

Cambios metasomáticos y evolución metamórfica de las anfibolitas de Finisterre (NW España)

por José Ignacio GIL IBARGUCHI

Dpto. de Petrología, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona) España.

RESUMEN

Las anfibolitas de la región de Finisterre (NW España) pueden ser: i) con piroxeno, ii) con granate - piroxeno, iii) con biotita, iv) con anfíbol solamente. Los análisis químicos de roca total sugieren un origen orto-derivado para algunas de estas rocas. En el contacto con los granitos anatéticos las anfibolitas con piroxeno muestran una serie de cambios mineralógicos y texturales que indican la existencia de un metasomatismo a pequeña escala con aporte de K y H₂O desde los granitos a las anfibolitas. La presencia de minerales relictos, piroxenos o anfíboles pardos, e. g., sugiere varios episodios de recristalización. La evolución de la composición química de los anfíboles indica una recristalización inicial en condiciones de la facies de las granulitas o de las anfibolitas de alto grado y por último en condiciones de la facies de las anfibolitas con epidota o incluso de los esquistos verdes. La correlación de estos episodios de recristalización con la evolución metamórfica de las metapelitas y ortogneises de la misma zona presenta diversos problemas ya que en las anfibolitas no se observa un cambio en el gradiente de P-T con el tiempo tal como se observa en las demás rocas. Se consideran dos hipótesis: a) las paragénesis con hornblenda ferroan-pargasítica son paragénesis relictas del primer episodio metamórfico, M₁, b) corresponden al climax metamórfico que tiene lugar durante M₂. En cualquier caso sólo es observable una evolución metamórfica continua retrógrada en condiciones aparentemente de un metamorfismo de P intermedia.

SUMMARY

The amphibolites from the Finisterre region (NW Spain) may be: i) with pyroxene, ii) with garnet - pyroxene, iii) with biotite, iv) with amphibole only. The bulk rock chemistry suggests an igneous origin for the protoliths of some of these amphibolites. A series of mineralogical and textural changes has been observed at the contact of the pyroxene-bearing amphibolites with the anatectic granites which suggest the existence of some kind of metasomatism with an apport of K and H₂O from the granites towards the amphibolites. The presence of armoured relict minerals such as pyroxene or brown amphibolite indicates several episodes of recrystallization. The evolution of the chemical composition of the amphibolites indicates a first episode of recrystallization under granulite or high grade amphibolite facies conditions and finally under epidote amphibolite or even greenschist facies conditions. The correlation of those episodes with the metamorphic evolution observed in metapelites and orthogneisses from the same area is not evident since no change of the P-T gradient with time has been observed in the amphibolites. Two hypotheses have been considered: a) the ferroan-pargasitic hornblende-bearing parageneses represent

the remnants of the first metamorphic episode, M₁, b) the same parageneses would correspond to the peak of the metamorphism during M₂. In either case only a continuous retrograde metamorphic evolution, under an intermediate P type of metamorphism, has been observed.

INTRODUCCION

Los materiales cristalinos de la región de Finisterre (Galicia Occidental, NW España) están constituidos principalmente por metasedimentos y augen (orto) -gneises, granitos de dos micas y granodioritas y algunas intrusiones menores de microgranitos. Durante la Orogénesis Hercínica, esta región fue afectada por un metamorfismo regional plurifacial, acompañado de una intensa deformación, que dio lugar en la zona de la sillimanita - feldespato potásico a la formación de una gran cantidad de movilizados y granitos anatéticos (Gil Ibarguchi, 1979). La edad hercínica de estos acontecimientos viene indicada por la presencia de granitos de dos micas sin-cinemáticos relacionados con el metamorfismo datados entre 311 Ma y 359 Ma (Priem et al., 1970, van Calsteren, 1977).

Las rocas básicas transformadas en anfibolitas aparecen como xenolitos de 1 a 10 metros de potencia en el seno de los granitoides anatéticos. En ocasiones estas metabasitas presentan una foliación bien desarrollada definida por la alineación de piroxenos, anfíboles o minerales accesorios tales como la esféna. Esta foliación, plegada a menudo en pliegues isoclinales centimétricos (F₂?), aparece cortada claramente por los granitos. Los diferentes tipos de anfibolitas pueden clasificarse según los contenidos relativos en minerales constituyentes en: i) anfibolitas con piroxeno, ii) anfibolitas con granate - piroxeno, iii) anfibolitas con biotita, iv) anfibolitas con anfíbol solamente.

Las características texturales no permiten determinar de forma precisa el origen de las anfibolitas debido a la intensa recristalización que hizo desaparecer los rasgos texturales primarios. Solamente en dos afloramientos de anfibolitas tipo iv se han preservado texturas ofíticas que permiten inferir un origen ígneo a partir de los datos micro-

TABLA I

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS ANFIBOLITAS

muestra	A218	ESR	ESL	A67	ANFWD
SiO ₂	45.81	46.19	43.82	43.29	43.96
Al ₂ O ₃	15.57	15.33	16.33	15.60	12.90
Fe ₂ O ₃	3.49	2.53	7.66	3.38	4.15
FeO	9.22	7.008	5.71	9.98	11.32
MnO	0.15	0.08	0.16	0.20	0.27
MgO	7.04	5.66	5.85	4.05	8.99
CaO	10.24	16.30	8.92	15.41	12.10
Na ₂ O	2.49	1.35	3.15	1.46	0.68
K ₂ O	0.89	0.07	0.64	0.94	0.55
P ₂ O ₅	0.16	0.20	1.27	0.04	0.24
TiO ₂	1.75	0.94	2.67	2.79	1.75
H ₂ O ⁺	2.02	2.91	2.53	1.42	1.69
H ₂ O ⁻	0.28	0.24	0.26	0.29	
TOTAL	99.11	98.88	98.97	98.85	98.60

A218, ESL, ANFWD: anfibolitas con anfíbol solamente
 ESR, A67: anfibolitas con piroxeno

estructurales. La alineación de la composición química de este tipo de anfibolitas (TABLA I) a lo largo de la "tendencia ígnea" del diagrama c-mg de Leake (1964) apoya el origen propuesto. Los dos análisis disponibles de anfibolitas con piroxeno (TABLA I) se sitúan lejos de la "tendencia ígnea", no obstante se trata de rocas ricas en bandas piroxénicas distribuidas de forma heterogénea, lo que ha podido dar lugar a un enriquecimiento en CaO del resultado (cf. composición salítica rica en Ca del piroxeno, TABLA II).

Aunque, teniendo en cuenta la posición de sus composiciones químicas en el diagrama con alto grado de discriminación $Ca + Mg/Al + Fe + Ti$ (fig. 2) de Moine & De la Roche (1968), es posible deducir un origen ígneo para todas las anfibolitas analizadas, debido al escaso número de análisis de roca total de que se dispone, así como la posibilidad de la existencia de fenómenos de metasomatismo en el transcurso de su evolución metamórfica (cf. más adelante), no se ha proseguido al estudio de su quimismo a fin de determinar el tipo de basalto originario y su significado geotectónico.

En este trabajo se estudian los cambios en la composición química de los minerales en el transcurso de la recristalización metamórfica. Algunos de estos cambios parecen estar estrechamente relacionados con fenómenos metasomáticos que afectarían las partes externas de las anfibolitas, mientras que otros cambios reflejarían variaciones de P-T durante el metamorfismo. Por último se compara la evolución metamórfica de las metabasitas con la de los metasedimentos y ortogneises de la misma zona.

ANFIBOLITAS CON PIROXENO

Petrografía

En el afloramiento más importante, situado cerca del Cabo de la Buitra (muestras A67, A1, A200B), es posible distinguir dos partes diferentes en estas rocas: una parte interna que constituye la masa principal del cuerpo anfibolítico (más de 10 metros de espesor) y una parte externa o zona reaccional (10 a 20 centímetros de espesor) en el contacto anfibolita - granito. La parte interna está formada por cuarzo, plagioclasa, clinopiroxeno, anfíbol, esfena y epidota. El piroxeno forma pequeños cristales incoloros subidiomorfos, mientras que el anfíbol (Anf I) aparece como cristales verde oliva a verde azulado a menudo poiquiloblásticos incluyendo cuarzo, plagioclasa, esfena y en ocasiones piroxeno. En la zona reaccional, próxima al contacto con el granito, el piroxeno recristaliza formando grandes cristales (centimétricos), además aparecen dos nuevos minerales, granate y biotita y dos nuevos tipos de

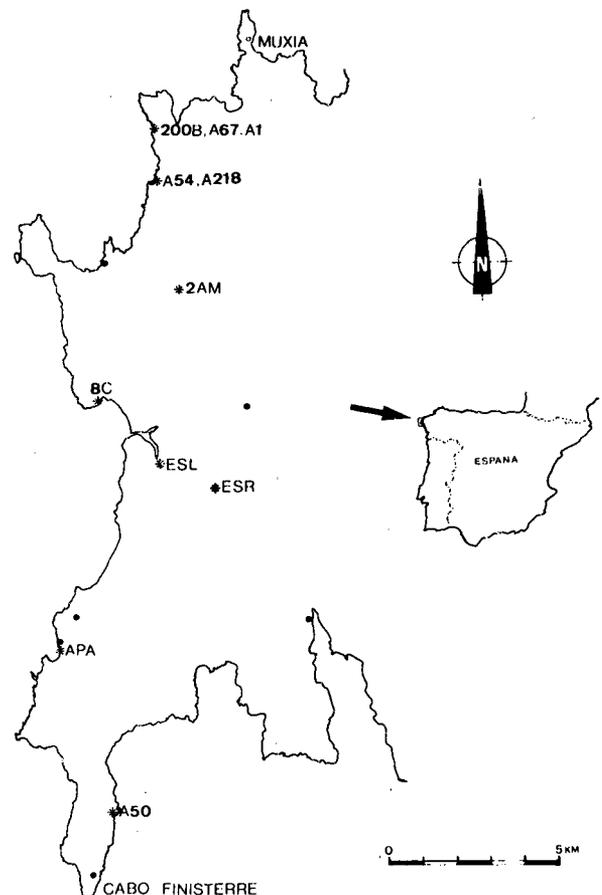


Fig. 1 -- Situación de los afloramientos de anfibolitas en la región de Finisterre (NW España). * : afloramientos estudiados, ● : otros afloramientos. (cf. Gil Ibarra, 1979 para el mapa geológico detallado).

TABLA II

ANÁLISIS REPRESENTATIVOS DE PIROXENOS, BIOTITAS, GRANATES Y EPIDOTAS

muestra	200B1	200B2	A67	A1C	A1B	2AM	200BG	200BM	A1BT	8CB	200BGC	200BGB	2AMG	APA
Na ₂ O	0.44	0.48	0.56	0.60	0.58	0.39	0.20	0.28	0.36	0.31	-	-	-	0.38
MgO	7.87	8.11	8.59	8.55	8.69	7.78	0.22	0.18	8.84	9.01	0.78	0.70	0.79	10.38
Al ₂ O ₃	0.38	0.53	0.66	0.88	0.85	0.52	28.08	30.63	16.83	16.39	22.15	21.90	21.49	1.51
SiO ₂	50.10	49.90	49.53	49.24	48.99	50.18	37.38	37.74	34.85	34.99	37.36	36.83	37.20	51.88
K ₂ O	0.06	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	9.20	9.08	-	-	-	-
CaO	25.22	24.83	24.12	24.06	24.40	22.60	23.39	24.26	0.31	0.43	16.14	14.68	13.84	25.65
TiO ₂	0.18	0.22	0.18	0.27	0.19	0.21	0.39	0.18	2.16	2.08	0.37	0.27	0.23	0.35
MnO	1.02	0.92	0.72	0.76	0.76	1.86	0.46	0.35	0.56	0.27	5.34	6.11	7.13	0.66
FeO _t	15.42	15.02	15.74	15.28	14.63	16.65	7.38	5.17	22.25	22.30	17.31	19.03	19.53	8.61
TOTAL	100.69	100.07	100.18	99.70	99.17	100.27	97.98	98.93	95.36	94.85	99.45	99.52	100.21	99.42

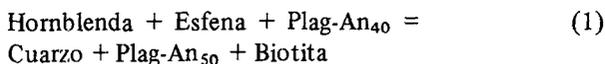
Fórmulas estructurales, piroxenos (O:6), biotitas (O:22), granates (O:12), epidotas (O:12)

Si	1.950	1.948	1.936	1.931	1.929	1.963	2.869	2.810	5.417	5.462	2.951	2.933	2.953	1.970
Al ^{IV}	0.018	0.025	0.030	0.041	0.039	0.024	0.131	0.190	2.583	2.538	0.049	0.067	0.747	0.030
Al ^{VI}	-	-	-	-	-	-	2.383	2.498	0.501	0.477	2.013	1.989	1.964	0.038
Ti	0.005	0.007	0.005	0.008	0.006	0.006	0.022	0.010	0.253	0.244	0.022	0.016	0.013	0.009
Fe _t	0.502	0.490	0.514	0.501	0.486	0.545	0.469	0.322	2.889	2.911	1.143	1.268	1.296	0.274
Mg	0.457	0.472	0.501	0.500	0.510	0.454	0.025	0.020	2.061	2.096	0.092	0.083	0.094	0.587
Mn	0.033	0.030	0.024	0.025	0.025	0.062	0.029	0.022	0.074	0.036	0.357	0.412	0.479	0.021
Ca	1.052	1.038	1.010	1.011	1.030	0.948	1.903	1.936	0.052	0.072	1.366	1.253	1.176	1.043
K	0.002	0.003	0.004	0.003	0.006	0.004	0.007	0.007	1.825	1.808	-	-	-	-
Na	0.033	0.037	0.043	0.046	0.045	0.030	0.030	0.041	0.108	0.093	-	-	-	0.027

TABLA II:

200B1: piroxeno relicto en granate, anfíbolitas con piroxeno, zona reaccional en el contacto anfíbolita - granito; 200B2, A67, APA: piroxenos de la matriz, anfíbolitas con piroxeno; A1C, A1B: centro y bordes respectivamente de piroxenos, anfíbolitas con piroxeno, zona reaccional en el contacto anfíbolita - granito; 2AM: piroxeno, anfíbolitas con granate y piroxeno; 200BG, 200BM: epidotas en la zona reaccional y en la matriz respectivamente, anfíbolitas con piroxeno; A1BT, 8CB; biotitas, anfíbolitas con piroxeno (zona reaccional) y con biotita respectivamente; 200BGB: núcleo y bordes respectivamente de granate, anfíbolitas con piroxeno, zona reaccional en el contacto anfíbolita - granito; 2AMG: granate, anfíbolitas con granate y piroxeno.

anfíbol, Anf II y Anf III. El Anf II es un anfíbol verde oscuro formado esencialmente a partir de cristales de piroxeno (fig. 3), el Anf III es un anfíbol fibroso verde pálido a incoloro que se forma a partir del Anf I y a veces a partir del piroxeno. La esfena puede concentrarse en la zona reaccional formando capas monominerálicas de varios milímetros de espesor. Un rasgo característico de la zona reaccional es la existencia de venas de tipo "movilizado" formadas por cuarzo, plagioclasa y algo de anfíbol o biotita; a menudo estas venas están rodeadas por una zona rica en anfíbol y/o esfena. La plagioclasa de las venas es generalmente más rica en An que la plagioclasa de la matriz anfíbolítica, lo que implicaría una reacción del tipo



La participación de la esfena en esta reacción no es absolutamente necesaria dado que la formación, probablemente contemporánea, del Anf II y Anf III puede aportar algo de titanio. Localmente esta movilización pudo dar lugar a un aumento de la plasticidad de la roca lo que explicaría la presencia de estructuras en "boudin" en la zona reaccional de las anfíbolitas. Aunque la biotita puede aparecer fuera de los movilizados granodioríticos, siempre se encuentra en las proximidades del contacto anfíbolita-granito.

Análisis de las paragénesis

Los cambios mineralógicos que tienen lugar en la zona reaccional sugieren una migración de K y probablemente

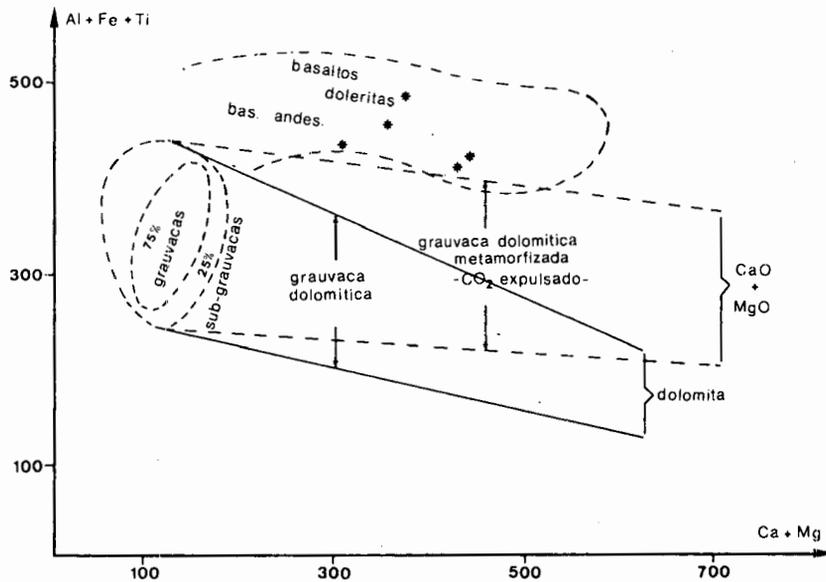


Fig. 2 - Discriminación entre grauvacas o grauvacas carbonatadas y rocas ígneas básicas. * : anfibolitas estudiadas. (Diagrama de Moine & De La Roche, 1968).

H₂O desde el granito hacia la anfibolita. En efecto, para una composición química de roca total dada, tal como la de estas anfibolitas, en un sistema ACF (fig. 4) la asociación plagioclasa-piroxeno - anfíbol de las anfibolitas no es compatible con la asociación plagioclasa - biotita - moscovita presente en el granito. Al ponerse en contacto ambas rocas puede ocurrir: a) que cada una se comporta con un sistema cerrado y solamente habría reacción a lo largo de la superficie que separa las dos rocas, o b) que reaccionan comportándose como sistemas abiertos y en este caso la acción de una fase fluida intergranular permitiría un intercambio de materiales con existencia de una serie de reacciones entre fases incompatibles dentro de un volumen más o menos importante de la roca. (Orville, 1969).

El segundo modelo permite explicar mejor el proceso observado dado que el volumen de roca afectado parece bastante considerable (10 a 20 centímetros) y asimismo la formación de algunos minerales, especialmente biotita, implica un aporte de ciertos elementos (K fundamentalmente).

La fig. 5 representa la serie de asociaciones observadas así como las posibles reacciones en el contacto anfibolita-granito. En primer lugar se formarían los núcleos de los granates, Gt I, y el Anf II a partir del piroxeno, Anf I y epidota. Este último mineral aparece relicto en granate mostrando una composición diferente de la que presenta cuando se encuentra en la matriz anfibolítica. Posteriormente tendría lugar la formación del Gt II (parte externa de los granates) y del Anf III. Las reacciones de formación de la biotita pudieron ser del tipo (1) con Anf II o Anf III

eventualmente en vez de hornblenda, en cuyo caso cabría suponer que tuvo lugar un proceso relativamente largo de aporte de K del granito hacia la anfibolita. Las sucesivas paragénesis representadas son por lo tanto: plagioclasa - clinopiroxeno - anfíbol I (anfibolita), plagioclasa - granate I - anfíbol II, plagioclasa - granate II - anfíbol III, plagioclasa - anfíbol III - biotita (zona reaccional), plagioclasa - biotita - moscovita (granito). Se puede observar que existe un paso gradual desde paragénesis ricas en Ca hacia paragénesis ricas en Fe (Mg).

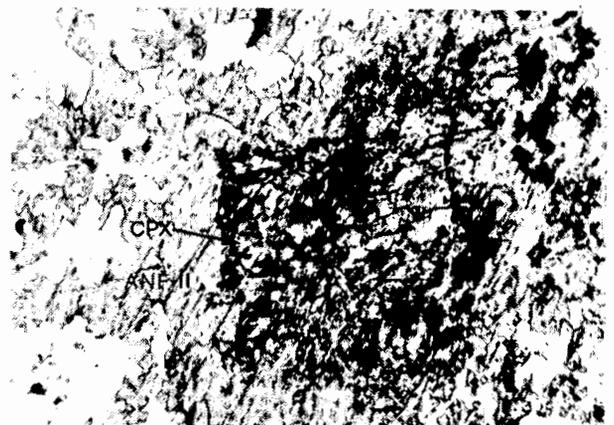


Fig. 3 - Clinopiroxeno relicto en un Anf II. Anfibolitas con piroxeno cerca del contacto con el granito (muestra A200B).

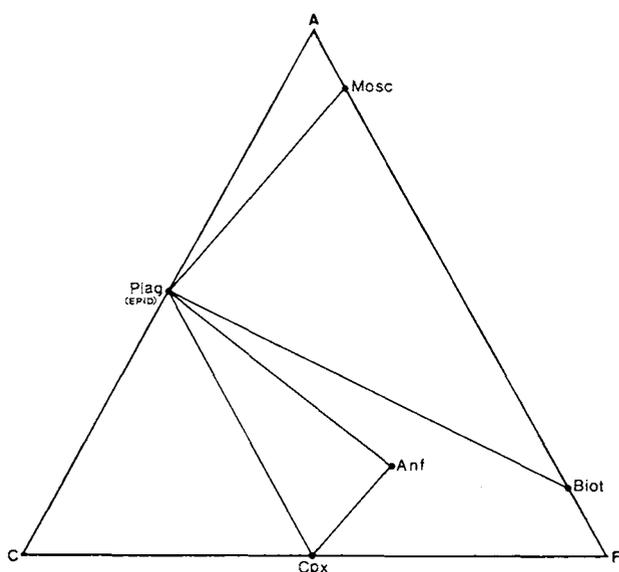


Fig. 4 - Paragénesis de las anfibolitas y del granito en el sistema ACF.

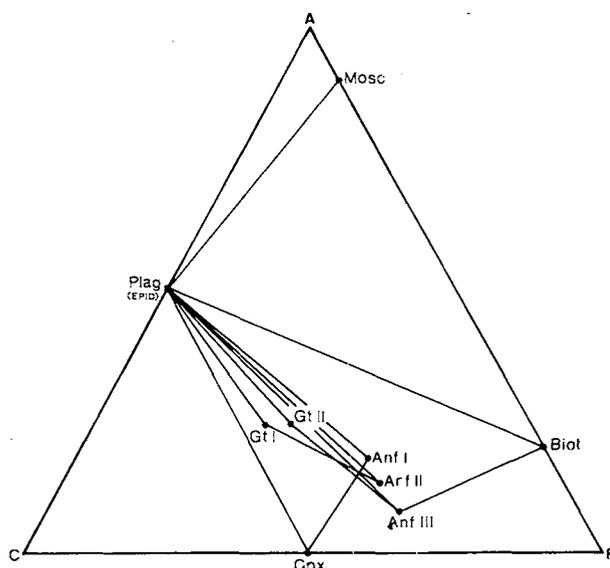


Fig. 5 - Paragénesis de la zona reaccional en el contacto anfibolita - granito representadas en el sistema ACF.

Composición química de los minerales

Piroxenos: Los piroxenos de estas rocas son salitas a ferrosalitas (TABLA II). En los grandes cristales poiquiloblásticos de la zona reaccional el contenido en Fe disminuye hacia los bordes. Análogamente los piroxenos relictos en granate son más ricos en Mg que los pequeños piroxenos de la matriz. Estos cambios indican una disminución de las condiciones P-T durante la recristalización de estos minerales en la zona reaccional con formación del granate ya que la solubilidad de Fe+Mg en la solución diópsido - hedenbergita, i. e. la relación Fe+Mg/Ca, aumenta con el grado de metamorfismo (Bard, 1969; Binns, 1969) y en este caso dicha relación pasa de 0.975 para los centros de los piroxenos poiquiloblásticos y pequeños piroxenos de la matriz a 0.939 para los bordes de los piroxenos poiquiloblásticos y piroxenos relictos en granate.

Granates: Los granates aparecen como grandes cristales hipidiomórficos (1 a 2 centímetros) mostrando a veces bordes simplectíticos de anfíbol y plagioclasa. El contenido en Mn y Fe aumenta hacia los bordes, disminuyendo el de Ca y Mg (150 a 200 micras más próximas al borde). Las composiciones medias son (TABLA II): $Pir_{3.11} Alm_{38.64} Espes_{12.06} Gros_{46.17}$ (centros) y $Pir_{2.75} Alm_{42.04} Espes_{13.66} Gros_{41.54}$ (a 50 micras del borde). La zonación podría ser considerada retrógrada en el caso del Mg y del Mn y prógrada en el caso del Fe y del Ca (Atherton, 1968; Grant & Weiblen, 1971); en todo caso los bordes simplectíticos son un claro indicio del carácter reaccional de este mineral.

Epidotas: En la parte central del cuerpo anfibolítico los cristales alotriomorfos de epidota presentan una relación Fe+Mg/Ca de 0.18 (TABLA II), mientras que los

cristales hipidiomórficos de la zona reaccional o los que aparecen relictos en granate presentan una relación Fe+Mg/Ca de 0.26. La diferencia es debida principalmente al aumento del contenido en Fe. Dado que el hierro en este mineral se encuentra generalmente en forma de hierro férrico (Deer et al., 1966), las reacciones de formación de las nuevas epidotas deben implicar probablemente un aporte de hierro y un aumento de las condiciones de oxidación. Estos cambios pueden interpretarse como una reequilibración en condiciones retrógradas (Miyashiro, 1973, p. 249).

Anfíboles: Teniendo en cuenta los contenidos en Mg-Fe-Si (TABLA III) los anfíboles pueden clasificarse (cf. Leake, 1978) en: *hornblenda ferroan-pargasítica*, más raramente *ferroan-pargasita*, (Anf I), *hornblenda ferro-edénítica* (Anf. II) y *ferro-actinolita* a *hornblenda ferro-actinolítica* (Anf III). La relación Fe/Fe+Mg disminuye de los Anf I a los Anf III. Una recristalización bajo condiciones de aumento de la oxidación podría explicar este hecho, ya que si una parte del Fe^{2+} de los anfíboles pasa al estado de Fe^{3+} , éste podría ser fijado por otras fases tales como la epidota o los opacos (titanomagnetita), lo que permitiría un aumento del contenido en Mg de los anfíboles.

En los diagramas Al^{IV}/Al^{VI} y $Ti/Na+K$ (figs. 6 y 7) de Zakrutkin (1968) para anfíboles de rocas metamórficas puede observarse que el Anf I se sitúa en el dominio de la facies de las granulitas o de las anfibolitas, el Anf II en el de la facies de las anfibolitas y el Anf III en el de la facies de los esquistos verdes o de las anfibolitas con epidota. La atribución de la paragénesis con anfíbol I - clinopiroxeno - plagioclasa a la facies de las granulitas puede ser discutible; según Fyfe et al. (1958) podría pertenecer tanto a la facies de las granulitas con hornblenda como a la de las anfi-

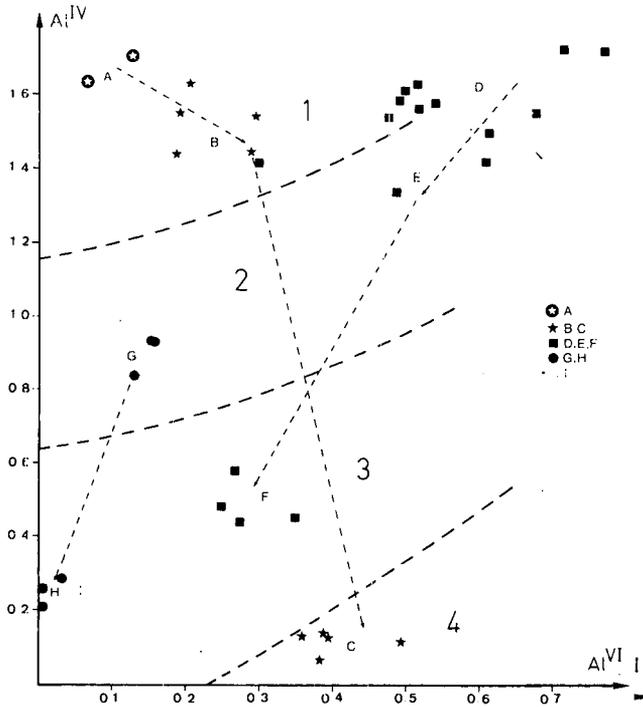


Fig. 6 — Evolución de las composiciones químicas de los anfíboles en el diagrama Al^{IV}/Al^{VI} de Zakrutkin (1968). 1: facies de las granulitas, 2: facies de las anfíbolitas, 3: facies de las anfíbolitas con epidota, 4: facies de los esquistos verdes. A: kaersutitas de las anfíbolitas con anfíbol solamente; B, C: Anf I y Anf II respectivamente de las anfíbolitas con anfíbol solamente; D, E, F: Anf I, Anf II y Anf III respectivamente de las anfíbolitas con piroxeno; G, H: Anf I y Anf II respectivamente de las anfíbolitas con piroxeno y granate; I: cumingtonitas de las anfíbolitas con biotita.

bolitas con almandino. Los estudios de Raase (1974) sobre el contenido en Ti de los anfíboles muestran que, en efecto, anfíboles análogos a los Anf I pertenecerían a la facies de las anfíbolitas de alto grado. Por otra parte, la desaparición de la esfena, indicador clásico del paso a condiciones granulíticas (Engel & Engel, 1962), no ha sido observada en estas rocas donde este mineral es una fase estable.

La muestra APA, perteneciente a un gran afloramiento de anfíbolitas con piroxeno, presenta un sólo tipo de anfíbol; se trata de una *hornblenda edenítica* (TABLA III), i.e. ligeramente más rica en Si y Mg que los Anf I de las otras anfíbolitas con piroxeno. En los diagramas de las figs. 6 y 7 este tipo de anfíbol también se sitúa en el dominio de la facies de las granulitas o en sus proximidades. El piroxeno presente en esta roca también es una salita (TABLA II).

ANFÍBOLITAS CON GRANATE - PIROXENO

Son menos abundantes que las del grupo anterior, forman masas de varios metros de largo y menos de un metro de ancho (muestra 2AM). Se trata de rocas mucho más ricas en cuarzo que las anfíbolitas con piroxeno y están for-

madas por pequeños cristales (menos de 1 milímetro) de granates idiomorfos, agrupados a veces en masas irregulares y por clinopiroxenos y anfíboles subidiomorfos. En estas rocas no se han observado fenómenos reaccionales de contacto como en el caso de las anfíbolitas con piroxeno.

Las composiciones químicas de piroxenos, granates y anfíboles (TABLAS II y III) son muy similares a las de los piroxenos, granates y anfíboles tardíos de las anfíbolitas con piroxeno. El piroxeno es una salita algo más pobre en Ca. El granate posee la siguiente composición media: $Pir_{3.1} Alm_{42.5} Espes_{15.7} Gros_{38.6}$, se trata pues de un granate un poco más rico en Fe y Mn y más pobre en Ca que el formado en la zona reaccional de las anfíbolitas con piroxeno. Existen dos tipos de anfíbol: *Ferro-hornblenda* y *actinolita*. El último aparece en pequeña proporción formando cristales prismáticos fibrosos a partir de los cristales granoblásticos de ferro-hornblenda. Aunque sus composiciones son bastante similares, reflejan de todas formas condiciones P-T algo diferentes: las actinolitas se habrían formado en condiciones de P-T algo más bajas que las ferro-hornblendas, representando condiciones de la facies de los esquistos verdes y de las anfíbolitas respectivamente (cf. figs. 6 y 7).

Se puede considerar por lo tanto que estas anfíbolitas con granate y piroxeno han recrystalizado completamente

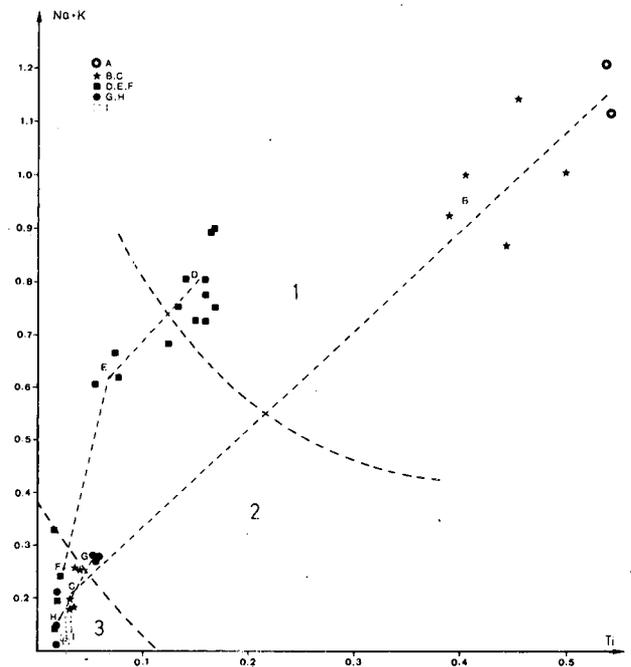


Fig. 7 — Evolución de las composiciones químicas de los anfíboles en el diagrama $Na+K/Ti$ de Zakrutkin (1968). 1: facies de las granulitas, 2: facies de las anfíbolitas, 3: facies de los esquistos verdes. Símbolos como en fig. 6.

TABLA III

ANÁLISIS REPRESENTATIVOS DE ANFIBOLES

muestra	A67	200B1	A1	200B2	200B3	APA	2AM1	2AM2	8C	A54	ESL	A50	A2181	A2182	A2183
Na ₂ O	1.64	1.40	1.44	1.32	0.79	2.15	0.75	0.33	0.36	1.28	1.68	1.02	3.44	3.37	0.81
MgO	6.87	6.45	6.74	8.07	10.56	9.46	10.35	13.58	12.32	12.15	9.21	10.16	9.45	10.35	13.57
Al ₂ O ₃	11.58	12.33	11.66	11.45	4.64	11.77	6.09	1.22	2.20	9.03	9.21	5.88	9.63	10.07	3.09
SiO ₂	41.20	42.04	41.86	43.49	51.17	44.33	46.54	53.16	51.03	46.52	49.06	52.07	42.38	43.10	54.38
K ₂ O	1.58	1.73	1.51	1.22	0.26	0.79	0.26	0.08	0.06	0.38	0.66	0.21	0.75	0.90	0.20
CaO	11.30	10.73	11.43	11.71	11.62	13.08	12.32	12.35	1.13	11.81	12.16	12.79	12.22	11.77	13.19
TiO ₂	1.35	1.45	1.36	0.66	0.17	0.79	0.48	0.17	0.25	1.32	1.96	1.11	4.79	4.02	0.32
MnO	0.55	0.69	0.68	0.64	0.83	0.59	1.36	1.32	0.60	0.51	0.61	0.49	0.61	0.65	0.69
FeO _t	21.71	21.24	21.72	20.23	18.78	13.17	19.51	16.08	29.79	15.16	13.25	14.12	15.23	14.16	10.32
TOTAL	97.78	98.06	98.40	98.79	98.54	96.85	97.66	98.29	97.74	98.16	97.80	97.85	98.50	98.39	96.57

Fórmulas estructurales (O:23)

Si	6.382	6.447	6.428	6.567	7.541	6.622	7.063	7.781	7.736	6.843	7.153	7.561	6.361	6.423	7.857
Al ^{IV}	1.618	1.553	1.572	1.433	0.459	1.378	0.937	0.211	0.264	1.157	0.847	0.439	1.639	1.577	0.143
Al ^{VI}	0.497	0.676	0.539	0.605	0.347	0.695	0.152	-	0.129	0.409	0.736	0.568	0.065	0.192	0.383
Ti	0.157	0.167	0.157	0.075	0.019	0.149	0.055	0.019	0.028	0.146	0.215	0.121	0.541	0.451	0.035
Fe _t	2.813	2.724	2.789	2.555	2.315	1.645	2.476	1.968	3.778	1.865	1.616	1.715	1.912	1.765	1.247
Mg	1.586	1.474	1.542	1.816	2.319	2.106	1.340	2.962	1.785	1.664	2.001	2.199	2.114	2.299	2.922
Mn	0.072	0.090	0.088	0.082	0.104	0.075	0.174	0.164	0.077	0.064	0.075	0.060	0.078	0.082	0.084
Ca	1.876	1.763	1.881	1.895	1.835	2.094	2.003	1.937	0.183	1.862	1.900	1.990	1.965	1.880	2.042
Na	0.493	0.416	0.429	0.386	0.146	0.623	0.221	0.094	0.107	0.365	0.475	0.287	1.001	0.974	0.227
K	0.312	0.338	0.296	0.235	0.049	0.149	0.051	0.015	0.012	0.071	0.123	0.039	0.144	0.171	0.0136

TABLA III:

A67, 200B1, A1, APA: Anf I, anfibolitas con piroxeno; 200B2, 200 B3: Anf II y Anf III respectivamente, anfibolitas con piroxeno; 2AM1, 2AM2: Anf I y Anf II respectivamente, anfibolitas con granate y piroxeno; 8C: anfibolitas con biotita; A54, ESL, A50: anfibolitas con anfíbol solamente; A2181: kaersutita, anfibolitas con anfíbol solamente; A2182, A2183: Anf I y Anf II respectivamente, anfibolitas con anfíbol solamente.

en condiciones próximas a las existentes al final de la evolución metamórfica de las anfibolitas del grupo anterior. El hecho de que en estas anfibolitas no se hayan encontrado anfíboles del tipo homblenda ferroan-pargasítica indicadores de condiciones metamórficas más rigurosas podría ser debido al tamaño diferente de los cuerpos anfibolíticos considerados: mientras que las anfibolitas con piroxeno estudiadas constituyen masas importantes de más de 10 metros de espesor, las anfibolitas con granate y piroxeno solamente poseen algo más de 50 centímetros de potencia por lo que es posible que la retromorfosis haya borrado completamente las trazas del primer episodio metamórfico.

ANFIBOLITAS CON BIOTITA

Son rocas con textura granoblástica equigranular formadas por un anfíbol incoloro frecuentemente maclado, plagioclasa y biotita en proporción considerable. Existen al-

gunos accesorios como zircón, esfena y titanio-magnetita. No se han observado fenómenos reaccionales en el contacto con el granito (muestra 8C).

Los anfíboles son muy diferentes de los de las rocas anteriores (TABLA III). Se trata de *cumingtonitas* (Fe/Fe + Mg = 57% de promedio) pobres en Ca y Al. Los contenidos en Na+K, Ti, Al^{IV} y Al^{VI} son bastante similares a los de los anfíboles tardíos de las anfibolitas con granate y piroxeno representando probablemente las condiciones de una recristalización en facies de los esquistos verdes o de las anfibolitas con epidota (figs. 6 y 7). Las biotitas presentan composiciones casi idénticas a las de las anfibolitas con piroxeno formadas en la zona reaccional de contacto con el granito: Mg/Mg+Fe = 41.8 y 41.6% respectivamente, Al^t = 3.015 y 3.084 (f.u.) respectivamente, etc. (TABLA II).

Estas rocas serían el resultado del mismo metamorfismo aunque afectando a materiales más ricos en Fe y Mg y pobres en Ca que los que originaron las anfibolitas con pi-

roxeno o con granate y piroxeno. En cuanto al K necesario para formar la biotita, aunque la ausencia de fenómenos reaccionales en el contacto con el granito permite considerar un origen primario, por el momento no es posible determinar exactamente cuál es el origen de dicho elemento. La ausencia de paragénesis de un metamorfismo de grado más elevado también podría ser debida en este caso a una homogeneización completa durante la retromorfosis ya que las anfibolitas con biotita - cumingtonita, al igual que las anfibolitas con granate y piroxeno, constituyen afloramientos de pequeño tamaño.

ANFIBOLITAS SOLAMENTE CON ANFIBOL

Constituyen masas de menos de 1 metro de espesor formadas por anfíbol y plagioclasa esencialmente junto con pequeñas cantidades de cuarzo y minerales accesorios tales como zircón, apatito y titanomagnetita. No se han observado fenómenos reaccionales en el contacto con los granitos.

La muestra A50 posee un anfíbol de composición *hornblenda actinolítica* a *actinolita* (ATABLA III); se trata de un anfíbol subidiomorfo similar desde el punto de vista de la composición y de las condiciones P-T de recristalización a los anfíboles tardíos de las anfibolitas con piroxeno. Las muestras ESL y A54 también poseen un sólo tipo de anfíbol (con algo de biotita en el caso de ESL), sin embargo en este caso se trata de *magnesio-hornblenda* a *edenita* y *magnesio-hornblenda* respectivamente (TABLA III) que indican condiciones de recristalización a P-T más elevadas, en facies de las anfibolitas e incluso de las granulitas (utilizando los diagramas de las figs. 6 y 7).

La muestra A218 posee dos tipos de anfíbol, un anfíbol pardo subidiomorfo (Anf I) rodeado sistemáticamente por un anfíbol incoloro a verde pálido (Anf II) más o menos fibroso. La composición del Anf I varía entre *kaersutita* y *hornblenda ferroan-pargasítica* (más raramente *hornblenda edenítica*) rica en Ti mientras que el Anf II es una *actinolita*. Dada su composición química y la existencia de trazas de una textura ofítica bien conservada en esta roca (TABLA I) puede considerarse para la misma un origen por recristalización de un material ígneo cuyo anfíbol sería de tipo *kaersutita*. Durante el primer episodio metamórfico la composición de este anfíbol sólo cambia ligeramente: débil aumento de los contenidos en Si, Al^{VI} y Mg y ligera disminución de los contenidos en Ti y Fe transformándose en una *hornblenda ferroan-pargasítica* (e incluso *hornblenda edenítica*) rica en Ti cuya composición es muy próxima a la de la *kaersutita* (TABLA III). De hecho ambas composiciones se sitúan en el dominio de los anfíboles ígneos en el diagrama Si/Ti de Leake (1965). La formación posterior de un anfíbol de composición actinolítica implica una evolución comparable a la observada en el caso de las anfibolitas con piroxeno, es decir, desde condiciones de facies de las granulitas o de las anfibolitas de alto grado hasta de facies de las anfibolitas con epidota o de los esquistos verdes (figs. 6 y 7).

CONCLUSIONES

A partir del estudio de estos cuatro tipos de anfibolitas pueden extraerse las conclusiones siguientes:

— El primer episodio metamórfico visible parece ser el de P y T más elevadas: facies de las anfibolitas de alto grado o de las granulitas. Este episodio está representado por la paragénesis con *hornblenda ferroan-pargasítica* (localmente *edenítica*) y aparece solamente en la parte interna de los cuerpos anfibolíticos de mayor tamaño, menos afectada por la retromorfosis. Los pequeños cuerpos anfibolíticos sólo conservan las trazas de los últimos episodios metamórficos, en facies de las anfibolitas y facies de las anfibolitas con epidota o de los esquistos verdes. Excepcionalmente también pueden hallarse trazas del primer episodio en los cuerpos más pequeños en forma de minerales relictos.

— En el contacto con los granitos anatéticos tiene lugar en ocasiones una metasomatosis local con aporte de K y H₂O procedentes del granito. Esto da lugar a la formación de movilizados y de biotita en las anfibolitas con piroxeno.

— En las anfibolitas con anfíboles cálcicos la retromorfosis se traduce principalmente en la aparición de granate y de uno o varios tipos de anfíboles cálcicos más pobres en Na, K, Al, Fe y Ti y más ricos en Mg y Si; el Ca y el Mn no varían considerablemente.

— Se puede establecer la siguiente correlación con los episodios metamórficos observados en los metasedimentos y gneises glandulares de la misma región (Gil Ibarra, 1979): la última paragénesis con anfíbol fibroso de tipo actinolita (o cumingtonita) representa aproximadamente las condiciones de formación de la asociación biotita - moscovita a partir de cordierita, o incluso condiciones más retrógradas, próximas a las de la cloritización en las rocas anatéticas; la paragénesis con anfíbol tipo ferro-hornblenda u hornblenda ferro-*edenítica* sería el resultado del segundo episodio metamórfico, M₂, que origina la mayoría de las rocas anatéticas en la región estudiada; este episodio aparece generalizado en la mayoría de los pequeños cuerpos anfibolíticos y limitado a los bordes en los más grandes, probablemente como consecuencia de diferencias en la PH₂O o de otros componentes móviles, dado que la P_t y la T no deben variar considerablemente a distancias tan cortas; la paragénesis con *hornblenda ferroan-pargasítica* representaría el primer episodio metamórfico, M₁, caracterizado en las metapelitas y gneises glandulares por un gradiente de P más elevada que el de M₂ (granate - estaurolita en lugar de granate - andalucita). De hecho, y según este esquema, la posición de estos últimos anfíboles en el dominio de la facies de las granulitas o de las anfibolitas de alto grado debe traducir probablemente condiciones de P más elevada en el transcurso de M₁, ya que la deshidratación progresiva de las metapelitas y gneises glandulares parece indicar un aumento de T entre M₁ y M₂.

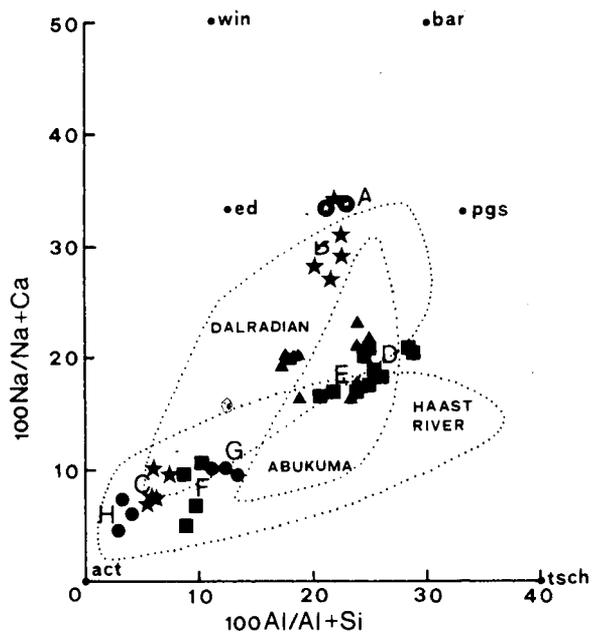


Fig. 8. Comparación de la composición química de los anfíboles de la región de Finisterre con los de Abukuma (Shido, 1958; Shido & Miyashiro, 1959, metamorfismo de baja P), Haast River (Cooper & Lovering, 1970, metamorfismo de P intermedia) y Scottish Dalradian (Graham, 1974, metamorfismo de P intermedia).

Alternativamente, es posible suponer que la paragénesis con hornblenda ferroan-pargasítica representa las condiciones del climax metamórfico (M_2 en las metapelitas con anatexia generalizada y formación de paragénesis con cordierita - feldespato potásico) y que la evolución mineralógica observada en las anfíbolitas representa únicamente el descenso de P-T durante la evolución retrógrada subsecuente. En este caso la ausencia de paragénesis de M_1 en las anfíbolitas no permitiría deducir si ha tenido lugar un cambio en el gradiente metamórfico. A este respecto hay que señalar que las composiciones de la mayoría de los anfíboles estudiados son comparables a las de los anfíboles de los terrenos sometidos a un metamorfismo regional de P intermedia (Dalradian o Haast River en la fig. 8) y diferentes de las de los anfíboles de terrenos afectados por un metamorfismo de baja P (Abukuma en la fig. 8). Esto significaría que, en esta región, durante la Orogénesis Hercínica las rocas básicas afectadas inicialmente por un metamorfismo de P intermedia (granate - estauroлита en las metapelitas) no reflejarían la evolución metamórfica del mismo modo que las rocas ácidas circundantes, en las que se observa un cambio del gradiente de P-T con el tiempo, dado que varían su composición mineralógica según un gradiente continuo de P intermedia.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el Prof. J. Lameyre de la Universidad de París VI las facilidades prestadas para la realización de los análisis químicos de los minerales (microsonda Cameca MS46) y de una parte de los análisis químicos de roca total. También agradece el Dr. C. F. Woensdregt de la Universidad de Leiden por facilitar un análisis de roca total no publicado (ANFWD).

BIBLIOGRAFIA

- ATHERTON, M.P., 1968: "The variation in garnet, biotite and chlorite composition in medium grade pelitic rocks from the Dalradian, Scotland, with particular reference to the zonation in garnet". *Contrib. Mineral. Petrol.*, 18: 347-371.
- BARD, J.P., 1969: *Le métamorphisme régional progressif des Sierres d'Aracena en Andalousie Occidentale (Espagne)* Thèse, Univ. de Montpellier.
- BINNS, R.A., 1969: "Ferromagnesian minerals in high grade metamorphic rocks". *Geol. Soc. of Australia, Spec. Paper.*, 2: 323-332.
- CALSTEREN, P.W.C. Van, 1977: *Geochronological, geochemical and geophysical investigations in the high grade mafic-ultramafic complex at Cabo Ortegal and other pre-existing elements in the Hercynian basement of Galicia (NW Spain)*. Thesis, Verh. 2, Z. W.O. Lab. Voor. Isot. Geol. Amsterdam.
- COOPER, A.F., LOVERING, J.G., 1970: "Greenschist amphiboles from Haast River, New Zealand". *Contrib. Mineral. Petrol.* 27: 11-24.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, G., 1966: *An introduction to the rock forming minerals*. Longman Ed. London, 528 pp.
- ENGEL, E.J., ENGEL, C.G., 1962: "Progressive metamorphism of amphibolites. NW Adirondack Mountains, New York". *Bull. Geol. Soc. America*, A-F, Buddington, Vol: 37-82.
- FYFE, W.S., TURNER, F.J., VERHOOGEN, J., 1958: "Metamorphic reactions and metamorphic facies". *Geol. Soc. America. Mem.* 73: 1-259.
- GIL IBARGUCHI, J.I., 1979: *Metamorfismo y magmatismo en la región de Muxia-Finisterre (NW España)*. Tesis Univ. Autòn. Barcelona.
- GRAHAM, C.M., 1974: "Metabasite amphiboles of the Scottish Dalradian". *Contrib. Mineral. Petrol.*, 47: 165-185.
- GRANT, J.A., WEIBLEN, P.W., 1971: "Retrograde zoning in garnet near the second sillimanite isograd". *Am. Jour. Sci.* 270: 281-297.
- LEAKE, B.E., 1964: "The chemical distinctions between ortho- and para-amphibolites". *Jour. Petrol.* 5: 238-254.
- LEAKE, B.E., 1965: "The relationship between composition of calciferous amphibolite and grade of metamorphism". In *Controls of Metamorphism*. Oliver & Boyd Ed.: 299-318.
- LEAKE, B.E., 1978: "Nomenclature of amphiboles". *Miner. Magaz.* 42: 533-563.
- MIYASHIRO, A., 1973: *Metamorphism and metamorphic belts*. G. George Allen & Unwin Ltd. Ed., London, 492 pp.
- MOINE, B., DE LA ROCHE, H., 1968: "Nouvelle approche du problème de l'origine des amphibolites à partir de leur composition chimique". *C. R. de l'Acad. Sc. Paris.* 267: 2084-2087.
- ORVILLE, P.M., 1969: "A model for metamorphic differentiation origin of thin layered amphibolites". *Am. Jour. Sci.* 267: 64-86.

- PRIEM, H.N.A., BOELRIJK, R.H., VERSCHURE, R.H., HEBEDA, E.H., 1970: "Dating events of acid plutonism through the Paleozoic of the Western Iberian Peninsula". *Eclog. Geol. Helvet.* 63: 255-274.
- RAASE, P., 1974: "Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism". *Contrib. Mineral. Petrol.* 45: 231-236.
- SHIDO, F., 1958: "Plutonic and metamorphic rocks of Nakoso and Iritono districts in the Central Abukuna Plateau". *Tokyo Univ. Fac. Sci. Jour. Sec. II, V. 11*: 131-217.
- SHIDO, F., MIYASHIRO, A., 1959: "Hornblendes of the basic metamorphic rocks". *Tokyo Univ. Fac. Sci. Jour. Sec. II, V. 12*: 85-102.
- ZAKRUTKIN, V.V., 1968: "The evolution of amphiboles during metamorphism". *Zap. Uses. Mineral. Obsch.* 96, 1: 13-23.

Recibido, mayo 1981

Revisado, abril 1982

G