

# Geotermometría de las anfibolitas de Acebuches en el sector de Almonaster la Real (Huelva)

## *Geothermometry of the Acebuches amphibolites in the Almonaster la Real zone (Huelva)*

A. Castro y J. D. de la Rosa\*

\* Universidad de Sevilla. Departamento de Geología y Minería. La Rábida. 21819 Huelva.

### ABSTRACT

*The amphibole-plagioclase geothermometer has been applied to three representative samples of the Acebuches amphibolites (Aracena massif). The results imply the existence of high temperature (900-750°C) ductile shear affecting part of this massif. The thermal evolution is compatible with the tectonic models in which a high temperature slab cooled and was highly deformed at the same time.*

**Key words:** *Aracena, amphibolites, thermometry, shear zone.*

*Geogaceta, 9 (1991), 14-17*

### Introducción

Las anfibolitas de Acebuches constituye una unidad litológica de primera magnitud localizada en el borde sur de la Sierra de Aracena, formando parte del Cinturón Metamórfico de Aracena estudiado por Bard (1969).

El posible origen ortoderivado a partir de toleitas oceánicas sugerido por Bard & Moine (1979) y Dupuy *et al.* (1979), y la correlación con el Complejo Ofiolítico de Beja (Portugal) y Lizard (Inglaterra) (Crespo-Blanc & Orozco, 1988), confiere a dichas anfibolitas un papel importante en la reconstrucción geotectónica de la Cadeña Hercínica Europea.

Los nuevos datos estructurales aportados por Crespo-Blanc (1989), Crespo-Blanc (1987) y Crespo-Blanc & Orozco (1988) demuestran la existencia de una importante zona de cizalla dúctil («Zona de Cizalla Sur-Ibérica»; Crespo-Blanc & Orozco, 1988), responsable de la estructura y de un metamorfismo retrógrado. Aunque dichos autores indican la posible existencia de dos fases de deformación por cizalla, concluyen que dicha deformación ocurrió en condiciones de facies esquistos verdes implicando un retrometamorfismo de las paragénesis de más alto grado preexistentes.

La presente nota trata de comparar las condiciones metamórficas de las anfibolitas de grano grueso de alta temperatura no cizalladas, con otras facies de tamaño de grano medio y fino claramente afectadas por la deformación por cizalla. Dicho estudio

está basado en las temperaturas deducidas del equilibrio plagioclasa-anfibol y pretende aportar datos sobre las condiciones térmicas de la deformación por cizalla.

### Descripción de las muestras analizadas

Tres muestras representativas de diferentes facies de las anfibolitas en sector de Almonaster la Real (Huelva) han sido analizadas en este estudio, correspondiendo a tres litotipos con diferentes tamaños de grano y diferente grado de deformación.

#### *Litotipo A*

Es una anfibolita de tamaño de grano grueso con textura granoblástica. No se aprecian bandas de cizalla a escala mesoscópica ni signos de deformación plástica intracrystalina. Está constituida esencialmente por plagioclasa zonada (An75-An50) anfibol hornbléndico y clinopiroxeno (Di48-En37-Fe15). La muestra analizada está situada en la parte norte de la banda anfibolítica en la transversal Acebuches-Cortegana.

#### *Litotipo B*

Se trata de una anfibolita de tamaño de grano medio con bandas de cizalla de espesor centimétrico, su composición mineralógica es muy pa-

recida a la anfibolita de tamaño de grano grueso. Esta muestra ha sido tomada en el mismo corte que la muestra anterior.

#### *Litotipo C*

Es una anfibolita de tamaño de grano fino deformada por cizalla dúctil con porfiroclastos de plagioclasa zonada con núcleo muy rico en anortita (An80) y borde An40. Se podría definir también como una blastomilonita ya que los anfíboles que definen la foliación milonítica cristalizaron durante la deformación por cizalla dúctil. Está constituida por plagioclasa y anfíbol hornbléndico. La muestra ha sido tomada en el Cerro de San Cristóbal, cerca de Almonaster la Real.

### Composición química de anfibol y plagioclasa

Anfíboles y plagioclasas de las tres muestras descritas han sido analizados con microsonda electrónica (Superprobe JEOL JXA733) en la Universidad de St. Andrews. Las condiciones de trabajo fueron de 15 kv y 20 nA. Imágenes de backscattered (contraste Z) fueron utilizadas para identificar zonaciones tanto en plagioclasa como en anfibol. No se apreció zonación en el anfibol en ninguna de las tres muestras analizadas, aunque sí en la plagioclasa, sobre todo en los porfiroclastos del litotipo C. La figura 1 es una imagen backs-

Tabla 1.—Análisis representativos de anfíboles de los litotipos A, B y C de las anfíbolitas de Acebuches.

Tipo de Roca	Litotipo A			Litotipo B			Litotipo C		
	Muestra	265	265	265	266	266	266	13	13
Análisis	10	18	22	1	18	21	8	26	37
SiO <sub>2</sub> .....	43,86	44,81	46,23	49,83	47,43	49,81	45,13	45,31	46,44
TiO <sub>2</sub> .....	2,34	2,31	0,53	0,83	1,13	0,86	0,67	0,63	0,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	10,75	10,97	10,29	6,38	8,10	6,09	10,05	10,09	9,95
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,07	0,00	0,03	0,00
FeO.....	6,27	5,67	7,52	9,94	10,22	10,02	11,47	11,70	9,74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (*).....	7,54	7,68	6,32	3,18	3,27	3,84	4,56	4,38	4,84
MnO.....	0,13	0,16	0,23	0,27	0,32	0,20	0,32	0,31	0,31
NiO.....	0,03	0,00	0,00	0,05	0,07	0,00	0,08	0,00	0,04
MgO.....	13,53	13,67	13,04	14,40	13,53	14,18	11,26	11,18	12,63
CaO.....	11,38	11,21	11,29	12,18	12,20	12,02	11,76	11,81	11,99
Na <sub>2</sub> O.....	1,62	1,39	1,52	0,98	1,26	1,00	1,32	1,29	1,28
K <sub>2</sub> O.....	0,38	0,53	0,22	0,12	0,06	0,11	0,22	0,26	0,19
Total.....	97,81	98,39	97,19	98,20	97,60	98,19	96,83	96,98	98,14
Fórmula estructural	(0=23)								
Si.....	6,371	6,436	6,719	7,165	6,906	7,174	6,700	6,717	6,738
Al (IV).....	1,629	1,564	1,281	0,835	1,094	0,826	1,300	1,283	1,262
Σ(T).....	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (IV).....	0,213	0,293	0,483	0,246	0,296	0,208	0,460	0,480	0,441
Ti.....	0,255	0,250	0,058	0,089	0,124	0,094	0,075	0,070	0,079
Cr <sub>3+</sub> .....	0,000	0,000	0,001	0,006	0,002	0,008	0,000	0,003	0,000
Fe <sub>3+</sub> (*).....	0,832	0,838	0,696	0,345	0,359	0,418	0,511	0,489	0,531
Fe <sub>2+</sub> .....	0,769	0,688	0,920	1,197	1,247	1,210	1,429	1,454	1,186
Mn.....	0,016	0,019	0,028	0,033	0,039	0,025	0,040	0,039	0,038
Ni.....	0,003	0,000	0,000	0,006	0,008	0,000	0,009	0,000	0,004
Mg.....	2,930	2,926	2,826	3,085	2,935	3,043	2,491	2,470	2,732
Σ (C).....	5,018	5,015	5,011	5,009	5,011	5,004	5,015	5,005	5,010
R <sub>2+</sub> (**). .....	0,018	0,015	0,011	0,009	0,011	0,004	0,015	0,005	0,010
Ca.....	1,771	1,725	1,758	1,876	1,903	1,854	1,870	1,875	1,865
Na (M4).....	0,211	0,260	0,231	0,115	0,086	0,142	0,115	0,120	0,125
Σ(B).....	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na (A).....	0,244	0,126	0,197	0,157	0,269	0,136	0,263	0,252	0,236
K.....	0,070	0,098	0,041	0,022	0,012	0,019	0,041	0,050	0,034
Σ (a).....	0,314	0,224	0,238	0,179	0,280	0,155	0,305	0,301	0,270
Total.....	15,314	15,224	15,238	15,179	15,280	15,155	15,305	15,301	15,270
% Anortita.....	61,65	74,64	51,64	51,17	51,64	52,11	51,64	61,43	46,00

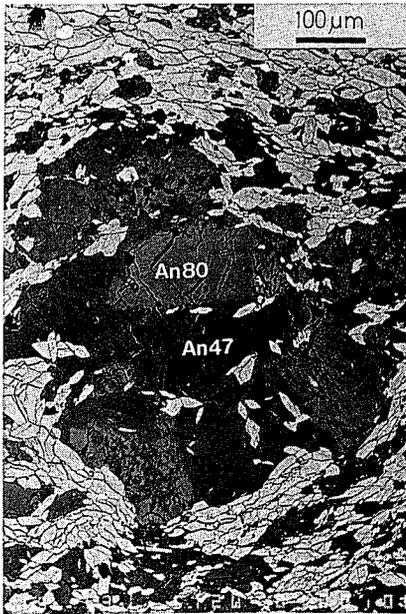
(\*) Fe<sup>3+</sup> calculado sobre la base de 13 cationes, excluyendo Na, K y Ca.(\*\*) R<sub>2+</sub> = Fe<sup>2+</sup> + Mg + Mn.

Fig. 1.—Imagen Back-Scattered (contraste Z) mostrando porfiroclastos de plagioclasa con núcleos muy anortíticos (An80) y hornblenda definiendo la deformación milonítica en una anfíbolita del litotipo C. Cerro de San Cristóbal, Almonaster la Real.

Fig. 1.—Backscattered image (Z contrast) showing plagioclase porphyroclasts with anorthitic cores (An 80) and hornblende tracing the mylonitic foliation. Lithotype C amphibolite from the Cerro de San Cristóbal, Almonaster la Real.

cattered (BSI) del litotipo C donde se puede apreciar como la foliación milonítica, definida por cristales de anfíbol, rodea a porfiroclastos relictos de plagioclasa. Las zonas más claras de dichos porfiroclastos (mayor número atómico medio) tienen una composición en torno a An80, mientras que las zonas más oscuras (menor número atómico medio) con inclusiones de anfíbol tienen una composición promedio An47.

Análisis representativos de anfíboles de los tres litotipos se relacionan en la Tabla 1, donde también se incluye el contenido en An de la plagioclasa en contacto con el anfíbol analizado. La fórmula estructural fue calculada teniendo en cuenta los criterios cristalquímicos de Robinson *et al.* (1982). Fe<sub>3+</sub> ha sido calculado de acuerdo con la estequiometría para un total de 13 cationes excluyendo Na, K y Ca (ver Droop 1987). De esta manera el valor de Fe<sub>3+</sub> es el máximo por fórmula unidad.

La composición de los anfíboles es muy parecida para los tres litotipos como se muestra en el diagrama de

clasificación (Leake, 1978) de la fig. 2. La mayor parte de los anfíboles son Mg-hornblendas y hornblendas-tschermakitas. No obstante, existen ligeras diferencias en cuanto al tipo de sustitución acoplada dominante entre un litotipo y otro, tal como se puede apreciar en el diagrama triangular AlIV-AlVI-□A (fig. 3). Los anfíboles de los litotipos A y B se disponen en un vector que se dirige hacia el polo edenita. Es decir, la sustitución de Si por AlIV es predominantemente compensada por la sustitución acoplada de alcalis en □A. Este es el tipo de sustitución predominante en

anfíboles naturales y sintéticos como se ha demostrado recientemente por Blundy & Holland (1990). Los anfíboles del litotipo C, anfíbolita intensamente cizallada, definen un vector que apunta hacia la zona de pargasita-tschermakita del diagrama (fig. 3), indicando que la sustitución de Si por AlIV en parte sería acoplada con la sustitución de cationes divalentes en posición M1-3 por AlVI. Esta observación es consistente con el hecho de que los anfíboles del litotipo C sean ligeramente más aluminicos que aquellos de los otros litotipos A y B (ver tabla 1).

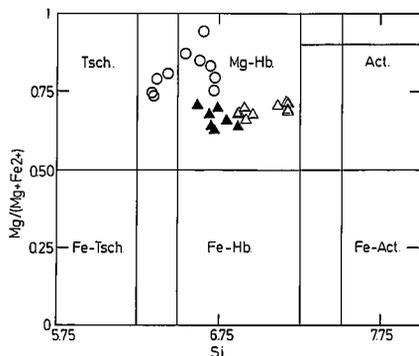


Fig. 2.—Diagrama de clasificación de anfíboles según Leake (1978). Círculos: litotipo A, triángulo hueco litotipo B, triángulo relleno litotipo C.

Fig. 2.—Classification diagram (Leake, 1978) for amphiboles. Circles: lithotype A. Open triangles: lithotype B. Full triangles: lithotype C.

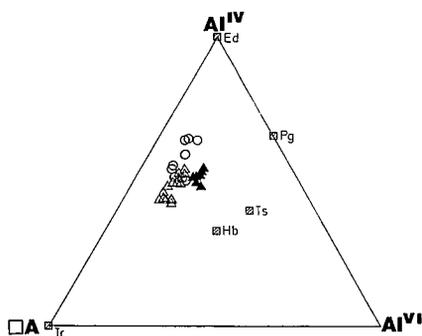


Fig. 3.—Triángulo AlIV-AlVI-□A (Blundy & Holland, 1990) mostrando los polos de las principales sustituciones acopladas y los anfíboles de los litotipos A, B y C. Símbolos como en la figura 2.

Fig. 3.—AlIV-AlVI-□A diagram (Blundy & Holland, 1990) showing the principal end-member substitutions and the analyzed amphiboles from the lithotypes A, B and C. Symbols as in fig. 2.

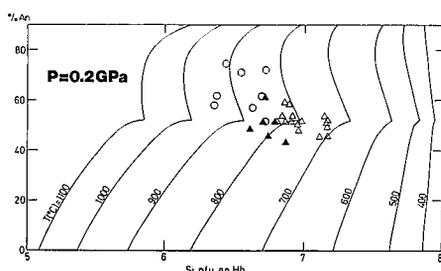


Fig. 4.—Solución gráfica (Castro in litt.) al geotermómetro de Blundy & Holland (1990) para P=0,2 GPa, representando los pares anfíbol-plagioclasa analizados de los litotipos A, B y C. Símbolos como en la figura 2.

Fig. 4.—Graphical solution (Castro in litt.) to the Blundy & Holland's (1990) thermometer for P=0.2 GPa, plotting the analyzed amphibole-plagioclase pairs from the lithotypes A, B and C. Symbols as in fig. 2.

**Termometría basada en el equilibrio anfíbol-plagioclasa**

El par anfíbol-plagioclasa ha sido confirmado recientemente como un valioso termómetro en rocas ígneas y metamórficas (Blundy & Holland, 1990). Dicho termómetro se basa en la existencia de una reacción entre anfíbol y plagioclasa de forma que la temperatura de equilibrio puede ser obtenida a partir del contenido en Si por fórmula unidad del anfíbol y por la fracción molar de anortita en plagioclasa coexistente (para detalles termodinámicos ver Blundy & Holland, 1990).

La selección de los pares de análisis se hizo de forma que la distancia al contacto entre ambas fases fuera superior a 15 µm. Bandas de reacción subsolidus de espesor inferior a 15 µm son frecuentemente observadas en este tipo de rocas. Cuando los pares fueron tomados en inclusiones de anfíbol en plagioclasa o plagioclasa en anfíbol, el análisis se refiere al núcleo de la inclusión. La forma redondeada de tales inclusiones puede tomarse como criterio de equilibrio textural y químico (Vernon, 1976). Los contactos lobulados también han sido considerados como indicadores de cristalización simultánea y de posible equilibrio químico.

Los pares analizados se han representado en una solución gráfica (Castro in litt.) del termómetro de Bundy & Holland (1990) para P=0,2 GPa (fig. 4). Los valores de temperaturas obtenidos para el conjunto de las tres muestras analizadas oscila entre 950 y 700°C. Hay que resaltar como los análisis del litotipo C, el más intensamente deformado, posee una posición intermedia en el diagrama entre el litotipo A y B, con temperaturas comprendidas entre 750 y 900°C, muy próximo a los valores de las anfibolitas de tamaño de grano grueso consideradas de alto grado (Bard, 1969; Crespo, 1989). Lo más destacable de este diagrama es el hecho de que las rocas más fuertemente cizalladas den valores altos de temperaturas. Dado que este litotipo es petrográfica y estructuralmente representativo de la mayor parte de la banda de anfibolitas, se puede concluir que la deformación por cizalla tuvo lugar en condiciones de alta temperatura.

La presencia de núcleos relictos de plagioclasa muy anortítica en los por-

firoclastos del litotipo C (ver fig. 1), apoyaría la existencia de un retrometamorfismo a partir de facies similares del litotipo A, aunque dicho retrometamorfismo sólo implicaría un pequeño incremento (negativo) de temperatura. No obstante, con los datos disponibles no se puede descartar que los núcleos anortíticos de los porfiroclastos, sin inclusiones de anfíbol, sean relictos de un protolito ígneo. Las zonas menos anortíticas de los porfiroclastos (An40) han sido reequilibradas durante la deformación por cizalla, al mismo tiempo que se produjo la cristalización de anfíbol que define la foliación milonítica. Estas relaciones texturales soportan que la alta temperatura obtenida del equilibrio anfíbol-plagioclasa sea la temperatura a la que se produjo la deformación por cizalla.

Los contenidos relativamente altos en aluminio y el componente tschermakítico en la sustitución acoplada del litotipo C, podría estar relacionado con un incremento de presión local asociado a la deformación por cizalla, si bien, los datos de los que se dispone hasta el momento no se consideran suficientes para realizar estimaciones de este tipo, aunque el contenido de aluminio en hornblenda ha sido empírica y experimentalmente relacionado con la presión total (Hammarstrom & Zen, 1986; Hollister *et al.*, 1987; Johnson & Rutherford, 1989).

**Discusión**

Los datos anteriormente expuestos claramente indican que la deformación por cizalla ocurrió en condiciones de alta temperatura (750-900°C), al menos para los litotipos considerados. Sin embargo, en este estudio no se han incluido muestras de la zona sur de la banda anfibolítica donde parecen existir paragénesis de bajo grado de metamorfismo asociadas a la deformación por cizalla (Crespo-Blanc, 1987; Crespo-Blanc & Orozco, 1988). Esto implicaría la existencia de un alto gradiente térmico perpendicular a la zona de cizalla (de 900 a 400°C en pocos centenas de metros), o bien tratarse de dos deformaciones por cizalla distintas, desarrolladas en condiciones térmicas diferentes.

Crespo-Blanc (1987) y Crespo-Blanc & Orozco (1988) citan la posi-

ble existencia de dos deformaciones por cizalla deducidas a partir de las diferentes orientaciones de la lineación de estiramiento asociada. La primera fase de deformación se caracteriza por presentar una lineación próxima a la dirección de buzamiento e implicaría un cabalgamiento del Macizo de Aracena sobre la Zona Surportuguesa. La segunda se caracteriza por una lineación de estiramiento cercana a la horizontal e implicaría un movimiento de falla transcurriente con componente senestro. Ambas fases pueden ser dos etapas del mismo proceso tectónico (op. cit.). La última fase es la que se desarrolla en condiciones de bajo grado, no considerada en este trabajo. La primera deformación (cabalgamiento) sería la que ocurriría a altas temperaturas según los datos aportados en esta nota. Por tanto, el esquema de evolución térmica que se desprende de este estudio sería compatible con el esquema tectónico deducido por Crespo-Blanc (1987, 1989) y Crespo-Blanc & Orozco (1988). La evolución térmica deducida soporta un modelo en el cual un macizo anfibolítico profundo es deformado a la vez que asciende y se enfría. El retrometamorfismo sería debido al enfriamiento del macizo anfibolítico y estaría favore-

cido por la zona de cizalla, puesto que de lo contrario sería difícil explicar un gradiente de varios cientos de grados por kilómetro como del que se deduciría a partir de los datos aquí expuestos.

#### Agradecimientos

El trabajo de microsonda fue realizado por los autores en la Un. de St. Andrews. Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación) y V.C.H.-A.I.B.Q.

#### Referencias

- Bard, J. P. (1969): Tesis Doctoral. *Fac. Sci. Montpellier*, 398 p.
- Bard, J. P. & Moine, B. (1979): *Lithos*, 12, 217-282.
- Blundy, J. D. & Holland, T. J. B. (1990): *Cont. Min. Petrol.*, 104, 208-224.
- Crespo-Blanc, A. (1987): *Bol. Geol. Min.*, 98, 507-515.
- Crespo-Blanc, A. (1989): Tesis Doctoral. *Univ. Sevilla*.
- Crespo-Blanc, A. & Orozco, M. (1988): *Tectonophysics*, 148, 221-227.
- Droop, G. T. R. (1987): *Mineral Mag.*, 51, 431-435.
- Dupuy, C.; Dostal, J. & Bard, J. P. (1979): *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, 26, 87-93.
- Johnson, M. C. & Rutherford, M. J. (1989): *Geology*, 17, 837-841.
- Hollister, L. S.; Grissom, G. C.; Pelters, E. K.; Stowell, H. H.; Sisson, V. B. (1987): *Amer. Miner.*, 72, 231-239.
- Leake, B. E. (1978): *Can. Miner.*, 16, 501-520.
- Robinson, P.; Spear, F. S.; Schumacher, J. C.; Laird, J.; Klein, C.; Evans, B. W.; Doolan, B. L. (1982): *Min. Soc. Am. Rev. Mineral*, 9B, 1-227.
- Vernon, R. H. (1976): *Metamorphic Processes*. George Allen & Unwin, London, 247 p.

Recibido el 1 de octubre de 1990  
Aceptado el 26 de octubre de 1990

#### Pregunta de C. Villaseca

—¿Cómo explicáis la ausencia generalizada de piroxenos en las anfibolitas si han sufrido un metamorfismo de condiciones granulíticas: 750-900°C?

#### Respuesta de los autores

—Las anfibolitas sin piroxenos son las más intensamente deformadas (Lito-tipo C) en la que la temperatura calculada oscila en torno a 750-900°C. Las condiciones especiales de alta actividad de H<sub>2</sub>O en las zonas intensamente deformadas pueden estabilizar el anfíbol a alta temperatura. No obstante este problema será abordado en sucesivos trabajos.

## Rocas volcánicas submarinas en la base de la Formación Cañadas. Macizo de Tigaiga (N. de Tenerife)

### *Submarine volcanic rocks at the bottom of the «Cañadas» formation. Tigaiga's Massif (N. of Tenerife)*

E. Ibarrola, J. M. Fúster, E. Ancochea y M. J. Huertas (\*)

(\*) Inst. Geología Económica. C.S.I.C. Dpto. Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

#### ABSTRACT

A volcanic submarine formation crops out in the north coast of Tenerife, east of San Juan de la Rambla. This unit is formed by massive and pillowed lavas, pillow-breccias, hyaloclastites and palagonitic tuffs and is interpreted as consisting of subaerial lavas that flowed into shallow marine waters. The lavas are amphibolic trachybasalts. An unaltered sample coming from the most massive zone has yielded a whole rock  $2.60 \pm 0.17$  Ma K-Ar age. These submarine lavas are underlying the oldest formations of the Las Cañadas Series dated at 1.24 Ma in that same area. The submarine lavas correspond to a time period for which very scarce information was yet available in Tenerife.

**Key words:** Tenerife, Cañadas Series, submarine lavas, K-Ar geochronology.

*Geogaceta*, 9 (1991), 17-20.

#### Introducción

El Macizo de Tigaiga (fig. 1) es uno de los accidentes morfológicos

más importantes del Norte de Tenerife, constituyendo un relieve positivo entre los valles de Icod (al oeste) y de La Orotava (al este). Está formado

por una sucesión de materiales volcánicos de varios centenares de metros de espesor que descienden de forma continua desde Las Cañadas, donde