

Caracterización, tecnología de fabricación y calidad de los materiales de construcción del monumento funerario de Fabara (Zaragoza)

Characterization, manufacturing techniques and quality of building materials in Fabara's mausoleum (Zaragoza)

S. Delgado Cabriada†, N. Andaluz Morillo, J. Gisbert Aguilar, C. Marín Chaves

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza.

ABSTRACT

It has been studied the materials (rock and mortar) used in the construction of the Fabara's Mausoleum (Zaragoza) in order to establish the relation between their compositional-textural characteristics and their chronology, function and quality. The monument is from the Roman age.

This work deals with the study of the samples using petrographic, x-ray power diffraction and chemical techniques. The blocks of stone are constituted by lithic arenites (calclitithe). Besides it has been achieved a comparative study with rocks taken from several nearby quarries to provide information on the provenance of the blocks of stone used in the construction of the monument. The mortars have been used in construction of the claddings, the pavements and the foundation. These last ones are made using the shuttering technique. The samples are constituted of lime mortars with a heterogeneous aggregate constituted from quartz and limestones coming from aluvial sediments of the Matarraña River, except the first layer of the cladding which shows the aggregate constituted of limestone (sparite). The binder used in the manufacturing of the mortars differs in their hydraulic properties. These results are in relation with their function in the monument.

Key words: Mausoleum, Roman age, block of stone, lithic arenite, quarry, lime mortar, binder, aggregate, hydraulic properties.

Geogaceta, 24 (1998), 103-106
ISSN: 0213683X

Introducción

El monumento funerario de Fabara se encuentra dentro del término municipal de esta localidad, situada en el Bajo Aragón zaragozano. Esta comarca se halla enclavada en el sector central de la Depresión Terciaria del Ebro. Esta constituida por materiales detríticos (lutitas y arenitas) con carbonatos y evaporitas, todos ellos dispuestos subhorizontalmente con un suave buzamiento hacia el N y NW. Estos materiales han sido depositados durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior (González, 1989).

Aunque la mayoría de los autores fechan el monumento entre mediados del s. II d. C. y comienzos s. III d. C., Cancela, (1991) lo remonta a los primeros años del s. II d. C..

El edificio tiene forma de pequeño templo de planta rectangular, casi cuadrada (Fig. 1), y está realizado en *opus quadratum* de estructura pseudoisodoma. Al interior conserva la estructura original

de *cella* y *conditorium* cubiertos con bóveda de medio cañón y comunicados mediante una escalera en codo

Se ha efectuado el estudio de los materiales de construcción del edificio y un análisis comparativo con los datos obtenidos del análisis de las rocas de las canteras adyacentes a éste (realizado por Gisbert *et al.*, 1995), para determinar la procedencia de los sillares. En este sentido también se han tomado muestras de el aluvial del río Matarraña para realizar un estudio comparativo con el árido de los morteros.

Metodología y resultados

ROCAS

Microscopía óptica de polarización.

Las muestras estudiadas de los sillares del monumento son extraordinariamente homogéneas. Éstas corresponden a areniscas de 0,4 mm. de tamaño medio, con una selección granulométrica muy buena (Beard, and Weyl, 1977) y una

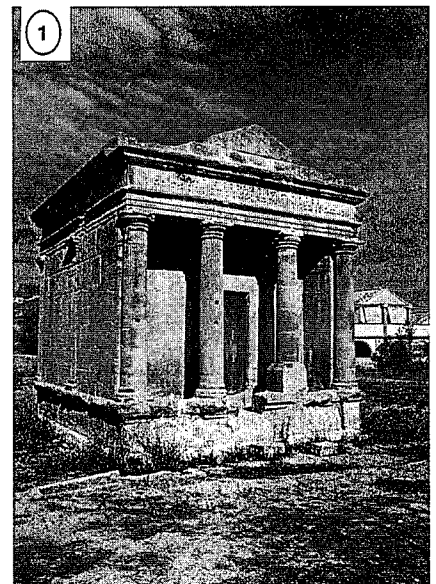


Fig. 1- Panorámica del Monumento Funerario de Fabara. (6,6 m. de alto)

Fig. 1- General view of the Fabara's Mausoleum. (It is 6,5 m. high)

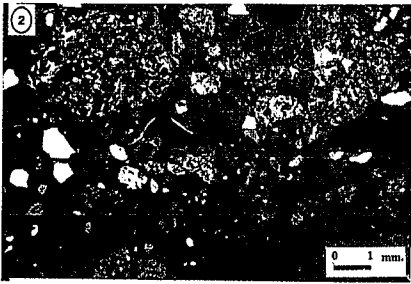


Fig. 2- Mortero de cal correspondiente al pavimento de la *cella*. Nícoles cruzados.

Fig. 2- Lime mortar used in the pavement of the *cella*. Crossed nicols.

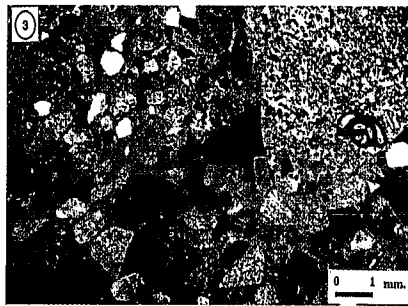


Fig. 3- Mortero de cal de la baqueta de fundación (cimientos). Nícoles cruzados.

Fig. 3- Lime mortar used in the foundation. Crossed nicols.

canteros de la región de Caspe para denominar a la grava obtenida como producto secundario al tallar los bloques de piedra en la cantera. En este caso se trataría de un cascallo de la parte superficial que se desecha al encontrarse la roca meteorizada por los agentes atmosféricos).

Morteros

Microscopía óptica de polarización

Esta técnica permite identificar la mineralogía, la porosidad y textura de estos materiales como se observa en las tablas 1, 2 y 3.

El árido que presentan los morteros y el sedimento tomado del aluvial del río Matarraña es muy semejante (Figs. 2, 3, 4 y 5). Está formado por clastos redondeados de composición carbonatada de tamaño grava y árido tamaño arena compuesto, principalmente, por cuarzo y fragmentos de roca carbonatada. Los granos de carbonato están formados por micrita, parcialmente recristalizada a microesparita y dolomita. Presentan aloquímicos como ooides y miliólidos. La capa más externa del revoco presenta un árido an-

composición de tipo litoarenita (familia de las calclititas). El cuarzo está presente con extinción perfecta y ondulada en porcentajes similares y existe algún clasto de calcedonia con textura felsítica. Los fragmentos de roca carbonatada son mayoritariamente micríticos (muchos de ellos con restos de fósiles) y en menor proporción se encuentran cantos microesparíticos y esparíticos, siempre de compo-

Por otro, los constructores tenían un buen conocimiento de la calidad de la piedra, ya que las dos muestras de cantera más semejantes a la piedra utilizada en la fábrica son las de mejor calidad. Esto presupone un conocimiento detallado de la calidad de la roca de los distintos estratos de la cantera y, probablemente, que roca de esta cantera se empleó en otras construcciones previas, ya que si hubieran co-

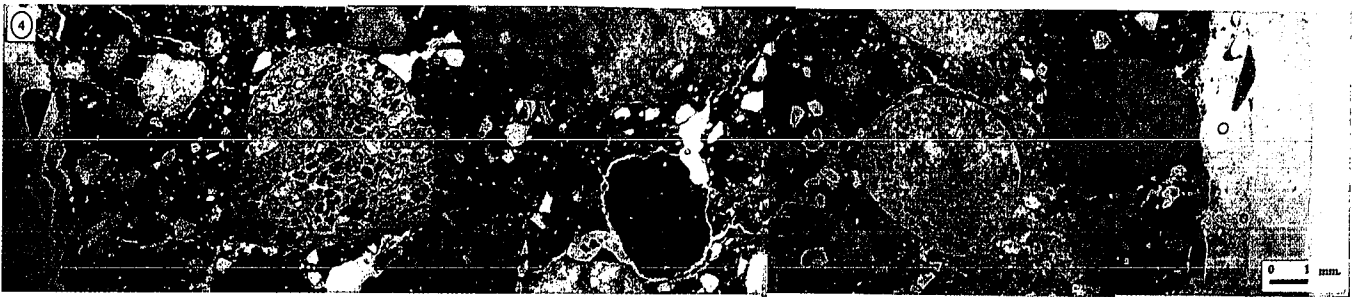


Fig. 4- Sedimento procedente del aluvial del Río Matarraña. Nícoles cruzados.

Fig. 4- Aluvial sediments of the Matarraña River. Crossed nicols.

ción calcítica. También hay una pequeña proporción de feldspatos y fragmentos de roca lutítica ferruginizada. Turmalina y clastos de clorita/glaucónita están presentes como accesorios.

En función de estos datos las litoarenitas estudiadas se pueden incluir dentro de la familia Q₁B (Gisbert, *et al.*, 1995). Para determinar el origen de estas muestras se han comparado con los datos obtenidos del estudio de las canteras de los alrededores de Fabara. Al cotejarlas con los datos de las seis canteras próximas al monumento se puede afirmar que las muestras de la cantera colindante al edificio (30 m. al W. del mismo) son las más semejantes y permiten excluir al resto. Esta afirmación está basada en que las muestras de las otras canteras tienen clastos de dolomita y presentan un tamaño de grano y selección menos semejante a las muestras del monumento.

menzado la extracción al construir el monumento, es probable que en los cimientos y sillares del *conditorium* hubiera algún sillar de los niveles canterables de peor calidad (Vitruvio explica que, para asegurar la calidad de la piedra, en una explotación recién comenzada, se dejen dos años los sillares a la intemperie. Añade que los que presentan algún deterioro después de este período, se utilicen en los cimientos o partes enterradas de la fábrica). Existen fragmentos decimétricos de arenisca incluidos en el hormigón que presentan una porosidad muy elevada (26 %). La alta porosidad en los sillares se explica por su exposición a la intemperie, pero en un fragmento incluido en el hormigón, la porosidad ha de ser previa a su enterramiento en el mortero. Consecuentemente es probable que se trate de un "cascallo" superficial de la cantera adyacente (cascallo: término empleado por los



Fig. 5- Perfil del revoco procedente del *conditorium*. La segunda capa, separada de la primera mediante un límite irregular, presenta un mortero con un ligante de cal formado por micrita en los extremos y microesparita en el centro (carbonatación heterogénea). Nícoles paralelos.

Fig. 5- Section of the cladding situated in the *conditorium*. The second layer is separated of the first one by a irregular contact, it presents a lime binder constituted by micrite at the ends and esparite in the middle (heterogeneous carbonation). Parallel nicols.

MUESTRA	SITUACIÓN	MINERALOGÍA											POROSIDAD				
		Árido									Ligante (Calc)		Poros		Grietas		
		Q	Fto.	FRdt	FM	FME	FE	FDo	Otr.	M	ME	E	Grum.	Int.	Ext.	Int.	Ext.
Pavimento	Pavimento de la Cella	2,8	<1	<1	26,8	8,4	17,7	6,2	<1	22,4	2,5	<1	<1	<1	9,7	<1	<1
Cimentación	Base del muro S del conditorium	5,6			36,5	8,7	7,0	4,0	<1	17,8	<1	1,3	<1	13,4		4,3	
Revoco 1	Base del muro E del conditorium	2,2		<1	2,2	6,0	28,0	7,5	<1	46,9	2,2		<1	1,5		2,2	
Revoco 2	Base del muro E del conditorium	5,0	<1		11,2	9,9	30,2	9,5	<1	17,8	7,0		<1	4,6		4,1	
Sedimento	Aluvial del Río Matarraña	1,9			42,6	11,7	3,0	7,3	<1								

ABREVIATURAS									
Q	Cuarzo	FME	Frag. microesp.	M	Micrita	Grum.	Grupos de cal		
Fto	Feldespatos	FE	Frag. esparítico	ME	Microesparita	Poros Ext.	Poros extrapartícula		
FRdt	Frag. roca detrítica	FDo	Frag. doloesparítico	E	Esparita	Grietas Int.	Grietas intrapartícula		
FM	Frag. calcita micrítica	Otr.	Otros	Poros Int.	Poros intrapartícula	Grietas Ext.	Grietas extrapartícula		

Tabla. 1- Datos petrográficos de mineralogía y textura (porcentajes obtenidos por conteo de puntos)

Tabla. 1- Petrographical data of mineralogic and texture. (percent account by point count)

MUESTRA	SITUACIÓN	DOSIFICACIÓN (Árido/Ligante)	DISTRIBUCIÓN (Árido)	GRANULOMETRÍA			FRAGUADO				
				T. Máx. (mm)	T. Med. (mm)	(So)	CARBONATACIÓN (Calcite)		Homog./Heter.		
				M	ME	E	Gr. m. C.	Gr. m. a.			
Pavimento	Pavimento de la Cella	2,5	Homogénea	8	0,9	2,7-5,7	X	X		X	Homogénea
Cimentación	Base del muro S del conditorium	3,2	Homogénea	5	0,6	2,0-2,7	X	X	X		Homogénea
Revoco 1	Base del muro E del conditorium	1	Homogénea	2,5	0,5	2,0-2,7	X	X		X	Heterogénea
Revoco 2	Base del muro E del conditorium	2,9	Homogénea	6,4	0,9	2,7-5,7	X	X			Heterogénea
Sedimento	Aluvial del Río Matarraña			5	0,7	2,0-2,7					

Tabla. 2- Parámetros texturales de los morteros estudiados.

Tabla. 2- Textural parameters of the studied mortars

ABREVIATURAS			
T. máx.	Tamaño máximo	ME	Microesparita
T. Med.	Tamaño medio	E	Esparita
So	Selección	Gr. m. C.	Grumo mal calcinado
M	Micrita	Gr. m. a.	Grumo mal apagado

MUESTRA	SITUACIÓN	POROSIDAD			GRIETAS					
		TOTAL	INTRAP.	EXTRAP.	EN LA PASTA		ATRAVESANDO ÁRIDO-PASTA		INTERFASE ÁRIDO/PASTA	
					Oclu.	Atrap.	Retrac.	Disol.	Hielo-Deshielo/Meólicas	Adherencia/Disolución/Agua
Pavimento	Pavimento de la Cella	10,2			X	X	X			
Cimentación	Base del muro S del conditorium	17,7			X	X	X			
Revoco 1	Base del muro E del conditorium	3,7	X		X	X	X	X		X
Revoco 2	Base del muro E del conditorium	8,7	X		X	X	X			X
Sedimento	Aluvial del Río Matarraña									

Tabla. 3- Análisis petrográfico de la macroporosidad.

Tabla. 3- Petrographical analysis of macroporosity.

ABREVIATURAS			
Intrap.	Intrapartícula	Atrap.	Atrapada
Extrap.	Extrapartícula	Retrac.	Retracción
Oclu.	Ocluida	Disol.	Disolución

MUESTRA	MINERALOGÍA			
	Calcita	Dolomita	Cuarzo	Yeso
Pavimento	■	□	⊠	□
Cimentación	■	⊠	⊠	□
Revoco. Capa 1	■	□	□	□

Legenda: ■ Abundante □ Presente □ Accesorio

Tabla. 4- Mineralogía identificada, mediante difracción de rayos X, en el conglomerante de los morteros.

Tabla. 4- Mineralogy identified in the binder of the mortars by X-Ray diffraction.

gulosos constituido, casi exclusivamente, por esparita y microesparita. La dosificación (árido/ligante) es semejante en todas las muestras y tiene unos valores de 3:1, excepto en la capa externa del revoco donde la dosificación es de 1:1.

La fracción conglomerante está constituida por micrita y microesparita. El ligante del mortero de cimentación también presenta un pequeño porcentaje de esparita. La capa externa del revoco y el mortero correspondiente al pavimento de la *cella* contienen algún grupo de cal mal

apagada. La carbonatación en el revoco es heterogénea como se aprecia en la Fig. 4 (Alastuey, A., 1993).

La porosidad que presentan es variable. La más baja corresponde a la capa exterior del revoco. En esta capa existe una gran concentración de grietas paralelas y perpendiculares debidas a la degradación de éste. La muestra más porosa corresponde al hormigón de la banqueta de fundación. (Fig. 3 y tablas 1 y 3).

En la parte más externa del revoco existe una pátina, con espesor que varía

entre 0,25 y 0,5 mm, formada por cristales de yeso y micrita y se encuentra separada de la primera capa del mortero por una grieta paralela a la superficie (Fig. 4).

Análisis Químico

Mediante análisis químico se ha evaluado el contenido en sulfatos, sílice, sesquióxidos, calcio y magnesio del conglomerante de los morteros anteriores. De estos resultados se puede estimar el grado de hidraulicidad de estos morteros que, en este caso, está expresado por el índice de hidraulicidad que se utiliza para la clasificación de cales (Mazzochi, 1946).

Según la clasificación de cales de este autor, en función del índice de hidraulicidad y, fundamentalmente, en función del contenido en sílice soluble, la cal con la que fue elaborado el mortero del revoco es una cal fuerte, la que pertenece al mortero de los cimientos es propiamente hidráulica y la que forma parte del suelo de la *cella* es una cal débilmente hidráulica (Fig. 6).

Difracción de rayos-X

Se ha analizado la fracción conglomerante de las mismas muestras mediante la difracción de rayos X, utilizando el método del polvo. Se pretende conocer su composición mineralógica con detalle, ya que la microscopía óptica no ofrece la suficiente resolución. Los resultados se muestran en la tabla 4.

El mineral más abundante es la calcita. En menor proporción aparece dolomita y cuarzo. El difractograma efectuado a partir de la capa exterior del revoco muestra la existencia de una pequeña proporción de yeso. Este mineral procede de la pátina externa que presenta el revoco y ha contaminado ligeramente la muestra. A su vez, esta capa muestra la menor proporción de cuarzo en el conglomerante.

Conclusiones

La fábrica del Monumento Funerario de Fabara está formada por sillares muy homogéneos de litoarenita (calclitita) extraída de una cantera próxima al monumento. Están elaborados utilizando la roca de mejor calidad que aflora en la cantera. Este dato demuestra que los constructores del edificio tenían unos avanzados conocimientos de la calidad y los efectos del medio ambiente en la roca.

Los morteros utilizados corresponden a morteros de cal, cuyo árido procede del aluvial del Río Matarraña.

El revoco, situado en el *conditorium*, presenta una fina pátina externa formada por yeso y micrita que presenta una mala adherencia al revestimiento.

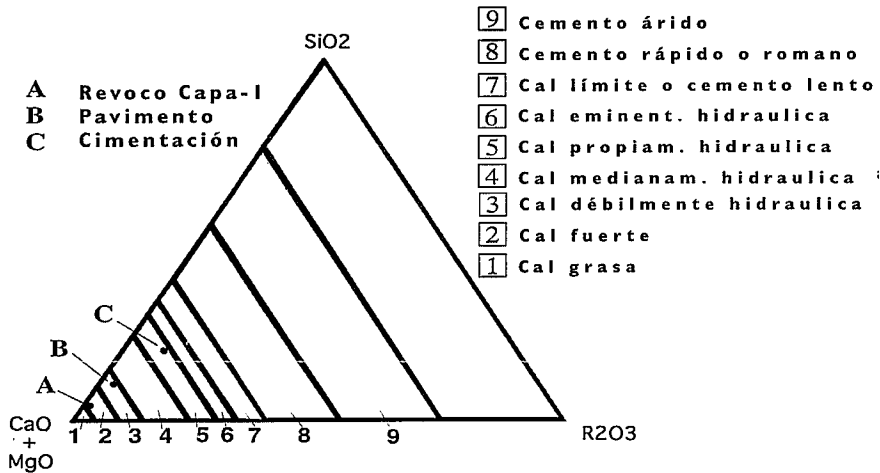


Fig. 6- Clasificación del conglomerante de los morteros estudiados (MAZZOCHI, 1946)

Fig. 6- Binder classification of the mortars (MAZZOCHI, 1946)

El revoco posee una primera capa de 3 mm de espesor, constituida por un mortero de cal fuerte con un árido anguloso formado por esparíta, que ha sido obtenido mediante machaqueo. Este tipo de cal es idónea para morteros ya que fragua con mayor rapidez que las cales hidráulicas. La dosificación árido/ligante es 1:1. Tiene una porosidad muy reducida, aunque presenta algunas grietas.

La capa más interna, de 2 cm de espesor, está constituida por un mortero de cal fuerte con un árido muy semejante al del sedimento fluvial. Su dosificación árido - ligante es 3:1. La porosidad es el doble que la anterior y presenta abundantes grietas.

La carbonatación que ha sufrido el

conglomerante es heterogénea. Las zonas exterior e interior son micríticas mientras que la zona intermedia es, fundamentalmente esparítica. Este proceso se debe a la pérdida de agua durante el proceso de carbonatación.

El pavimento de la *cella* está fabricado a partir de un mortero de cal débilmente hidráulica con un árido de características semejantes al del sedimento fluvial. La dosificación es semejante a la anterior. Su porosidad es ligeramente superior, dentro del mismo rango de valores (10 %). Posee algún grumo de cal mal apagada y restos de cenizas.

El mortero de la banqueta de fundación es de cal propiamente hidráulica

con un árido de características semejantes al anterior. Presenta una buena adherencia entre el árido y el ligante. La porosidad es muy elevada, debido a que se ha analizado la zona más externa de los cimientos, donde aprecia la desaparición de gran parte del conglomerante por procesos de disolución. La hidraulicidad del conglomerante y la buena calidad del mortero, aunque presenta zonas deterioradas, ha posibilitado el excelente estado de conservación en que se encuentra el edificio al ejercer de aislante frente a la humedad del sustrato.

Referencias

Alastuey Urós, A. (1993): Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Inédito
 Beard, D.C. y Weyl, P.K. (1997): "Diagnósis of sandstones". AAPG reprint series n.º 20.
 Cancela, M.L. (1991): Tesis doctoral. Univ. de Zaragoza. 441 pp. Inédita.
 Gisbert, J. et al., (1995).- "Investigación de los procesos de deterioro de los materiales pétreos en los monumentos de la comarca de Caspe (Zaragoza)" Fundación Ramón Areces. Inédito.
 González, A. (1989): Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza 507 pp. inédito.
 Mazzocchi, L. (1946): "Cales y cementos. Normas prácticas para uso de ingenieros, arquitectos, ayudantes, contratistas, sobrestantes, y capataces". Gustavo Gili Ed. Barcelona 229 pp.