

# Caracterización mineralógica, petrológica y petrofísica del mármol comercial Rojo Alicante (Cavarrasa, Alicante)

D. Benavente<sup>1</sup>, A. Bernabéu<sup>1</sup>, R. Fort<sup>2</sup>, M.A. García del Cura<sup>2</sup>, A. La Iglesia<sup>2</sup> y S. Ordóñez<sup>1</sup>

1 Lab. de Petrología Aplicada. Universidad de Alicante. AP. 99. 03080 Alicante.

2 Inst<sup>o</sup> de Geología Económica. CSIC-UCM. Facultad de Geología. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

## ABSTRACT

*Rojo Alicante commercial marble which is extracted in Cavarrasa quarries (Alicante Province) is complex with regards to its petrology. It shows abundant breccia facies including tectonic, intraclastic and diagenetic breccias.*

*The primary rock is a fossiliferous limestone (red pelagic limestone) with veins and stylolites (biomicrite). Fossils are mainly fragments of thin-walled shells of the pelecypods. Some ostracods, pellets and foraminifers are also present. Pelecypod fragments are unsorted and reach some millimeters in length. Oxidised Fe-minerals, quartz, micas, calcium phosphates, ilmenite and clay minerals are accessory minerals of Rojo Alicante commercial marble.*

*The mineralogy, porosity, hygric behaviour, and mechanical and esthetical properties of Rojo Alicante described in this paper prove that Rojo Alicante commercial marble is a good building material.*

**Key words:** *Rojo Alicante, commercial marble, pelagic limestone, Spain.*

## INTRODUCCIÓN

El mármol comercial "Rojo Alicante", junto con el mármol comercial Crema Marfil y el Marrón Emperador constituyen los tres tipos principales de mármoles comerciales explotados actualmente en la provincia de Alicante (Ordóñez *et al.* 1999).

El Rojo Alicante se extrae principalmente de las canteras situadas en el Valle de Cavarrasa - Sierra del Reclot (Fig. 1) en el término municipal de Monóvar (Provincia de Alicante), donde en 1999 se situaban 8 canteras con una producción de 70.000 m<sup>3</sup> extraídos y entrados en fábrica para su elaboración obteniéndose 2.250.000 m<sup>2</sup> de tabla de 2 cm (datos suministrados por la Asociación Provincial Mármoles de Alicante).

Observaciones acerca de su método de explotación pueden verse en Llopis *et al.* 1992.

## MARCO GEOLÓGICO

Las calizas jurásicas de las que se extrae el mármol comercial Rojo Alicante son petrológicamente complejas y se sitúan en un sinclinal (sinclinal de Cavarrasa) con numerosas fracturas que afectan al buzamiento de las capas. Sobre este sinclinal aparecen depósitos coluviales y aluviales con potencias variables.

Estas calizas forman uno de los afloramientos más septentrionales de los materiales subbéticos que cabalgan hacia el N al prebético. (Fig. 1)

Las calizas explotadas constituyen un conjunto litológico de calizas micríticas con predominio del color rojo, si bien también las hay de colores beige y grises. Son estructural y texturalmente complejas y en algunos niveles presentan abundantes valvas de pelecípodos pelágicos que por su fino grosor se definen habitualmente como "filamentos". Dichas capas locamente presentan una geometría de downlap sobre la superficie de discontinuidad inferior (García Hernández *et al.* 1988). Su potencia varía desde unos metros al sur de la carretera de La Romana a La Algueña, hasta varias decenas de metros en el área de explotación del Coto de Cavarrasa.

Esta unidad litológica se sitúa entre dos discontinuidades: una inferior que se trataría de un hardground complejo con niveles condensados de fauna y otra superior con costras ferruginosas bajo la cual, puntualmente, se desarrollan cavidades con morfología kárstica.

## METODOLOGÍA

Se han estudiado dos variedades de mármol comercial Rojo Alicante, comercializadas por la empresa VISEMAR y extraídas en 1996: el Rojo Alicante Vivo y el Rojo Alicante Almendrado.

Estas variedades han sido objeto de un estudio petrológico mediante microscopía óptica de polarización de luz transmitida y microscopía electrónica de barrido en modo de electrones retrodispersados y de electrones secun-

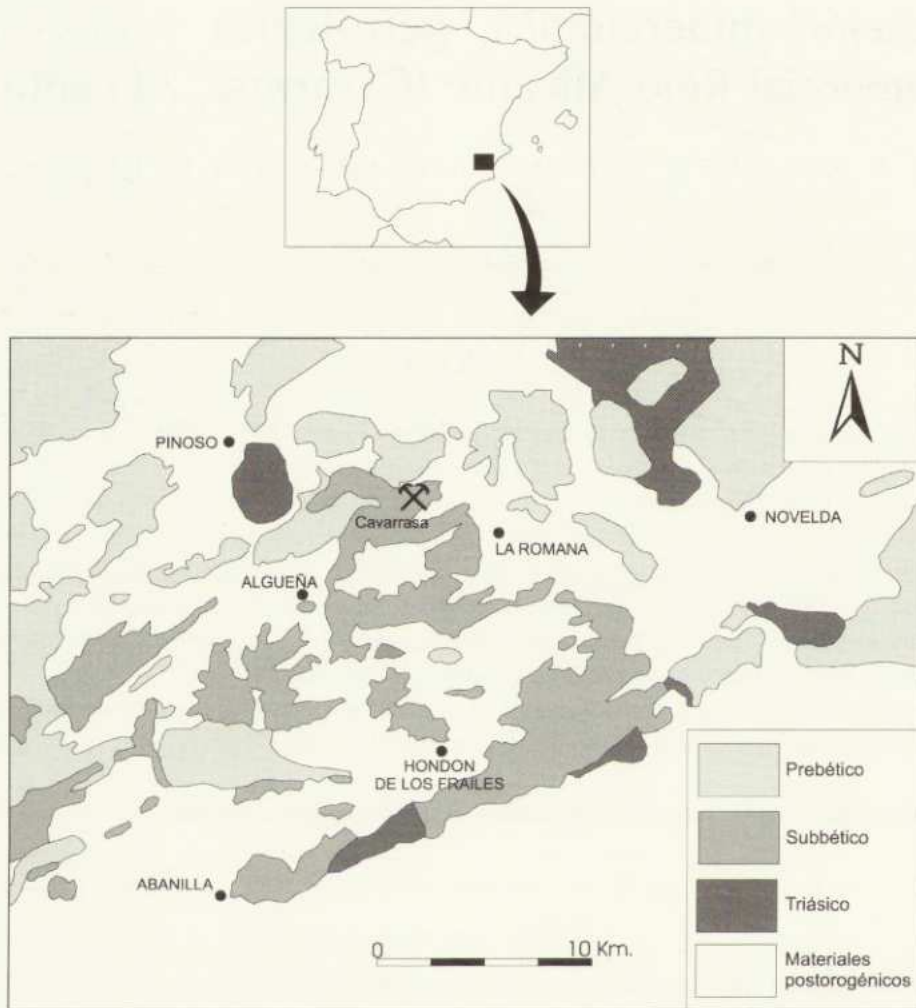


FIGURA 1: Localización geográfica y marco geológico de la explotación de mármol comercial Rojo Alicante en Cavarrasa (adaptado de García-Hernández et al. 1988).

darios, realizándose estas últimas observaciones tanto sobre superficie pulida como sobre fractura. Con este fin se ha utilizado un Microscopio Electrónico de Barrido JEOL, JSM-840.

El estudio mineralógico se ha realizado mediante difracción de rayos X (con un difractor Philips PW 1840), complementándose con estudios de Microsonda Electrónica (Jeol JXA-8900 M) para completar la determinación de minerales opacos y de minerales de muy escaso contenido en la roca.

La fracción no carbonática se ha obtenido mediante ataque de la muestra total con una disolución 1N de ácido acético y acetato sódico y lavado posterior con agua desionizada, operación que se repitió seis veces. El material resultante (con tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$ ) fue estudiado por difracción de rayos X mediante difractograma de polvo total y agregados orientados, agregados orientados solvatados con etilenglicol secados al aire y agregados orientados calentados a 550°C. En alguna muestra del Rojo Alicante Vivo pudo aislarse una fracción inferior a 2  $\mu\text{m}$ .

También se ha realizado un análisis químico por Fluorescencia de Rayos X de dicha fracción insoluble en ácido acético.

Para el estudio petrofísico se siguieron las normas UNE (1985), para los ensayos mecánicos, y las recomendaciones de la RILEM, para el comportamiento hídrico. Para determinar la porosimetría se ha utilizado un porosímetro de mercurio Autoscan - 60.

#### CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA

El mármol comercial Rojo Alicante es petrológicamente complejo: presenta abundantes facies brechoides tanto brechas tectónicas como facies de removilización singenética.

Básicamente puede definirse como una caliza fosilífera (biomicrita) en la que junto a los pelecípodos pelágicos de concha filamentosa, que siempre se han considerado los componentes más característicos de estos materiales (Llopis et al. 1992, García del Cura y Ordóñez 1995 y Ordóñez et al. 1999) se encuentran ostrácodos, pelets, ammonites, frag-



FIGURA 2: Ejemplo de microfacies más característica del mármol comercial Rojo Alicante. Junto a los "filamentos" puede observarse las variaciones de tamaño de la matriz micrítica. Longitud de la ventana 1.2 mm.

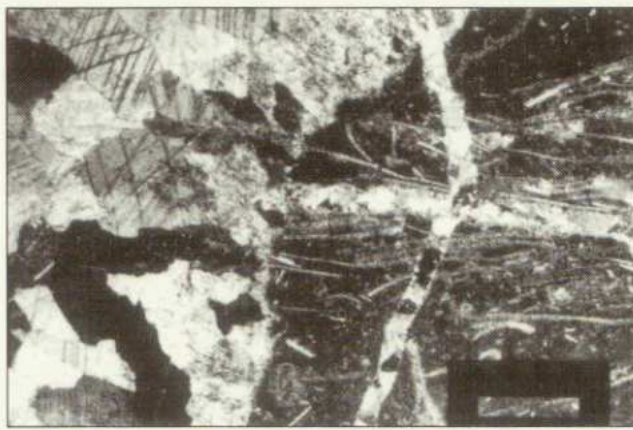


FIGURA 3: Ejemplo de vénulas de calcita de diferente grosor y tamaño de cristal en el mármol comercial Rojo Alicante. Longitud de la ventana 1.2 mm.

mentos fosfáticos (¿dientes de seláceos?), foraminíferos e indicios de placas de equinodermos. Los fragmentos de pelecípodos están muy mal seleccionados y llegan a alcanzar algunos milímetros de longitud, sólo en algunos niveles presentan orientación predominante, siendo más abundantes los niveles en que se hallan orientados al azar.

Generalmente la roca puede definirse como un biomicrita si bien la matriz de la roca muestra frecuentes variaciones de tamaño, no presentando la micrita un tamaño homogéneo, encontrando zonas donde es menor de  $1 \mu\text{m}$  y otras donde supera las  $2 \mu\text{m}$  (llegando hasta  $5 \mu\text{m}$ ) pudiendo considerarse en tránsito a microesparita (Fig. 2). En algunos puntos hay predominio de cemento esparítico, pudiendo llegar a definirse algunas facies como bioesparita.

Presentan abundantes vénulas de diferente grosor (Fig. 3), desde filiformes a centimétricas, de calcita esparítica en general de color claro, que le dan el aspecto característico a esta roca ornamental. Muchas de las vénulas no presentan un grosor uniforme a lo largo de todo el cuerpo rocoso. Es frecuente el relleno politextural en las vénulas gruesas.

Algunas de las vénulas finas (del orden  $0,04 \text{ mm}$  de grosor) tienen asociados minerales opacos de naturaleza ferrífera, formando parte de su relleno y en sus proximidades.

En el mármol comercial Rojo Alicante hay que resaltar también la abundante presencia de estilolitos, que pueden aparecer con trazado único, bifurcados y/o anastomosados, incluyendo en su interior material ferruginoso, fases oxidadas de hierro, y filosilicatos, principalmente caolinita, los cuales constituyen las principales discontinuidades textoestructurales de esta roca por las que tiene lugar, fundamentalmente, la rotura a flexotracción (Fig. 4 A y B).

Las observaciones del MEB nos permiten detectar la presencia de un tipo de porosidad interpartícula (Fig. 4 C y D), así como de porosidad ligada a los estilolitos (Fig. 4 B), por el contrario es notable la disminución de la macroporosidad en algunas zonas de vénulas (Fig. 4 C).

## CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

El componente mineralógico fundamental es calcita de bajo contenido en magnesio que, en general, representa más del 95% de la roca.

El estudio por difracción de rayos X de la fracción insoluble en ácido ( $< 5\%$  del total de la roca) ha revelado la composición mineralógica mayoritaria que se presenta en la tabla II. En la tabla I se muestra la composición química, determinada por Fluorescencia de rayos X de dichos residuos insolubles.

Como indica la tabla II las principales fases minerales encontradas en el estudio de rayos X son cuarzo, illita, esmectita y caolinita. El término esmectita está aquí tomado en sentido amplio, en realidad se trata de un interestratificado illita esmectita según pone de manifiesto la extraordinaria asimetría del pico a  $10 \text{ \AA}$  y cierta capacidad de hinchamiento con etilenglicol. Sorprende la agudeza de la reflexión 001 de la mica en las muestras. Esta característica se intensifica en las muestras de la variedad Rojo Almadrado.

Los índices de Weber (1972) medidos son muy altos indicando elevada cristalinidad. Este hecho, en principio contradictorio con lo expresado en el párrafo anterior, sugiere la existencia de cristales de mica de muy baja cristalinidad junto con otros de alta por lo que estaríamos ante unas micas detríticas (heredadas) y otras que se encuentran en etapa inicial de formación.

La fracción menor de  $2 \mu\text{m}$  del residuo insoluble de la variedad Alicante Vivo muestra un enriquecimiento en cuarzo, respecto de la muestra total (fracción  $< 20 \mu\text{m}$ ).

En cuanto a la composición mineralógica de los minerales opacos y de los minerales trazas, deducida de los datos obtenidos con la Microsonda Electrónica cabe resaltar la identificación de fases oxidadas de hierro, rellenando estilolitos junto, con algunas fases minerales silíceas (incluidos minerales de arcilla), tal como se vio en el apartado de petrología.

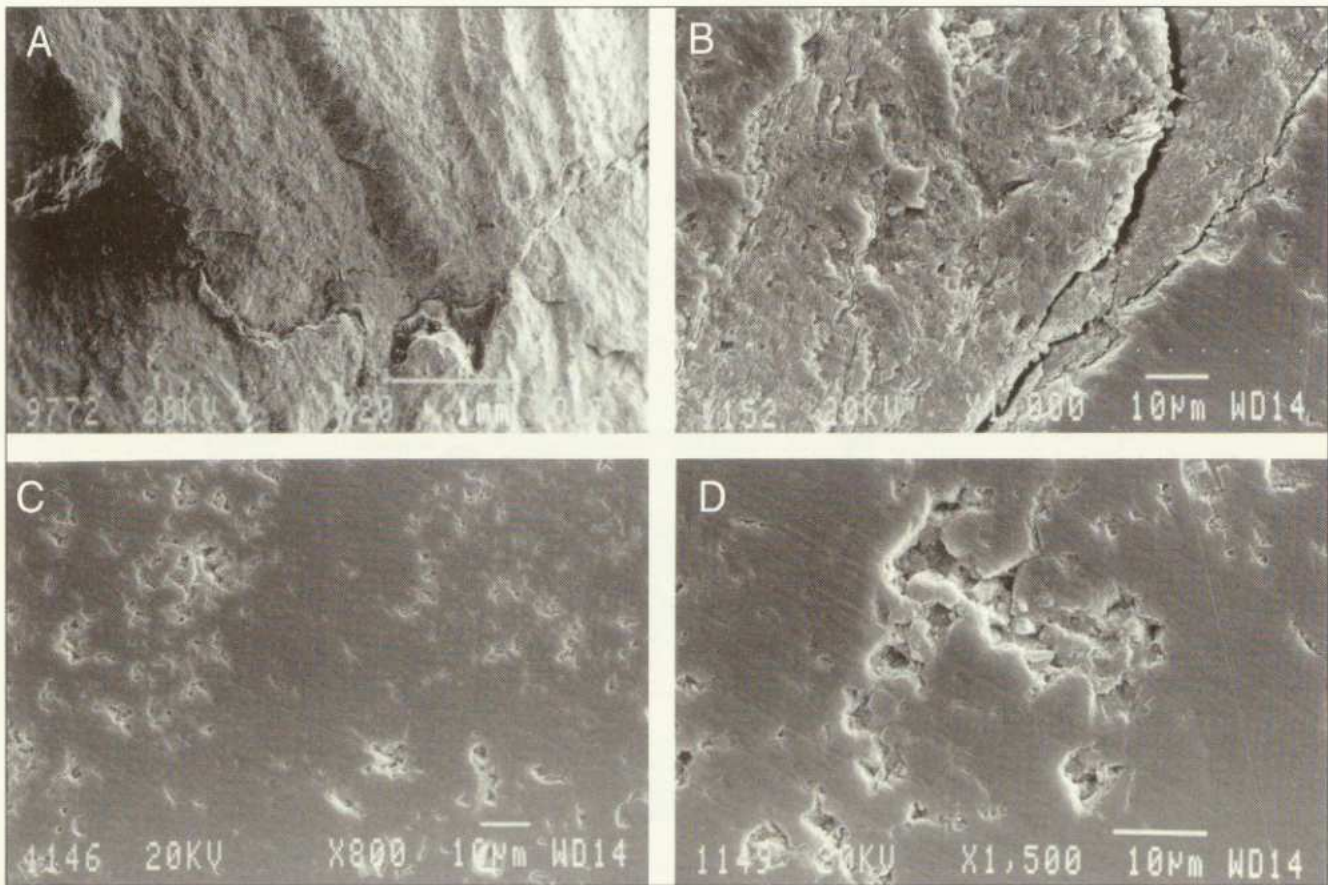


FIGURA 4: Microfotografías del MEB del mármol comercial Rojo Alicante: A y B detalle de estilolitos, en ambas fotografías puede observarse la presencia de un relleno de minerales de hierro y de arcilla, en b se pone de manifiesto un detalle de porosidad asociada a un estilolito. C y D: detalle de la macroporosidad del mármol comercial Rojo Alicante, en a puede observarse una disminución de dicha porosidad en relación con la presencia de una vénula.

Se ha comprobado la presencia de fosfatos y se ha detectado la presencia de posible glauconita relleno algún poro, así como algunos cristales idiomorfos de carbonato de hierro con proporciones variables de calcio.

También se ha encontrado ilmenita, frecuentemente zonada, dispersa.

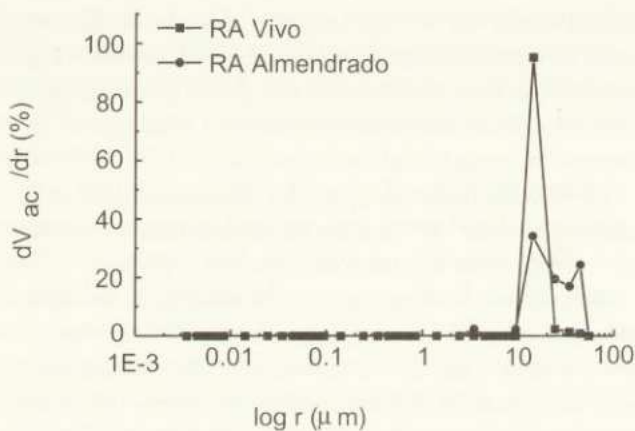


FIGURA 5: Distribución de poros del mármol comercial Rojo Alicante.

Tabla I  
Composición química del residuo insoluble en ácido de las variedades del mármol comercial Rojo Alicante

	R. A. Vivo	R A. Almendrado
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00
MgO	3.07	2.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.4	19.60
SiO <sub>2</sub>	49.4	51.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.54	0.69
SO <sub>3</sub>	0.34	0.087
Cl	0.10	0.096
K <sub>2</sub> O	6.10	6.5
CaO	7.80	3.06
TiO <sub>2</sub>	1.14	1.39
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.013	0.108
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.034	0.037
MnO	0.026	0.036
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.8	14.2
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.00	0.033
NiO	0.015	0.041
Suma La-Lu	0.014	0.043

Tabla II

Composición mineralógica de la fracción insoluble en ácido determinada por difracción de rayos X (ver metodología).

VARIEDAD	CUARZO	MICA	CAOLINITA	ESMECTITA
ROJO VIVO	5-10 %	80-85%	10-15%	≤ 5%
ROJO ALMENDRADO	10-15%	75-80%	5-10%	≤ 5%

## PROPIEDADES FÍSICAS

El color del mármol comercial Rojo Alicante, es una característica que muestra sensibles variaciones dentro de la gama de los rojos, como demuestran los altos valores de desviación estándar que se obtienen al determinar con el colorímetro los parámetros cromáticos de varias muestras de mármol Rojo Alicante variedad Vivo y variedad Almendrado. Los valores de dichos parámetros son:  $L = 57.28 \pm 0.95$ ,  $a = 13.75 \pm 0.65$ ,  $b = 17.46 \pm 0.19$ .

Propiedades que determinan el comportamiento hídrico del mármol comercial Rojo Alicante pueden verse en la tabla III. Estas propiedades están controladas por la distribución de su porosidad. Por ello, la cantidad máxima de agua que estos materiales pueden absorber es baja, con un % de saturación de 0,24%. La porosidad accesible al agua es de 0,65%. La succión capilar es de 0,17 ( $\text{Kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ ), indicándonos un buen comportamiento ante el ascenso capilar.

Otras propiedades físicas se muestran en la tabla IV. Algunas de las características mecánicas de las dos variedades del mármol comercial Rojo Alicante aparecen en la tabla V, observándose una gran similitud entre las propiedades de ambas variedades. Los valores de resistencia a compresión y a flexión son indicativos de un buen comportamiento mecánico para su uso como roca ornamental.

Así mismo, el valor de pérdida de peso después de la realización de los ciclos de hielo-deshielo es para ambas variedades < 0.01 %, considerándose un material no heladizo y por tanto utilizable como roca ornamental incluso en lugares donde la variación climática sea brusca.

En cuanto a la porosidad, este material tiene una baja porosidad conectada. La porosidad accesible al mercurio es de 0,4 a 0,25 % para ambas variedades. La distribución de

Tabla III

Propiedades que determinan el comportamiento hídrico del mármol comercial Rojo Alicante.

Coef. Absorción: (%)	$0.34 \pm 0.10$
% Saturación	$0.24 \pm 0.07$
% Porosidad accesible al agua	$0.65 \pm 0.18$
Coef. Capilaridad ( $\text{Kg/m}^2\text{s}^{1/2}$ )	$0.17 \pm 0.02$
Coef. Permeabilidad al vapor de agua ( $\text{g/m}^2.12\text{h. mmHg}$ )	$0.18 \pm 0.01$

tamaños de poros indica la casi ausencia de porosidad abierta para tamaños de poros inferiores a 5  $\mu\text{m}$ , predominando la macroporosidad. Existe un intervalo modal entre 10 y 30  $\mu\text{m}$  (Fig. 5). La variedad Rojo Alicante Almendrado presenta un tamaño medio de poros ligeramente mayor siendo de 39,5  $\mu\text{m}$ , mientras que en la variedad rojo Alicante Vivo es de 22,7  $\mu\text{m}$ . Esta distribución de poros nos muestra que la porosidad de la roca es principalmente de tipo interpartícula y porosidad ligada a los estilolitos, tal y como se vio en el apartado de caracterización petrológica (Fig. 4).

Tabla IV

Algunas propiedades físicas del mármol comercial Rojo Alicante.

Densidad aparente ( $\text{g/m}^3$ )	$2.68 \pm 0.05$
Densidad real ( $\text{g/m}^3$ )	$2.70 \pm 0.02$
Velocidad de propagación ultrasonidos (m/s)	$5923 \pm 171$

Tabla V

Propiedades mecánicas de las dos variedades estudiadas del mármol comercial Rojo Alicante.

	Rojo Alicante vivo	Rojo Alicante almendrado
Resist. Compresión (MPa)	$128.1 \pm 15.9$	$115.3 \pm 31.5$
Resist. flexión (MPa)	$11.46 \pm 1.5$	$10.5 \pm 2.0$
Resist. choque (cm)	19	18
% pérdida de peso hielo-deshielo	< 0.01	< 0.01
Resist. Compresión después de heladicidad (MPa)	$91.0 \pm 21.1$	

## CONCLUSIONES

El mármol comercial Rojo Alicante es una roca ornamental (caliza pelágica fosilífera) caracterizada por un hermoso colorido y magníficas cualidades estéticas, con unas propiedades físicas aceptables y una porosidad y comportamiento hídrico que, junto con su composición mineralógica (porcentaje muy pequeño de esmectitas), hacen que su alterabilidad física sea baja, existiendo solamente una alterabilidad cromática cuando el mármol está expuesto en exteriores. Los mecanismos e intensidad de dicha alterabilidad cromática están siendo estudiados por nosotros dentro del marco del Proyecto en que se encuadra el presente trabajo.

Este trabajo forma parte del Proyecto GV 97-RN-14-3: "Optimización de la durabilidad del mármol comercial Rojo Alicante" financiado por la Generalitat Valenciana.

## REFERENCIAS

- García del Cura, M.A. y Ordóñez, S. (1995): Potencial geológico de mármoles en España. En "Manual de Rocas Ornamentales". (C. López Jimeno, Ed.). ETSIM. Madrid: 81-101.
- García-Hernández, M., Molina, J.M., Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1988): Acuñaamientos y geometrías sigmoidales en calizas pelágicas rojas del Jurásico de la Sierra de Reclot (Provincia de Alicante). Comunicaciones II Congreso Geológico de España, I, Granada: 83-86.
- Llopis, L., López Jimeno, C. y Mazadiego, L.F. (1992): Rocas ornamentales de Alicante. Canteras y Explotaciones, 299: 103-113.
- Ordóñez, S. García del Cura, M.A., Rodríguez, M.A. y Bernabéu, A. (1999): La riqueza geológica de la Piedra Natural en la Comunidad Valenciana. RocMaquina, 54: 99-106.
- RILEM (1980): Recommended test to measure the deterioration of stone and to asses the effectiveness of treatment methods. Commission 25-PEN: Protection et erosion des Monuments: 175-253.
- UNE (1985): Mármoles y calizas ornamentales: Resistencia a la compresión (UNE 22-185-85), Resistencia a la flexión (UNE 22-176-85) y Resistencia a las heladas (UNE 22-184-85). Instituto Español de Normalización. Madrid.
- Weber, K. (1972): Notes on the determination of illite crystallinity. Neues. Jb. Mineral. Mh. 1972: 267-276.