

# Caracterización de las Calizas de Almayate (Málaga) y evaluación de la calidad técnica como Materiales de Construcción

*Characterization of Amayate Limestone (Malaga) and evaluation of its technical quality as building stone*

M.I. Carretero(\*), E. Mayoral(\*\*) y E. Galán(\*)

(\*) Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, Universidad de Sevilla. 41071 Sevilla

(\*\*) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva. Palos de la Frontera 21819 Huelva

## ABSTRACT

Since XVIII century, Miocene-Pliocene limestones from Almayate (Málaga) were used in historical buildings of Western Andalusian Heritage. They are sandy bioclastic limestones, with high porosity and water absorption, and low mechanical strength. These properties correspond to a low technical quality stone as building material, which should prevent its use for construction. Presently buildings made up of Almayate limestones should be treated with appropriate protective products.

**Key words:** limestone, building stone, petrophysical properties, technical quality, Almayate (Málaga)

Geogaceta, 20 (3) (1996), 735-737

ISSN:0213683X

## Introducción

Las calizas de Almayate se han utilizado desde el siglo XVIII como piedra estructural en la construcción. Están representadas en diversos edificios civiles y religiosos del Patrimonio Arquitectónico Andaluz, entre ellos las Catedrales de Cádiz y Málaga. En la construcción de esta última se empleó en gran cantidad en muros y macizos de la fachada principal y torres, cubillos, costados y en el interior de la iglesia en toda su amplitud, ya que en el año 1731 el Cabildo de la Catedral de Málaga compró los terrenos donde se encuentran las canteras.

En este trabajo se estudian las características petrográficas y geoquímicas, y las propiedades físicas más significativas de las calizas de Almayate para: a) evaluar su calidad técnica como material de construcción, b) contribuir al banco de datos de las canteras y piedras utilizadas en las construcciones histórico-artísticas andaluzas, para, en su caso, localizar por comparación el origen de los materiales pétreos y utilizarlos para reposiciones o trabajos experimentales, y c) prever la patología de este material en edificios de nueva planta. Los resultados servirán también como base para el diagnóstico del estado de alteración de edificios de interés histórico-artístico realizados con caliza de Almayate.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	P.C.	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
C1	30.2	27.9	33.9	0.85	4.1	0.80	0.29	2.04	0.10
C2	17.5	34.8	43.1	0.54	2.3	0.38	0.18	0.89	0.08
C3	21.2	32.9	40.7	0.55	2.7	0.58	0.16	1.06	0.10
C4	21.2	33.0	41.7	0.47	2.4	0.38	0.12	0.88	0.08
C5	19.3	33.6	42.8	0.50	2.4	0.37	0.14	1.05	0.08
C6	15.8	35.8	44.8	0.38	2.0	0.48	0.25	0.70	0.08
C7	21.3	32.9	41.7	0.34	2.3	0.42	0.12	0.82	0.08
C8	19.2	34.1	43.0	0.38	2.3	0.45	0.12	0.77	0.08
C9	22.3	31.7	41.0	0.39	2.8	0.47	0.14	0.97	0.06

Tabla 1a. Análisis químico de los elementos mayoritarios y minoritarios (%) de las muestras de calizas de Almayate

Table 1a.- Chemical analysis of major and minor elements for Almayate limestone (%).

Muestra	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Sr	Ba	Cr	Cd
C1	304	27	29	8	37	31	130	470	28	14
C2	115	23	28	9	24	30	161	125	19	15
C3	202	21	29	11	25	31	101	137	19	17
C4	216	21	29	12	22	31	102	129	16	15
C5	263	25	27	9	30	34	110	125	17	16
C6	115	22	28	9	23	30	112	124	17	16
C7	103	20	30	8	21	29	99	125	16	16
C8	112	21	28	12	22	30	101	121	17	16
C9	121	21	30	11	25	31	96	129	18	16

Tabla 1b. Análisis químico de los elementos traza (ppm) de las muestras de calizas de Almayate

Table 1b.- Chemical analysis of trace elements for Almayate limestone (ppm).

## Localización geográfica y situación geológica de las canteras

Las canteras de calizas corresponden a dos afloramientos pertenecientes al término municipal de Vélez-Málaga (Fig. 1), uno localizado en las cercanías del pueblo de Almayate Bajo, frente al kilómetro 274.2 de la

nacional 340, y el otro en las proximidades del paraje denominado Valle de Niza, junto al Castillo del Marqués de Vélez, con acceso por el punto kilométrico 270.5 de la nacional 340.

Desde el punto de vista geológico estas canteras pertenecen a depósitos terciarios Mioceno-Plioceno, que aparecen discordan-

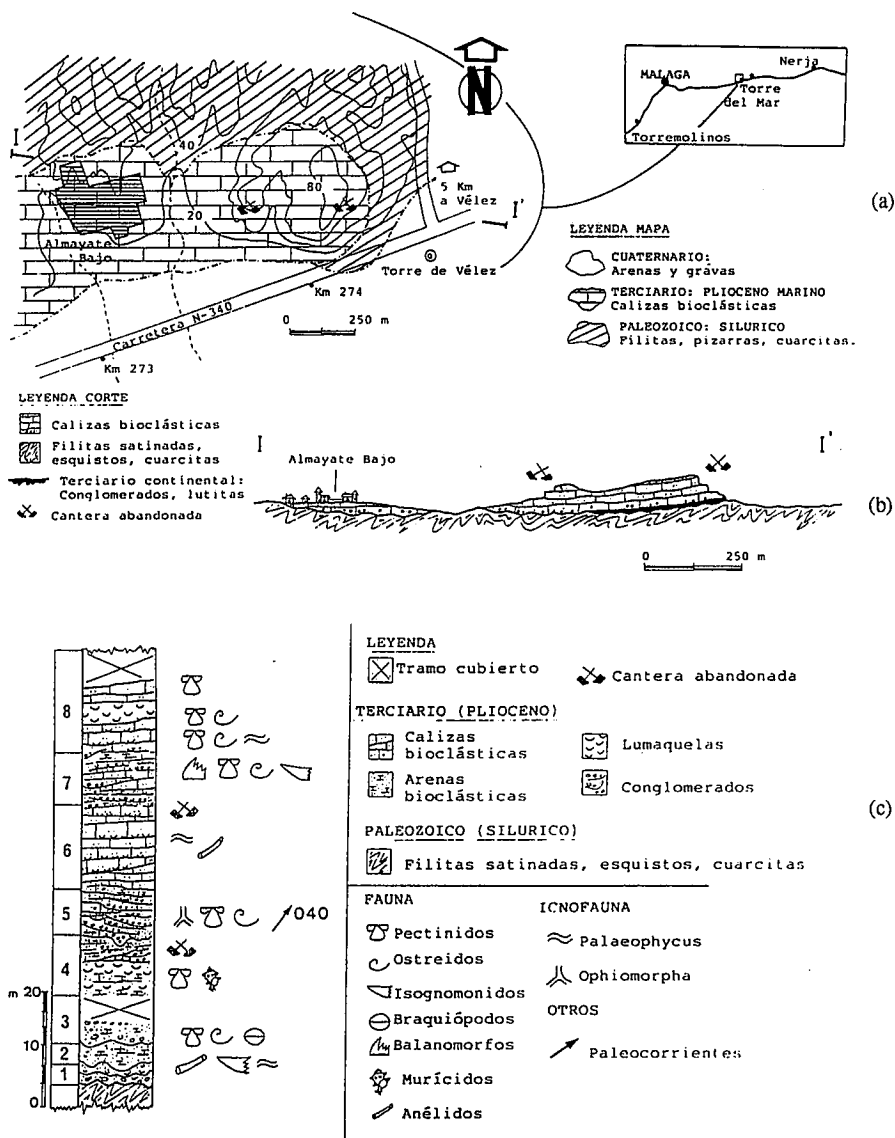


Fig. 1.- (a) situación geográfica y geológica de las canteras de Almayate. (b) corte geológico esquemático. (c) columna estratigráfica

Fig. 1.- (a) Geographic and geological locations of Almayate quarries (b) Geological cross-section. (c) stratigraphic section

tes sobre los materiales paleozóicos del Complejo Maláguide, representado en esta zona por la llamada Unidad de Almayate (esquistos, cuarcitas, filitas y conglomerados de posible edad silúrica) (Elorza y García-Dueñas, 1981). La serie terciaria consta de muro a techo de los siguientes tramos (Fig. 1) (Mayoral y Rodríguez Vidal, 1994):

a) Conglomerados heterométricos de pizarras, filitas y cuarcitas con gravas y arenas microconglomeráticas conchíferas que rellenan el fondo de pequeños paleocanales (10 a 15 m de potencia).

b) Conjunto relativamente potente (30 a 55 m) de calizas bioclásticas más o menos masivas o tableadas, con estratificación cruzada de bajo ángulo y superficies basales erosivas. Se intercalan con niveles y/o bolsadas de conglomerados semejantes a los del tramo inferior, junto con horizontes de

areniscas y limos amarillentos de poco espesor. En los paquetes calizos de este conjunto de materiales es donde se localizan todos los niveles antiguos de explotación.

**Caracterización petrográfica y geoquímica**

Para este estudio se han tomado un total de nueve muestras, de los afloramientos mencionados. La caracterización se realizó por microscopía óptica, difracción de rayos X y espectrometría de absorción atómica (análisis petrográfico, mineralógico y químico).

Todas las muestras son calizas bioclásticas arenosas con extraclastos caracterizadas por tener cemento esparítico de tipo granular y drúsico, poseer de un 20-30% de bioclastos con serpúlidos y res-

tos muy escasos de equinodermos, 5% de terrígenos (cuarzo y micas), 10-15% de extraclastos (pizarras cloríticas y cuarcitas) y 15-25% de porosidad tipo canal, geoda e intrapartícula. Están compuestas por 60-75% de calcita, 15-25% de cuarzo y 10-15% de filosilicatos (predominantemente illita y trazas de caolinita, esmectitas, clorita e interestratificados illita-esmectita). Del estudio estadístico de los datos de análisis químico (Tabla 1) se deduce que existe una buena correlación negativa entre Si-Ca (-0.85, relación inversa cuarzo-calcita), no existe correlación entre Si-Mg y solo es discreta entre Ca-Mg (0.50). Los elementos Al y K poseen una alta correlación (0.90), lo que indica que forman parte fundamentalmente de los filosilicatos (illita). Por otro lado Al y K tienen una buena correlación negativa con Ca (-0.80 para Al, -0.71 para K) consecuencia de que las muestras con más calcita son más pobres en filosilicatos. A su vez, Al y K están correlacionados con Si positivamente lo que puede indicar la procedencia común y quizás contemporánea de cuarzo y filosilicatos (minerales detríticos). El Fe presenta una correlación muy alta y positiva con Al y K (0.91 para Al, 0.78 para K) y negativa con Ca (-0.91) de lo que se deduce que el Fe va asociado en estas calizas a los filosilicatos, además de poder estar como óxidos o hidróxidos, porque en el análisis de cluster  $Fe_2O_3-Al_2O_3$  se distinguen dos grupos, uno formado por las muestras que tienen más filosilicatos y otro con el resto de las muestras. El Mn presenta una buena correlación positiva con Fe (0.74), y por ello debe estar asociado a los óxidos de hierro. El Ni aparece discretamente correlacionado con Fe, y el Co con Al y Fe, estos elementos pueden ir como óxidos libres junto a los óxidos de hierro, o formando parte de los filosilicatos (clorita). El Ba tiene una buena correlación con Al, K, Na e Fe por lo que puede estar formando parte de micas y quizás de feldspatos no detectados en DRX y microscopía.

La determinación de los isótopos estables  $^{18}O$  y  $^{13}C$  se ha llevado a cabo siguiendo el método descrito por McCrea (1950) y Craig (1957). El análisis se ha realizado sobre calcita de tres muestras de calizas (sin diferenciar clastos de cemento), los contenidos encontrados se refieren por tanto al promedio de la roca. Los valores obtenidos son muy semejantes para las muestras estudiadas, así  $\delta^{13}C_{(PDB)}$  oscila de -6.23 a -6.55,  $\delta^{18}O_{(PDB)}$  de -4.36 a -4.58, y  $\delta^{18}O_{(SMOW)}$  de 26.19 a 26.41. Estos datos suponen que dentro del ambiente marino de esta formación, existen episodios de influencia claramente continental, de acuerdo con Milliman (1974).

**Propiedades físicas**

Se han determinado las siguientes propiedades físicas: velocidad de transmisión de ultrasonidos mediante el método directo; densidad real, densidad aparente, porosidad total y porometría mediante una combinación de inyección de Hg, adsorción de N<sub>2</sub> (método BET) y microscopía óptica con análisis de imagen; capacidad de absorción de agua por capilaridad y resistencia mecánica a la compresión uniaxial, siguiendo la metodología standard.

Las calizas de las canteras de Almayate se caracterizan por tener una velocidad de transmisión de ultrasonidos de 2037 m/s (media de 30 probetas) y una porosidad total por inyección de Hg alrededor de 35% Vol. El histograma de distribución de radio de poros por inyección de Hg muestra un amplio rango de tamaños de poros con dos máximos relativos, alrededor de 1 y 20µm (Fig. 2). En el histograma correspondiente a análisis de imagen de los macroporos al microscopio se observa una gran asimetría, si bien también hay un amplio rango de valores de radios de poros, siendo más abundantes los poros de radio alrededor de 60-400 µm. Todas las muestras poseen poros de cuello de botella con conductos de entrada <4µm, pero como los valores de BET (2.81 m<sup>2</sup>/g) y porosidad total son elevados, los poros de cuello de botella serán de gran tamaño, con varios conductos de entrada de muy pequeño tamaño. Por otra parte, la densidad de estas calizas es de 2.69 g/cm<sup>3</sup> y la densidad aparente de 1.76 g/cm<sup>3</sup>.

La absorción de agua por capilaridad se realiza en dos fases, la primera con un coeficiente de capilaridad muy elevado (267

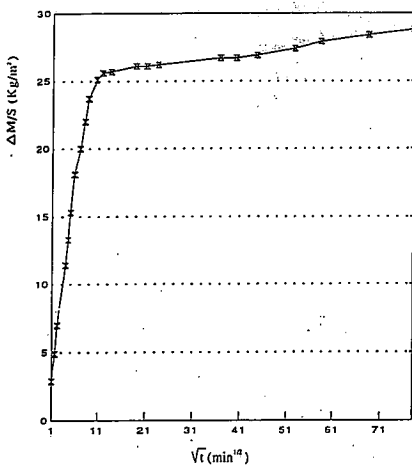


Fig. 3.- Curva de absorción de agua por capilaridad de la caliza de Almayate

Fig. 3.- Capillariti water absorption curve of Almayate limestone.

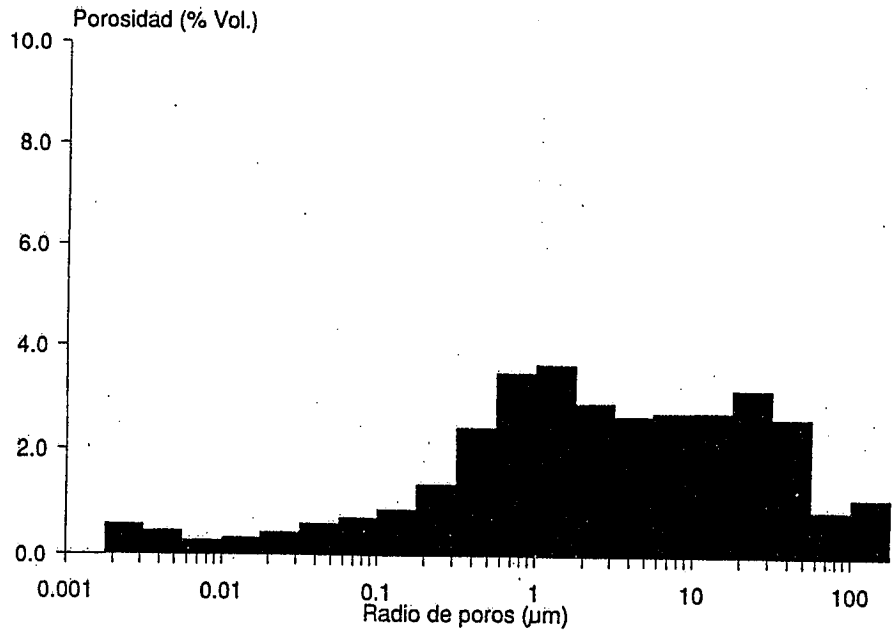


Fig. 2.- Distribución de radios de poros de la caliza de Almayate obtenida por porosimetría de Hg.

Fig. 2.- Porc radii distribution of Almayate limestone. Mercury porosimetry.

Kg/m<sup>2</sup>.min<sup>0.5</sup>) durante la cual la piedra absorbe gran cantidad de agua muy rápidamente (~ 25 Kg/m<sup>2</sup>), y una segunda fase mucho más lenta, con un coeficiente de capilaridad muy pequeño (23 Kg/m<sup>2</sup>.min<sup>0.5</sup>). Este comportamiento frente a la absorción de agua está de acuerdo con la porosidad y sistema poroso de esta piedra, ya que posee poros de gran tamaño y elevada porosidad, que facilitará una rápida absorción de agua. Pero tiene también una gran microporosidad que hace que la caliza absorba agua muy lentamente, y la probeta no llegue a la saturación al finalizar el ensayo (Fig. 3). La resistencia mecánica a la compresión uniaxial de estas calizas es de 50 Kg/cm<sup>2</sup> (media de diez probetas).

**Evaluación de la calidad técnica**

Considerando los valores de las propiedades físicas de estas piedras se puede decir que las calizas de Almayate se encuadran en la clasificación de «muy baja» calidad técnica para su empleo como material de construcción (Zezza et al., 1985), lo que está de acuerdo con su comportamiento ante ensayos de alteración acelerada (Galán y Carretero, 1994).

**Conclusiones**

Las calizas de Almayate son materiales de alta porosidad y absorción de agua, y baja resistencia mecánica, y por consiguiente de muy baja calidad técnica. Esta piedra será fácilmente degradable por los agentes de alteración, sobretodo cuando

esté localizada en el exterior de un monumento expuesta a contaminación industrial y/o urbana, y aerosoles salinos. Por lo tanto es desaconsejable su empleo como material de construcción, y aquellos edificios construidos con caliza de Almayate deberían protegerse con productos de conservación adecuados, para detener o disminuir los procesos de degradación.

**Referencias**

Craig, H. (1957): Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide, *Geochim. Cosmochim. Acta* 12, 133-149.  
 Elorza, J.J. y García Dueñas, V. (1981): Memoria y mapa geológico de la hoja nº 1054= Vélez-Málaga. Escala 1:50.000. Plan MAGNA. I.G.M.E. 59 pp.  
 Galán, E. y Carretero, M. I. (1994). *Bol. Soc. Esp. Min.* 17, 179-191.  
 Mayoral, E. y Rodríguez Vidal J. (1994): *Geogaceta*, 16, 110-113.  
 Milliman, J.D. (1974): *Marine Carbonates. Part 1 of Recent Sedimentary Carbonates*. Springer-Verlag: Berlín, 375 pp.  
 McCrea, J.M. (1950): *J. Chem. Phys.* 18, 849-857.  
 Zezza, F., Baldassarre, R., Pagliarulo R. & Raccianello F. (1985): Applicazioni del point-load test per la classificazione della resistenza e la correlazione con le prove a compressione monoassiale delle pietre da costruzione dei bacini di Trani e di Apricena. *Quarry and Construction. Atti III Convegno Nazionale sull'attività estrattiva dei minerali di 2ª categoria*, Bari, 179-181.