de los bordes de los minerales con zonado retrógrado (Les Illes) y de las paragénesis con granate del sector de Montalba.

Para ello, se han seguido los métodos de cálculo convencionales a partir de las calibraciones aportadas por los autores clásicos en el tema (Ellis, 1980; Kohn & Spear 1989; Jhonson & Rutherford, 1989; Graham & Powell 1984; Spear, 1980; Fershtatter 1991 y Blundy & Holland 1990). Las temperaturas y presiones medias obtenidas mediante los diferentes termómetros y ba-

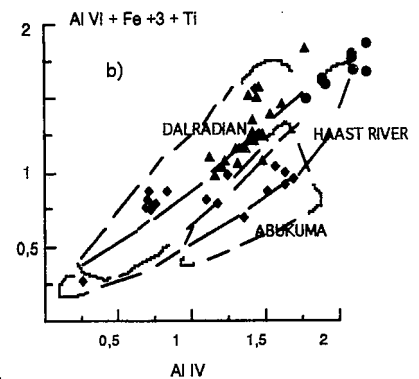
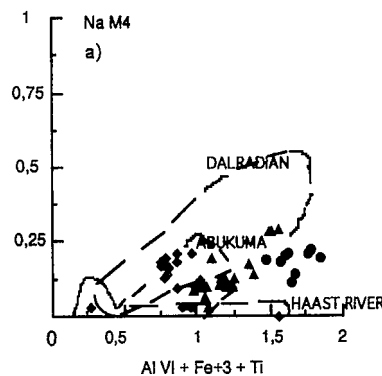


Fig 4

Fig. 4.- Proyección de los anfíboles del Roc de Frausa en diferentes áreas metamórficas según Laird & Albee (1985). Leyenda como en la figura anterior

Fig. 4.- The Roc the Frausa amphiboles plots in different metamorphic areas from Laird & Albee (1985). Symbols as in Fig. 2.

		Al-Amph	Amph-Pl	Clpx-Pl-Q		
LES ILLES	M1	4.5 - 5.5 Kb	750 ± 20 °C	5-5.5 Kb		
RF-3 y 4	M2	3.5 - 4 Kb	480 ± 20 °C			
MAS JANER	M1	4.5 Kb	725 ± 50 °C			
95378						
				Gr-Amph	Gr-Amph-Pl-Q	
MONTALBA	M2	4 Kb	510 ± 20 °C	560 ± 20 °C	4 - 4,5 Kb	
95380 Y 84						

Tabla 2

rómetros utilizados figuran a continuación: Tabla 2

La temperatura alcanzada durante el pico metamórfico (M1) a partir de la paragénesis Clpx- + Pl + Amph + Q sería 750 ± 20 °C para una profundidad entre 18 y 20 Km (4.5 ± 0.5 Kb) que corresponde a un gradiente metamórfico entre 39 y 42 °C/Km. Posteriormente durante el episodio retrógrado (M2) la temperatura desciende a 480 ± 20 °C para una profundidad aproximada entre 14 y 16 Km que corresponde a un gradiente menor 31-34 °C/Km. En el sector de Montalba la paragénesis Gr + Amph + Pl + Q corresponde probablemente al episodio de menor temperatura (M2) con temperaturas alrededor de 510 ± 20 °C para profundidades de 16 Km (4Kb) y un gradiente metamórfico 30 ± 2 °C / Km análogo al encontrado en el sector de Les Illes para el episodio retrógrado.

Liesa & Carreras (1989) definen mediante termobarometría en este macizo unas condiciones metamórficas regionales de 3.1 Kb y 660 °C a partir de paragénesis metapelíticas de carácter granulítico (cordierita + feldespato potásico) y un gradiente metamórfico próximo a 57 °C/Km, más elevado que el aquí propuesto pero inferior al señalado anteriormente por Estevez (1973) cercano a 62 °C/Km. Recientemente Gibson & Bickle (1994) señalan en el vecino macizo del Canigó para metapelitas de alto grado, un gradiente geotérmico de 45-50 °C/Km y unas condiciones metamórficas de 725 ± 25 °C y 4.5 ± 0.5 Kb muy similares a las estimadas por nosotros en paragénesis metabasíticas.

**Evolucion tectonotermal y Conclusiones**

Las características metamórficas del Macizo del Roc de Frausa deducidas a partir de paragénesis minerales en metabasitas, permiten proponer para el mismo, una evolución termobárica dentro del campo de las bajas presiones muy próxima al punto triple con dos episodios consecutivos que se diferencian esencialmente por el descenso de

la temperatura. El episodio M1 se desarrolla dentro de un campo de presión muy reducido entre 4 y 5 Kb con un pico metamórfico en condiciones granulíticas 750 ± 20 °C y un gradiente geotérmico próximo a 42 °C / Km. El episodio M2 retrógrado corresponde a una etapa esencialmente de enfriamiento; se acompaña de un ligero descenso de la presión 4 Kb y desarrollo de accidentes extensionales con blastesis de granate en grado bajo medio 510 ± 20 °C y gradientes geotérmicos de 30 bajo-medio ± 2 °C / Km.

**Agradecimientos**

Agradecemos al Dr. J. Tánago el trabajo realizado para la puesta a punto de la Microsonda Electrónica del Centro de Análisis de la UCM, su aportación ha permitido la realización del presente trabajo. Este trabajo se encuadra en los objetivos del Proyecto CICYT PB-910477.

**Referencias**

Autran, A et Guitard, G. (1969): *C.R. Acad. Sci. Paris*, 269. Srie D: 2497- 2499  
 Blundy, J.D. and Holland, T.J.B. (1990): *Contrib. to Miner. and Petrol*, 104: 208-224  
 Droop, G.T.R. (1987): *Miner. Mag.* 51:431-435  
 Estevez, (1973): *Tesis. Doct. Univ. Granada*. Publ. Univ. Granada, 514 pgs  
 Ellis, D.J. (1980): *Contr. to Miner and Petrol*, 74: 201- 210  
 Fershtater, G.B. (1991): *Geochemistry International*, 27: 27-27  
 Geyssant, J.; Guitard, G et Laumonier, B. (1980): *C. R. Acad. Sci. Paris*. Srie D: 1103-1106  
 Gibson, R. L. and Bickle, M. J. (1994): *Journ. of the Geol. Soc. of London*. 151: 987-997  
 Graham, C. M. and Powell, R. (1984): *Jo-*

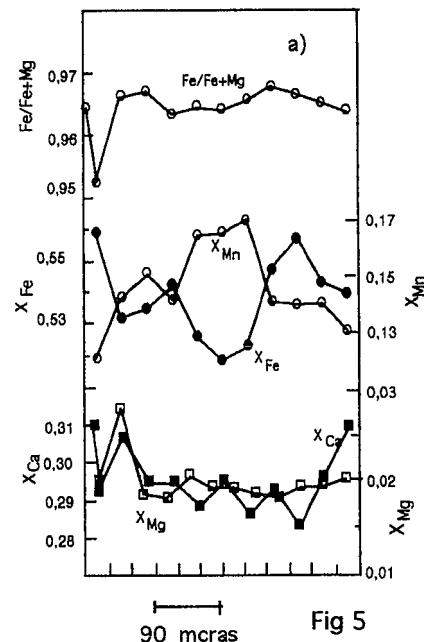


Fig. 5.- Perfiles composicionales de los Granates de las anfibolitas del sector de Montalba.

Fig. 5.- Profiles of the garnet compositions of the amphibolites from Montalba área.

*urn. of Metamorphic Geology*, 2: 13 - 31  
 Guitard, G. (1970): *Mem. B.R.G.M.* 63. 317 pp  
 Jhonson, M.C. and Rutherford, M.J. (1988): *Geology*, 17: 837- 841  
 Kohn, M.J and Spear, F.S. (1989): *Amer. Miner.* 74: 77- 84  
 Laird, I and Albee, (1981): *Amer. Journ. of Sc.* 281: 127-175  
 Laumonier, B. (1988): *Abstr. from the Symp. on the Geol. of the Pyrenees and Betics*. Barcelona: 51-52  
 Leake, B.E. (1978): *Amer. Miner.*, 63:1025-1052  
 Liesa, M. (1988): *Tesis. Doct. Univ. Barcelona*. 233 pgs  
 Liesa, M y Carreras, J. (1989): *Geodinamica Acta*. 3, 2: 149-161  
 Robinson, P.; Spear, F.S.; Schumacher, J.C.; Laird, J.; Klein, C.; Evans, B.W y Doolan, B.L (1983): *Miner. Soc. Amer. Rev. in Miner.* 9B: 1-227  
 Spear, F.S. (1981): *Amer. Journ. of Sc.* 281: 697- 734  
 Spear, F. S. (1980): *Contrib. to Miner. and Petrol.*, 72: 33- 41