

# El "Crema Marfil" (Pinoso, Alicante) I. Características petrofísicas y parámetros de durabilidad.

*Crema Marfil commercial marblre (Pinoso, Alicante). I: Petrophysical properties and durability parameters.*

S. Ordóñez (\*), M<sup>a</sup> A. García del Cura (\* y \*\*), R. Fort (\*\*), & J.A. Pina (\*)

(\*) Lab. Petrología Aplicada. Universidad de Alicante. AP. 99. 03080 Alicante.

(\*\*) Insto de Geología Económica. C.S.I.C. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

## ABSTRACT:

The natural stone named "Crema Marfil" is mainly extracted from Coto Pinoso Quarries (Pinoso, Alicante) and their geological prolongations. This natural stone may be classified as a biosparite-biomicrite with veins and stylolites. The technological properties of "Crema Marfil" are comprised within of MIA requirements to accept a natural stone as a commercial marble. Mercury porosimetric data are used to establish a parameter of durability. The durability estimation from porosimetric data are not related with quality estimation from modulus of rupture and sonic velocity.

**Key words:** Crema Marfil, commercial marble, durability, mercury porosimeter, quality parameters, Pinoso. Alicante.

Geogaceta, 20 (3) (1996), 727-730

ISSN: 0213683X

## Introducción:

El mármol comercial, denominado "Crema Marfil" se extrae en el Coto Pinoso, término municipal de Pinoso (Alicante). Este yacimiento que se sitúa en el Monte Coto en una estructura anticlinal de dirección NESW con fracturas NNE-SSW a NNW-SSE y otras secundarias de ENE-WSW a E-W (Fig. 1), está formado por calizas fosilíferas del Paleógeno del subdominio Prebético Interno Central (Baena y Jerez Mir, 1982). La sedimentación paleógena en esta región es muy variable, una interpretación estratigráfica y estructural puede verse en de Ruig y otros (1991).

Sobre estas calizas se ha desarrollado un karst con claro control estructural, en el que han jugado un papel predominante las citadas fracturas que han favorecido la infiltración de aguas meteóricas, con el desarrollo de cortezas, cortinas estalactíticas de pequeña dimensión y más raramente rellenos de residuos insolubles de decalcificación asociados a las fracturas. En la parte N del anticlinal de la Sierra del Coto (de unos 12 Km de longitud) se encuentra el diapiro triásico de Pinoso.

Petrográficamente el "Crema Marfil" puede definirse como una biosparita (grainstone - packstone) con predominio de foraminíferos. Los porcentajes de aloquímicos de los diferentes tipos pueden verse en García del Cura *et al.*, en este volumen.

Otro tipo de mármol comercial correspon-

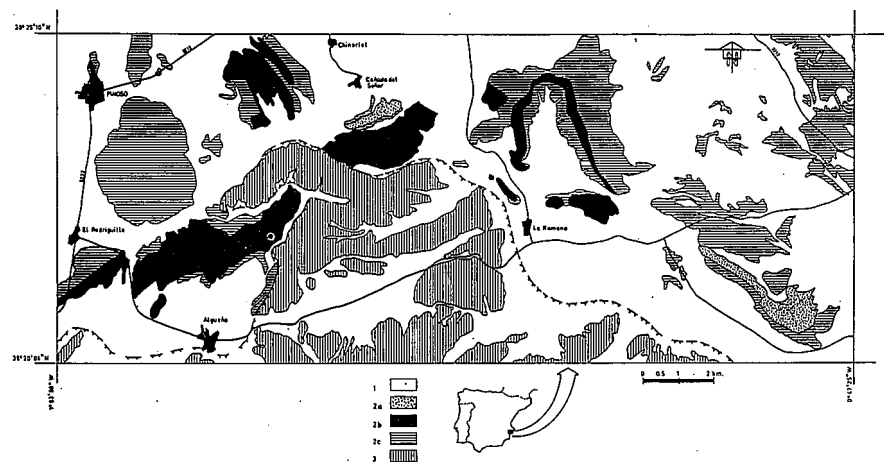


Fig. 1.- Esquema geológico. 1: Neógeno - Cuaternario. 2: Prebético: 2a. Crema Morata. 2b. Crema Marfil. 2c. Facies prebéticas indiferenciadas. 3. Subbético.

Fig. 1.- Geological scheme. 1: Neogene-Quaternary. 2. Prebético: 2a. Crema Morata (Morata Cream). 2b. Crema Marfil (Ivory Cream). 2c. Prebetic indefinite facies. 3. Subbetic.

diente a estos materiales eocenos es el "Crema Morata" (ver situación en Fig 1), actualmente apenas explotado, se trata también de una caliza fosilífera de diferentes facies, si bien predomina la biomicrita de foraminíferos, seguida de biomicritas y bioesparitas algáceas, las vênulas y estilolitos de estas facies son muy característicos. Hemos incluido asimismo el denominado "Crema Honey", que se extrae en la cantera de la S<sup>a</sup> de Quiba, T<sup>o</sup> municipal de Abanilla (Murcia).

Con una producción en 1994 de 135.000

m<sup>3</sup> el Mármol Crema Marfil es posiblemente el mármol comercial más vendido en España dedicándose la mayor parte de la producción a exportación. En el catálogo del MIA (1991) aparece recogido como mármol del tipo C. También es citado por el ITGE (1991), Lombardero & Querreda (1992), Lombardero & Regueiro (1992), García del Cura & Ordóñez (1995) y todos los catálogos españoles de rocas ornamentales.

Para este trabajo hemos tomado muestras de diferentes variedades de esta roca orna-

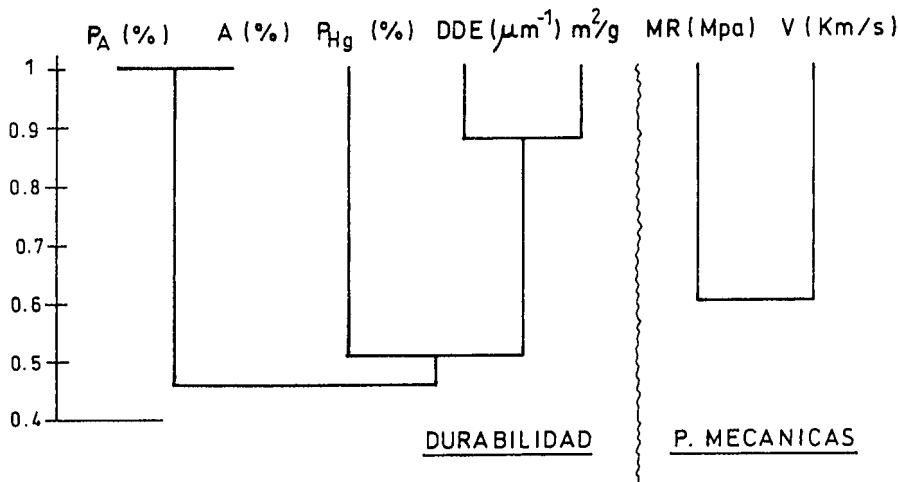


Fig. 2.- Dendrograma de las diferentes variables reflejadas en la tabla 2, separando las que afectan a la durabilidad y aquellas que están relacionadas con las propiedades mecánicas (calidad).

Fig. 2.- Dendrogram displaying relationships among data reflected in table 2, the variables related with durability have been separated from those that reflect mechanical properties (quality).

	P	V
A	0,19	0,07
B	2,68	2,68
C	-	0,01
D	125,2	152,6
E	-	132,6
F	7,42	9,27
G	56,17	58,72
H	23	23
I	168	177

Tabla 1.- Propiedades tecnológicas de algunas variedades del Crema Marfil: A, absorción (%); B, peso específico aparente,  $g/cm^3$ ; C, resistencia a las heladas (%); D, resistencia a la compresión (Mpa); E, idem después del test de heladas (Mpa); F, resistencia a la flexión; G, módulo de Elasticidad (Gpa); H, Resistencia al choque (cm); I, Microdureza Knoop.

Table 1.- Technological properties of some "Crema Marfil" varieties: A, absorption (%); B, bulk specific gravity,  $g/cm^3$ ; C, percentage of remaining weight after 25 freeze-thaw cycles (%); D, compressive strength (Mpa); E, idem after 25 freeze-thaw cycles, (Mpa); F, modulus of rupture; G, modulus of elasticity (Gpa); H, impact test (cm); I, Knoop microhardness.

mental: "Grano de Arroz" (GA), "Pintas" (PI), "Aguas Oscuras" (AO), "Claro" (C), "Aguas Claras" (AC), Morata (M), "Honey" (H), "Primera" (P)- "Veta" (V). Los análisis tecnológicos realizados, tienen únicamente significación científica para las muestras estudiadas, no pudiendo extender las consideraciones que aquí se hacen a la totalidad de los productos comerciales con idéntica o parecida denominación. El objeto de este trabajo es presentar diversos parámetros tecnológicos obtenidos sobre esta importante roca ornamental, así como establecer una relación entre los mismos. El tipo de parámetros considerados son los hídricos, mecánicos (dureza superficial, flexión y compresión), velocidad sónica y porosimetría de mercurio. Asimismo se han aplicado estimadores de durabilidad basados en los datos de porosimetría de mercurio.

**Propiedades Tecnológicas.**

El uso de los materiales pétreos como materiales de construcción se encuentra regulado por especificaciones, por otra parte muy semejantes en los diversos países, con las matizaciones climáticas ambientales que les son propias. Y a su vez las especificaciones, suelen referirse a una Norma, que permite responder a los límites que marcan las especificaciones. El objeto de la normativa es doble, por un lado constituye un criterio básico de prospección de nuevos yacimientos, y por otro lado es el criterio que permite al prescriptor el uso en las mejores condiciones. Sin embargo, a diferencia de otros recursos minerales, las características estéticas del material, y la "durabilidad" definen mejor que las propiedades tecnológicas convencionales el interés como roca de

construcción u ornamental de una roca natural.

Las características tecnológicas de las variedades P y V, obtenidas usando la norma UNE 22-85 han sido recogidas en la tabla 1. Se puede observar como las variedades de "Crema Marfil", presentan unos valores de la absorción al agua (%) inferior al 0.19 %. La resistencia a las heladas, definida por la pérdida de peso después de veinticinco ciclos de hielo-deshielo, puede considerarse inferior a 0.01 %, y la pérdida de resistencia a compresión después de los veinticinco ciclos es del orden del 13 %. El módulo elástico estimado mediante velocidad sónica del material supera los valores de 56,17 Gpa. La resistencia al choque estimada por la altura de caída de esferas de peso normalizado sobre probetas de dimensiones normalizadas es del orden de 23 cm. La microdureza Knoop es 168 en la variedad P y 177 en la variedad V, lo que está de acuerdo con la dureza del mineral calcita dominante. Los valores del módulo de ruptura, determinado mediante ensayo de cuatro puntos (Norma UNE), más exigente que el equivalente de la Norma ASTM C-99, presenta valores que superan siempre el valor de 7.42 Mpa. Estos datos permiten asegurar que estos materiales cumplen las características exigibles a los mármoles comerciales según el MIA (Marble Institute of America). Según el MIA, "las calizas recristalizadas, calizas compactas, onices, serpentinas y travertinos, que tienen capacidad para tomar pulimento están incluidas en la categoría de mármoles y se comercializan en Norteamérica como mármoles", MIA (1991). En la citada publicación, MIA (1991), el "Crema Marfil", está incluido en la categoría C, que comprende "mármoles con algunas variaciones en las calidades, vacíos, vénulas y contactos lineales. Es práctica común usar ceras, mastics, así como relleno o consolidantes superficiales en estos mármoles".

En la tabla 2, se han recogido las siguientes características tecnológicas correspondientes a las variedades de "Crema Marfil", anteriormente señaladas: velocidad sónica,  $V_c$ ; densidad aparente,  $\rho$ ; porosidad accesible al agua,  $P_A$ ; porosidad de intrusión de mercurio  $P_{Hg}$ ; Absorción; Estimador Dimensional de Durabilidad, DDE; superficie específica; Módulo de ruptura.

Las velocidades sónicas de todas las variedades reflejan claramente unos valores elevados, como corresponde a materiales de módulo elástico alto. Teniendo en cuenta que el mineral dominante es calcita, cuya densidad es  $2,712 g/cm^3$ , cuyas velocidades sónicas alcanzan  $6,53 Km/s$ , Carmichael (1990); y la baja porosidad accesible al agua, que nunca supera el 1 %, se puede deducir que se trata de materiales con un índice de fisura-

ción muy bajo, Groulier y otros (1991).

El módulo de ruptura, es otro de los parámetros reflejado en la tabla 2, se encuentra relacionado positivamente con la velocidad sónica con un coeficiente  $r=0.60$ . El módulo de ruptura se considera, Mancini y otros (1994), como el más importante parámetro para definir las propiedades mecánicas de la roca ornamental. Ello pone de manifiesto la importancia de la velocidad sónica como técnica no destructiva en el estudio de rocas ornamentales.

#### Porosimetría de mercurio y comportamiento hídrico.

Los datos de porosimetría de mercurio han sido obtenidos mediante un aparato Aus-toscan - 60, que permite obtener la distribución volumétrica del tamaño de poros desde 213 hasta 0.0018  $\mu\text{m}$ . Los datos de la porosidad accesible al mercurio están recogidos en la tabla 2. Los espectros de porosidad para cada una de las muestras se han reflejado en la tabla 3. Como es bien conocido la porosimetría de mercurio permite hasta cierto punto conocer la forma de los poros, utilizando las diferencias en el comportamiento del fluido (mercurio) con presiones crecientes y decrecientes. Estos datos permiten asegurar, que prácticamente todos los poros con diámetros inferiores a 10  $\mu\text{m}$  presentan morfologías en forma de cuello de botella, Rodríguez y García Ruíz (1995), y en consecuencia el mercurio intruido con presiones crecientes queda atrapado parcialmente en los poros cuando desciende la presión.

Presenta gran interés el carácter polimodal de las distribuciones del tamaño de poros. En general, salvo algunas variedades, la V y M, todas las demás presentan una moda a 0.01  $\mu\text{m}$ , cuya interpretación de acuerdo con los datos petrográficos, ver García del Cura y otros (este volumen), pudiera tratarse de porosidad intramicrita. Otra moda parece situarse en el tamaño 10  $\mu\text{m}$ , que podría estar relacionada con porosidad intrapartícula. Por último todas las variedades presentan un macroporosidad superior a 100  $\mu\text{m}$ , que esta relacionada con diaclasas extensionales, descritas en García del Cura y otros (este volumen).

Todos los autores parecen estar de acuerdo que los tests de cristalización de sales, con muchas limitaciones, son un indicador de la durabilidad, Jefferson (1993). La durabilidad según la ASTM-C119, "es la aptitud de una roca natural de construcción para permanecer y para mantener sus características esenciales, de resistencia mecánica, resistencia a la alteración y aspecto; en relación con una determinada manera de usarla en unas condiciones ambientales definidas". Los datos de porosidad han sido usados de modo directo e indirecto para la estimación de

	V <sub>c</sub>	$\rho$	P <sub>A</sub> %	P <sub>Hg</sub> %	Absorción	DDE $\mu\text{m}^{-1}$	Superficie Específica $\text{m}^2/\text{gr}$	Módulo Ruptura MPA
GA	5,97	2,698	0,53	0,98	0,20	0,21	0,30	13,74
PI	5,92	2,692	0,71	0,43	0,27	0,28	0,33	10,65
AO.	5,91	2,684	0,99	1,46	0,36	1,38	0,79	10,72
C	5,78	2,699	0,51	1,02	0,19	0,28	0,45	11,43
AC	5,83	2,693	0,54	0,74	0,20	0,87	0,84	8,71
M	---	2,690	0,53	0,86		0,01	0,01	---
H	5,56	2,700	0,46	1,04	0,20	0,20	0,47	8,28
P	5,78	2,691	0,95	0,91	0,19	0,10	0,22	7,42
V	5,90	2,699	0,46	0,25	0,07	0,01	0,001	9,26

Tabla 2.- Datos de propiedades de las diversas variedades de "Crema Marfil": 1) Propiedades mecánicas (V<sub>c</sub>, velocidad sónica; MR, módulo de ruptura). 2) Comportamiento hídrico (P<sub>A</sub>, porosidad al agua; A, absorción). 3) Porosimetría de mercurio (P<sub>Hg</sub>, porosidad total al Hg; DDE, estimador dimensional de porosidad y superficie específica.

Table 2.- Data of some properties of "Crema Marfil" varieties: 1) Mechanical properties (V<sub>c</sub>, sonic velocity; MR, modulus of rupture). 2) Hydric behaviour (P<sub>A</sub>, water porosity; A, absorption). 3) Mercury porosimeter data (P<sub>Hg</sub>, mercury total porosity; DDE, dimensional durability estimator and specific surface.

la durabilidad, Jefferson (1993), Bell (1993). Hemos propuesto para rocas porosas un Estimador Dimensional de Durabilidad (DDE), Ordóñez y otros (1994). Este estimador esta basado en las consideraciones teóricas realizadas por Fitzer y Shethlage (1982), acerca de la presión de cristalización de sales en los poros. Estos autores señalan que para una especie salina determinada la presión de cristalización es proporcional a la inversa del tamaño del poro en el que cristaliza la fase salina. Por lo tanto a partir de esta consideración, y partiendo de los datos de porosimetría de mercurio se puede proponer el «estimador dimensional de la durabilidad (DDE)», como:

$$DDE = \sum \frac{v(d)}{d}$$

donde V(d) representa el volumen de poros del tamaño d. De esta ecuación, y partiendo de la curva de distribución del tamaño de poros, podemos escribir:

$$DDE = 10^{-4} \sum \frac{P_{Hg} P_d}{d}$$

en la que P<sub>Hg</sub> (%), es la porosidad total de intrusión de mercurio; y P<sub>d</sub> (%), es la porosidad para la marca de clase d, en el intervalo considerado.

En la tabla 3, se han recogido los resulta-

dos del DDE, pudiendo observarse como influye las porosidades de pequeño tamaño sobre la durabilidad. En la tabla 2, se ha incluido un parámetro: la superficie específica de las diferentes variedades de Crema Marfil; resulta sorprendente la alta correlación entre superficie específica y el DDE, con coeficientes  $r=0.88$ . Este dato esta de acuerdo con las observaciones realizadas por Matsuoka (1988), en el sentido de que después de algunos cientos de ciclos hielo-deshielo, existía una correlación perfecta entre la superficie específica de la roca ensayada, y la pérdida de peso en el ensayo hielodeshielo, corregida con el número de ciclos a los que la roca había sido sometida.

El comportamiento hídrico y los datos de porosimetría de mercurio de las variedades del Crema Marfil aparecen en la tabla 2. Las diferentes variedades del Crema Marfil presentan porosidades menores de 1 % y su absorción de agua es menor de .36%. Sin embargo resulta interesante señalar que existe un coeficiente de correlación elevado entre Absorción y Porosidad al agua. Estas relaciones con diferentes nombres han servido para caracterizar la durabilidad de los materiales de forma empírica, ver recientemente Richardson (1991). La caracterización se hace en base a considerar materiales semejantes, y comparar la absorción de agua del material con la porosidad. La absorción de agua va a estar muy influida por la capilaridad del material, y esta a

	I	II	III	IV	V	VI	DDE
GA	3.73	29.34	0.20	5.52	36.52	21.93	0.2067
P	16.13	48.14	0.21	0.96	22.03	12.55	0.2849
A.O.	26.68	30.88	0.15	12.53	12.76	16.72	1.3751
C.	4.74	38.12	0.17	5.00	26.58	25.45	0.2762
A.C.	31.03	60.57	0.19	0.88	6.63	0.99	0.8679
M.	0.00	0.00	0.19	52.21	35.73	5.37	0.0016
H.	1.98	40.92	0.08	0.57	42.82	13.74	0.1999
P.	0.30	30.43	0.08	1.58	53.30	14.51	0.1140
V.	0.00	0.00	0.10	2.56	73.80	23.65	0.0001

Tabla 3.- Distribución del volumen de poros según intervalos de tamaño (µm): I: 0.001 - 0.01µm, II: 0.01 - 0.1 µm; III: 0.1 - 1µm; IV: 1-10µm; V: 10 - 100µm; VI: 100 - 200µm. DDE: estimador dimensional de durabilidad.

Table 3.- Pore size volume distribution. Class intervals (µm): I: 0,001 - 0,01µm, II: 0,01 - 0,1µm; III: 0,1 - 1 µm; IV: 1-10µm; V: 10 - 100 µm; VI: 100 - 200 µm. DDE: Dimensional Durability Estimation.

su vez por el tamaño de poro, sin embargo como ha señalado Jefferson (1993) estos métodos empíricos no parecen adecuados para caracterizar la durabilidad. En nuestros datos se puede observar, Fig 2., que los parámetros de durabilidad están poco relacionados con los de comportamiento hídrico.

**Conclusiones finales**

El Crema Marfil que se extrae en Coto Pinoso y sus prolongaciones geológicas presenta las características de un "mármol comercial", en la nomenclatura de la MIA, MIA (1991) y Harben & Purdy (1991).

El tratamiento de los datos recogidos en la tabla 2, nos ha permitido establecer, a partir de los datos físicos de las variedades del Crema Marfil, las relaciones que ligan entre sí los diferentes tipos de datos. Partiendo de los coeficientes de correlación y mediante un criterio de fusión se puede obtener una imagen simplificada de las relaciones entre los diversos tipos de datos obtenidos, Fig. 2. Pudiendo constatar que las propiedades mecánicas instantáneas pueden estimarse mediante técnicas no destructivas sónicas. Los parámetros de durabilidad más fiables presentan una buena relación entre sí, y muy diferente de los parámetros que definen el comportamiento hídrico de las rocas. Y por último se pueden separar de modo claro unos parámetros que pudieran afectar a la

durabilidad, de otros parámetros que únicamente están relacionados con la calidad en cuanto a resistencia mecánica.

Como aplicación inmediata se puede señalar que las variedades "Crema Marfil" estudiadas presentan buenas características de durabilidad; aceptables características de resistencia a flexión, fundamentalmente por la presencia de discontinuidades; sin embargo las variedades suelen apreciarse comercialmente por su aspecto estético, lo que en general no está en consonancia ni con su aptitud frente a la durabilidad, ni con sus características mecánicas. Por último hemos de señalar que la porosimetría de mercurio parece que constituye un test de durabilidad aceptable frente a los clásicos tests de cristalización de sales y de hielo deshielo. Recientemente se ha validado el interés de esta técnica aplicándola a rocas monumentales, La Iglesia y otros (1994).

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado dentro del Proyecto CICYT: AMB 93-0019.

**Referencias**

Azema, J. (1977) *Etude géologique des Zones Externes des Cordillères Bétiques aux confins des provinces d'Alicante et de Murcie* (Espagne). Thèse Univ. Paris. 393 pags.

Baena, J. y Jerez Mir, L. (1982) *Síntesis para un ensayo paleogeográfico entre la Meseta y la zona Bética*. I.G.M.E. 256 pags.  
 Bell, F.G. (1993) *Environmental Geology*, 21, 187-200.  
 Carmichael, R.S. (1990) *Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals*. C.R.C. Press. Florida. 741 pp.  
 Esbert, R., Montoto, M. & Ordaz, J. (1991). *Mat. Con.* 41, 61-73.  
 García del Cura, M.A. & Ordóñez, S. (1995). En "*Manual de Rocas Ornamentales*" (C. Lopez Jimeno Ed.): 81-101. ETSI Minas Madrid.  
 ITGE. 1991. *Mármoles de España*. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.  
 Groulier, J., Fernández, A., Hucher, M. y Riss, J. (1990) *Les propriétés physiques des rohes*. Masson. 462 PP  
 Harben, P. y Purdy, J. (1991) *Industrial Minerals & Rocks*, 281, 47-61.  
 Jefferson, D.P. (1993). *Quarterly Jour. Eng. Geology*, 26, 305-319.  
 La Iglesia, A., García del Cura, M.A. y Ordóñez, S. (1994) *The Science of the Total Environment*, 152, 179-188.  
 Lombardero, M. y Quereda, J.M. (1992). En "*Recursos Minerales de España*" (García Guinea, J. y Martínez Frias, J. Eds.): 1115-1150. C.S.I.C. Madrid.  
 Lombardero, M. & Regueiro, M. (1992). *Industrial Minerals*, 300, 81-97.  
 Llopis, L., Lopez Jimeno, C. (1991). *Canters y Explotaciones*, 289: 50-58.  
 Mancini, R. Marini, P. & Morandini, A. (1994). *III Cong. Italo Brasiliano di Ingegneria Mineraria*. Verona. 1994. 298-300.  
 Matsuoka, N. (1988). *Science Reports of Institute of Geoscience*, A, 9, 1-36  
 MIA (1991) *Dimension Stone Design Manual*, M-17-22.  
 Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Fort, R. López de Azcona, M.A. & Mingarro, F. (1994). 7th Int. IAIEG Cong. Lisboa 1994, V; 3595- 3604 Balkema. Rotterdam  
 Rodríguez García, F. y García Ruíz, P. (1995) *Ingeniería Civil*, 97, 21-37.  
 Richardson, B.A. (1991). *Stone Industries*, December, 22-25.  
 De Ruig, M.J., Smith, J., Geel, T. & Kooi, H. (1991). *Geol. Soc. Am. Bull.*, 103, 1504-1512.