Boletín Geológico y Minero. Vol. 109-3 Año 1998 (299-306)

ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES

COMPOSICION DE LOS MORTEROS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CATEDRAL DE JACA.

Por R. CASTELLO MONTORI (*)

R E S U M E N

Se estudian las composiciones mineralógicas y químicas de los distintos morteros de unión y enfoscados empleados en la construcción y en sucesivas reformas llevadas a cabo en la Catedral de Jaca, así como las eflorescencias salinas que corresponden a una restauración moderna. Dentro de los morteros se define la relación árido-ligante y se hace el estudio petrográfico y granulométrico de dichos áridos.

Palabras clave: Mortero, Cal, Monumento, Restauración, Patrimonio, Catedral, Jaca.

A B S T R A C T

Mortars joints and plasters used during the construction and following reforms of the Jaca Cathedral are studied in order to give their mineralogical and chemical composition; the efflorescence salts due to a more recent restoration are also analysed. The binder to aggregate ratio of the mortars has been stablished and done the petrographical and granulometric study of these aggregates.

Key words: Mortars, Lime, Monument, Restoration, Architectural heritage, Cathedral, Jaca (Huesca).

INTRODUCCION

El presente trabajo se centra en la caracterización mineralógica y química de los morteros empleados en la construcción de la Catedral de Jaca, haciendo especial hincapié en los morteros de unión de sillares y sillarejos de fachada. También se establece la comparación de los diversos morteros antiguos utilizados en las distintas reformas del monumento.

La Catedral de Jaca es conocida internacionalmente como una de las joyas del románico asociada al Camino de Santiago. Hay varias hipótesis sobre su cronología, aunque la conclusión es que se trata de una espléndida fábrica románica con dos reformas importantes, fechadas a lo largo de los siglos XVI y XVIII, pero que no desvirtúan su primitivo aspecto. Se edificó en dos etapas constructivas que comprenden desde el año 1076 hasta el 1130 (BUESA CONDE 1987) por lo que se puede considerar como una de las primeras construcciones románicas de dicho Camino de Santiago (GOMEZ-MORENO 1934). Ubicada en el casco urbano es de planta basilical con crucero y tiene tres naves, siendo la central más elevada que las dos laterales.

Los morteros de unión utilizados en las diversas reformas acaecidas en el tiempo son todos de cal. Se han desmuestrado en diversos puntos del monumento, clasificándolos en seis grandes grupos. Cada muestra de mortero representa una amplia zona desmuestrada, bien sea del llagado entre sillares, bien del relleno de mampostería diferenciando y definiendo las distintas edades de las muestras en función de su puesta en obra; también se ha hecho lo mismo con los enfoscados (cuatro grupos) y las eflorescencias (un grupo).

(*) Dpto. de Geoquímica y Mineralogía del Centro de Ciencias Medioambientales del CSIC.

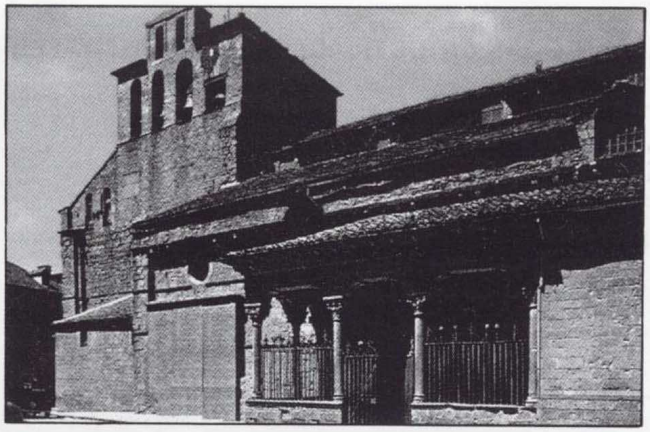

Figura 1. Fachada meridional de la Catedral.

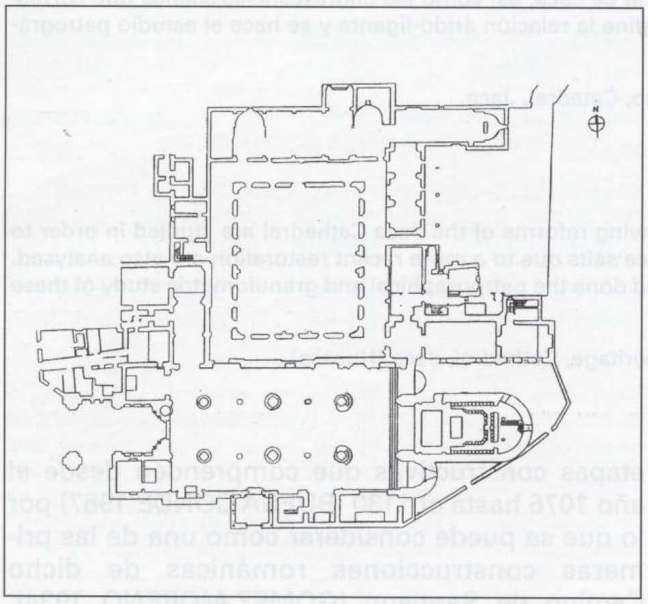

Figura 2. Plano de la planta del monumento y anexos.

La descripción y situación de estas muestras en la Catedral es la siguiente:

JA-MO-01: Mortero del ábside del lado del Evangelio, unión entre sillar y sillar de piedra calcarenita (recién destapado en la última restauración de 1994). Muestra del siglo XI.

JA-MO-02: Muestra de mortero a 2,20 m de altura con respecto a la anterior, es el relleno de mampostería (más grosero con piedras de distinta litología, desde cantos de río hasta sillares reciclados). Muestra del siglo XI.

JA-MO-03: Mortero por la parte exterior del ábside Mayor (central). Sirve de relleno de las juntas del sillarejo allí existente. Por su parte interior existen unos frescos de fray Manuel Bayeu (1790). Situado en el lado norte de este ábside.

JA-MO-04: Muestra de mortero situada a 12,5 m aproximadamente del suelo. Es la fachada sur-sureste, en donde la calle se estrecha hasta pasar sólo un coche. Siglo XVIII (MORALES y MARTIN, 1979).

JA-MO-05: Muestra de mortero tomada en la torre, justo debajo del campanario, en la estancia del piso inferior. Finales del siglo XVI principios del s. XVII.

JA-MO-06: Mortero del claustro, zona que está al aire libre. En el siglo XVII se reforma el claustro y esta muestra corresponde a dicha reforma con sillares reutilizados de épocas anteriores (AZNAREZ, 1977).

JA-EN-01: Enfoscado, revoco de la parte cubierta del claustro, escasa cantidad de muestra.

JA-EN-02: Enfoscado cara sudeste de la catedral. A 12-13 m de altura con respecto al suelo (es la máxima altura de pared).

JA-EN-03: Enfoscado. Idem al anterior pero a 5,5 m de altitud.

JA-EN-04: Enfoscado. Idem anterior pero a 1 m del suelo.

JA-EF-01: Muestra de eflorescencias tomada en la torre del campanario, justo en la sala de debajo de la fachada oeste, provocadas en la última o penúltima reforma (1974 o quizá 1981). Es el único punto de la catedral en que se da este impacto visual por manchas blanquecinas.

TECNICAS Y METODOS

Las técnicas de laboratorio que se han empleado en las distintas determinaciones son las siguientes:

Difracción de rayos X: La identificación mineralógica se hizo utilizando un difractómetro Philips

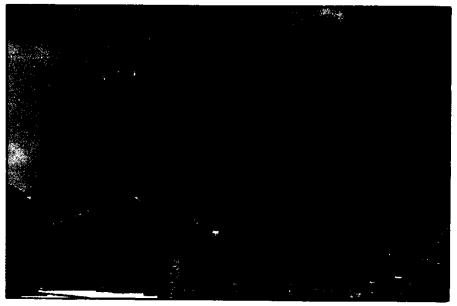

Figura 1. Fachada meridional de la Catedral.

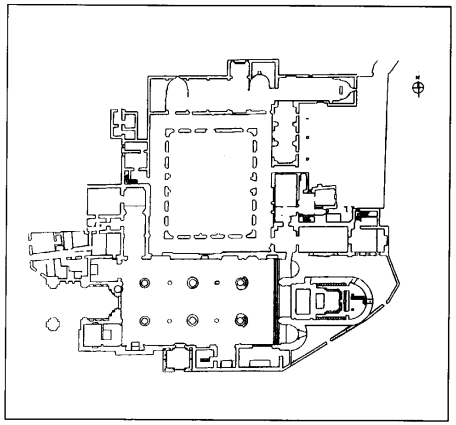

Figura 2. Plano de la planta del monumento y anexos.

La descripción y situación de estas muestras en la Catedral es la siguiente:

JA-MO-01: Mortero del ábside del lado del Evangelio, unión entre sillar y sillar de piedra calcarenita (recién destapado en la última restauración de 1994). Muestra del siglo XI.

JA-MO-02: Muestra de mortero a 2,20 m de altura con respecto a la anterior, es el relleno de mampostería (más grosero con piedras de distinta litología, desde cantos de río hasta sillares reciclados). Muestra del siglo XI.

JA-MO-03: Mortero por la parte exterior del ábside Mayor (central). Sirve de relleno de las juntas del sillarejo allí existente. Por su parte interior existen unos frescos de fray Manuel Bayeu (1790). Situado en el lado norte de este ábside.

JA-MO-04: Muestra de mortero situada a 12,5 m aproximadamente del suelo. Es la fachada sursureste, en donde la calle se estrecha hasta pasar sólo un coche. Siglo XVIII (MORALES y MARTIN, 1979).

JA-MO-05: Muestra de mortero tomada en la torre, justo debajo del campanario, en la estancia del piso inferior. Finales del siglo XVI principios del s. XVII.

JA-MO-06: Mortero del claustro, zona que está al aire libre. En el siglo XVII se reforma el claustro y esta muestra corresponde a dicha reforma con sillares reutilizados de épocas anteriores (AZNAREZ, 1977).

JA-EN-01: Enfoscado, revoco de la parte cubierta del claustro, escasa cantidad de muestra.

JA-EN-02: Enfoscado cara sudeste de la catedral. A 12-13 m de altura con respecto al suelo (es la máxima altura de pared).

JA-EN-03: Enfoscado. Idem al anterior pero a 5,5 m de altitud.

JA-EN-04: Enfoscado. Idem anterior pero a 1 m del suelo.

JA-EF-01: Muestra de eflorescencias tomada en la torre del campanario, justo en la sala de debajo de la fachada oeste, provocadas en la última o penúltima reforma (1974 o quizá 1981). Es el único punto de la catedral en que se da este impacto visual por manchas blanquecinas.

TECNICAS Y METODOS

Las técnicas de laboratorio que se han empleado en las distintas determinaciones son las siguientes:

Difracción de rayos X: La identificación mineralógica se hizo utilizando un difractómetro Philips

modelo X'Pert, con tubo cerámico de ánodo de Cu. Para el estudio de la fracción total de las diferentes muestras de mortero, enfoscado y eflorescencias salinas se utilizaron difractogramas de polvo desorientado. En el caso de la fracción arcilla (≤ 2 µm) de las muestras de mortero se emplearon difractogramas de: a) polvo desorientado y los siguientes tipos de agregados orientados: b) seco al aire, c) solvatado con etilén glicol, d) calentado a 300 °C durante 3 horas, e) calentado a 500 °C durante 3 horas.

Fluorescencia de rayos X: En este trabajo se ha empleado un equipo secuencial Siemens SR300 con tubo de rodio de ventana final de 3 kw de potencia. Para los elementos mayoritarios y minoritarios, cuyos valores se expresan en % en forma de óxido, se ha usado la técnica de la perla de bórax. Los elementos traza, cuyos resultados se expresan en partes por millón (ppm) del elemento metálico, se han cuantificado a partir de la muestra molida a un tamaño de partícula menor de 2 micras.

Para la determinación de la materia orgánica en las muestras se ha empleado el método de pérdida por ignición estudiado por BALL (1964), GOLDIN (1987) y DAVIES (1974) y puesto a punto por LECHLER y DESILETS (1987). Aunque el método fue puesto a punto para suelos en esta investigación se ha aplicado a muestras de morteros ya que ofrece una alternativa rápida para la determinación rutinaria de materia orgánica y parece obtenerse valores representativos.

Estudio petrográfico de los morteros: Se han estudiado las láminas delgadas obtenidas por consolidación de los morteros con esteres de ácidos fumárico y maleico con glicoles. El trabajo ha consistido en la caracterización mineralógica (minerales > 4 µm) de los componentes de la fracción detrítica (árido).

Estudio granulométrico de los áridos de los morteros: sólo se pudo tomar unos 100 gr. de cada muestra y se ha considerado la fracción menor de 0,08 mm como fracción única asociada al concepto de ligante (cal con impurezas). Posteriormente se llevó a cabo la caracterización mineralógica de cada fracción por medio de lupa binocular mediante contaje de granos.

RESULTADOS

En la tabla I se encuentran los resultados de la composición mineralógica semi-cuantitativa de diferentes fracciones de los morteros obtenida por difracción de rayos X que indican la similitud de la mineralogía de las fracciones total y arcilla. La calcita, identificada por los efectos a 0,303, 0,228 y 0,209 nm, es el componente mayoritario y aparece acompañada de una proporción media de cuarzo (picos a 0,334, 0,426 y 0,181 nm). Completan la composición una pequeña proporción de feldespato calcosódico (pico a 0,319 nm), ilita (pico a 1,00 nm) y caolinita (pico a 0,710 nm). En algunas de las muestras se ha identificado la presencia de indicios de clorita (pico a 1,40 nm) y una pequeña proporción de dolomita (pico a 0,289 nm).

TABLA I (% en peso relativo entre muestras)

Muestra	Fracción	Q	F	C	D	L	I	K	Cl
Mortero 1	Total	28	3	63	-	6	5	1	-
	Arcilla	22	4	63	-	11	11	-	-
Mortero 2	Total	17	2	75	-	6	5	1	-
	Arcilla	4	-	80	-	16	11	5	-
Mortero 3	Total	17	1	71	2	9	9	tr	-
	Arcilla	16	2	74	tr	8	5	3	-
Mortero 4	Total	22	6	62	1	9	6	2	1
	Arcilla	23	4	60	2	11	8	3	-
Mortero 5	Total	10	1	80	-	9	6	3	-
	Arcilla	9	3	81	-	7	4	3	-
Mortero 6	Total	18	5	63	2	12	8	3	1
	Arcilla	17	3	68	1	11	9	2	-

Q= Cuarzo, F=Feldespatos, C=Calcita, D=Dolomita, L=Filosilicatos, I=Ilita, K=Caolinita, Cl=Clorita, tr=indicios

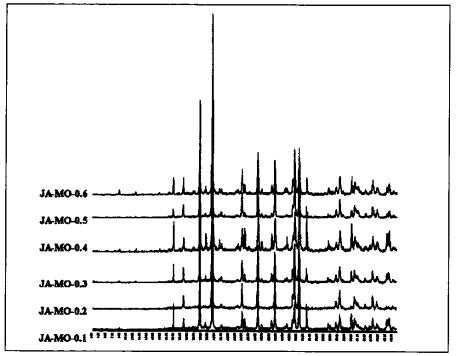

Figura 3. Difractogramas de polvo desorientado de la fracción total de los diferentes morteros.

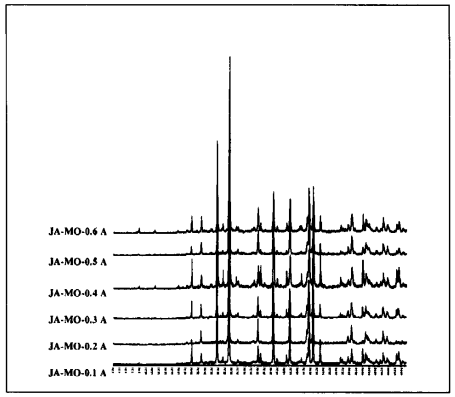

Figura 4. Difractogramas de polvo desorientado de la fracción arcilla de los diferentes morteros.

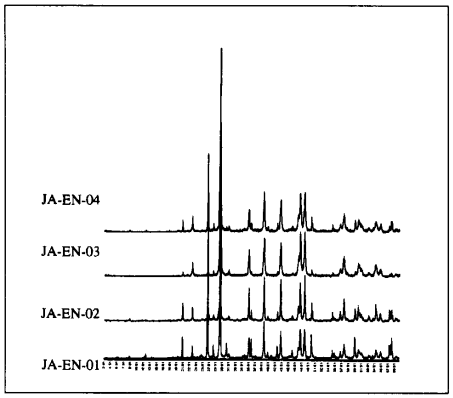

Figura 5. Difractogramas de polvo desorientado de la fracción arcilla de los diferentes enfoscados.

En la tabla anterior (tabla I) se ve la fracción arcilla y la fracción total y se constata que hay una similitud importante. Quizá exista una pequeña diferencia únicamente en el mortero 2, pero de todas maneras hay entre un 75 y un 80% de calcita, es decir es muy parecida. La dolomita, si aparece, lo es en las dos fracciones, nunca en una sí y en otra no.

Igualmente se han tomado y analizado cuatro muestras de enfoscados. En la tabla II se encuentra la composición mineralógica semi-cuantitativa de la fracción total de las diferentes muestras de enfoscado obtenida por difracción de rayos X. La mineralogía es muy parecida a la encontrada en el caso de las muestras de mortero, aunque la proporción de filosilicatos es ligeramente menor. Resalta del conjunto el enfoscado 3 compuesto casi exclusivamente de calcita.

TABLA II (% en peso relativo entre muestras)

Muestra	Q	F	C	D	L	I	K	Cl
Enfoscado 1	19	3	67	4	7	3	2	2
Enfoscado 2	18	2	75	tr	5	4	1	-
Enfoscado 3	5	1	93	-	1	tr	tr	-
Enfoscado 4	12	2	81	1	4	3	1	-

Q= Cuarzo, F=Feldespatos, C=Calcita, D=Dolomita, L=Filosilicatos, I=Ilita, K=Caolinita, Cl=Clorita, tr=indicios

Se ha analizado una muestra de la eflorescencia salina y el difractograma de polvo desorientado (Figura 6) indica que su composición está formada por una alta proporción de wegscheiderita ($Na_2CO_3.3NaHCO_3$) (efectos a 0,295, 0,367, 0,308 y 0,245 nm), es decir carbonato ácido de sodio, y halita (efectos a 0,282, 0,199 y 0,163 nm). Completan la asociación mineralógica una proporción media de thenardita (efectos a 0,278, 0,466, 0,265, 0,318 y 0,308 nm) (Na_2SO_4) e indicios de cuarzo (reflexiones a 0,334 y 0,424 nm) y cristobalita (0,405 y 0,249 nm) (seudomorfo de

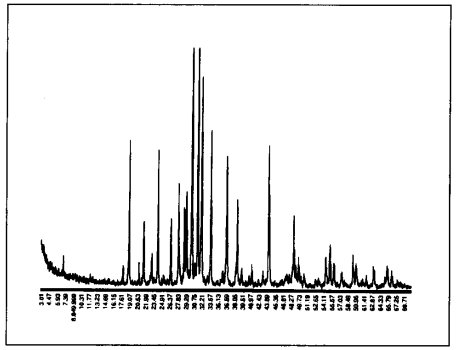

Figura 6. Difractogramas de polvo desorientado de las eflorescencias salinas (JA-EF-01).

cuarzo). Es decir hay sulfatos, cloruros y carbonatos, en la misma muestra y todos fundamentalmente de Na. No hay sulfatos de Ca ni de Mg, ni los hidratados.

Los resultados del análisis químico de los elementos mayoritarios y minoritarios expresados en % vienen reflejados en el cuadro siguiente (Fluorescencia de Rayos X) (tabla III):

TABLA III

N.ºM.	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	Suma	P.P.C.	Total
MO-1	38,1	5,2	2,7	0,07	1,05	23,7	0,9	0,92	0,32	0,47	73,4	24,1	97,5
MO-2	30,8	4,1	2,5	0,06	0,97	32,1	0,8	0,77	0,27	0,22	72,4	28,8	101,2
MO-3	26,8	4,2	2,4	0,06	0,97	32,1	0,7	0,79	0,27	0,21	67,7	29,5	97,2
MO-4	35,5	5,8	2,9	0,06	1,33	26,6	1,16	1,16	0,41	0,21	74,9	25,9	100,8
MO-5	21,4	3,2	2,1	0,05	1,22	36,1	1,25	1,06	0,27	0,17	66,9	32,6	99,5
MO-6	29,1	6,5	2,9	0,06	1,26	29,7	1,18	1,35	0,38	0,21	72,4	28,5	100,9
EF-1	7,8	1,5	1,04	0,03	-	15,3	10,1	22	0,09	0,09	58,2	9,7	

Todos los valores dados en la tabla anterior están dentro de las curvas de calibrado utilizadas salvo el dato de la muestra EF-1 de K_2O (22%) en la que el calibrado ha sido entre 0,001% como valor mínimo y 15% valor máximo, por lo que el valor real puede no ser exactamente 22%. Para los elementos traza, analizados igualmente por fluorescencia de rayos X, se han obtenido los contenidos expresados en el cuadro siguiente (tabla IV):

TABLA IV

Muestra	V (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Pb (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)
JA-MO-01	66	128	-	36	71	59	891	61	245	173
JA-MO-02	69	147	-	47	74	56	988	70	251	101
JA-MO-03	76	147	-	41	66	63	1660	58	246	103
JA-MO-04	90	141	-	40	74	78	899	60	299	126
JA-MO-05	64	142	-	72	66	54	2133	64	186	61
JA-MO-06	96	158	-	40	123	90	2313	54	264	172
JAEF-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Los resultados de la pérdida por calcinación y la cantidad de materia orgánica vienen expresados en el cuadro siguiente (tabla V).

TABLA V

N.º de muestra (<0,08 mm)	Peso en gr (105 °C)	Peso en gr (400 °C, 8 h)	% de M.O.	Peso en gr (1050 °C, 2 h)	% P.P.C. 400+1050°C
JA-MO-01	0,9424	0,913	3,12%	0,7157	20,94%
JA-MO-02	0,8722	0,8441	3,22%	0,6209	25,59%
JA-MO-03	1,0000	0,9657	3,43%	0,7042	26,15%
JA-MO-04	1,0054	0,9707	3,45%	0,7448	22,47%
JA-MO-05	1,0000	0,9445	5,55%	0,6835	26,10%
JA-MO-06	0,9619	0,9387	3,72%	0,6996	24,86%

En el estudio petrográfico de los morteros se ha hecho el contaje de granos de distinta naturaleza de las seis muestras de mortero de unión habiéndose contabilizado un total de 5.689 puntos.

Los resultados obtenidos en este estudio petrográfico vienen reflejados en la tabla VI, en la que se dan los porcentajes de los componentes de la fracción detrítica por orden de importancia: fragmentos de roca (rocas carbonatadas, minerales arcillosos y areniscas), cuarzo y chert, feldespatos (feldespato K y plagioclasa), micas y otros no identificados entre los cuales se incorporarían opacos, etc. y un grupo denominado "negro-parduzcos" que comprende restos de madera y otros componentes carbonizados.

TABLA VI

	F.R.			Otros componentes				
n.º muest.	CO_3-%	M. Arc	Arenisca	Q	Fdptos.	M. Negr	Micas	No Iden
JA-MO-01	38,10	4,48	12,88	28,85	-	14,00	-	1,68
JA-MO-02	39,38	-	-	36,35	3,77	17,6	0,95	5,70
JA-MO-03	32,22	3,40	1,00	46,28	0,66	14,74	-	1,70
JA-MO-04	39,72	4,38	0,27	36,99	-	15,61	0,82	2,19
JA-MO-05	37,56	4,69	4,46	24,18	-	19,95	3,75	5,40
JA-MO-06	53,40	1,45	-	33,00	1,94	10,19	-	-

F.R.=fragmento de roca, M. Arc.=Minerales arcillosos, Q= Cuarzo, Fdptos=Feldespatos, M. Negr.=Minerales negro-parduzcos, No iden= Minerales no identificados

Las granulometrías de los morteros empleados en la catedral de Jaca oscilan entre arena gruesa a fina, con escasa dispersión de diámetros de clastos, hacia arena muy fina por un lado y grava fina por el otro.

Al estudiar las curvas (distribución granulométrica y curvas acumuladas de la fracción detrítica >0,08 mm de las muestras de morteros) se pueden hacer las siguientes observaciones. Las muestras JA-MO-01 y JA-MO-05, tanto en la distribución de fracciones como en la curva acumulada, presentan una traza de gran parecido (bimodal). Tienen un máximo ancho que corresponde a dos intervalos granulométricos (0,2-0,4 mm y 0,4-1 mm) ligeramente desplazado en la JA-MO-01 (menos selección) hacia los 0,4-1 mm. El estilo de las curvas de distribución de tamaños de las muestras JA-MO-03 y JA-MO-06 tienen bastantes semejanzas (unimodales), su tamaño de clasto más abundante está en el intervalo 0,2-0,4 mm aunque la JA-MO-06 presenta una proporción de fracción fina menor. La muestra JA-MO-02 puede tener una repartición similar

aunque más atenuada y heterométrica, conservando ese máximo en los tamices 0,2-0,4 mm pero mucho menos remarcado. La muestra JA-MO-04 (unimodal) es la que tiene el árido de menor tamaño ya que el 53 % corresponde a una fracción <0,2 mm.

En el cuadro siguiente (tabla VII) viene reflejada la relación árido a ligante de los morteros estudiados así como la fracción detrítica más representativa por ser la más abundante.

TABLA VII

N.° muestra	JA-MO-01	JA-MO-02	JA-MO-03	JA-MO-04	JA-MO-05	JA-MO-06
árido / ligante	5/1	4/1	3,5/1	4,9/2	3,7/1	4,6/1
fracción dominante	arena gruesa	arena media-fina	arena media	arena fina	arena media-gruesa	arena media

En este trabajo se ha considerado como fracción ligante los constituyentes con un tamaño de grano inferior a 0,08 mm.

En el estudio con lupa binocular se ha encontrado una gran similitud en la composición del árido y las únicas diferencias apreciables corresponden al tamaño de grano o a la selección granulométrica que ha sufrido la muestra. Aunque no sea más que repetir los datos presentados en la tabla anterior se puede apuntar que las muestras JA-MO-02 y la 04 tienen la fracción detrítica de tamaño de grano más fina que el resto de los morteros. Se debe destacar la presencia en la fracción >2 mm de clastos de forma puntual con dimensiones que alcanzan como máximo los 20-22 mm, siendo los más corrientes y abundantes de 2 a 6 mm.

La composición de los granos identificados en el estudio con lupa binocular de las distintas fracciones separadas son los siguientes (tabla VIII):

TABLA VIII

N.° muestra	JA-MO-01	JA-MO-02	JA-MO-03	JA-MO-04	JA-MO-05	JA-MO-06
Naturaleza de los clastos	Arenisca-limo de colores claros, cuarzo, cuarcita, arenisca roja y limolita, restos carbonosos: carbón de madera, algún fragmento de granito esquisto o micacita	Arido muy similar a la muestra anterior. Cuarzo escaso, restos de material carbonoso, arenisca roja.	Idéntica a JA-MO-02	Similar a las anteriores. Carbón vegetal, fósiles, micacitas, restos de madera	Caliza, arenisca roja, fósiles carbón.	Misma litología que las anteriores

La composición litológica de los áridos de los morteros tiene como característica común su gran heterogeneidad. Hay clastos de calizas, areniscas de diferentes tipos (alguna del Permotrías), fragmentos de rocas ígneas, limolitas, rocas metamórficas (cuarcitas, micacitas, esquistos), etc. Es curioso el dato de encontrar trozos de carbón vegetal en todos ellos. En cuanto a su repartición por fracciones de tamaños es totalmente irregular y no existe cadencia de ningún tipo ni presencia preferente de alguna litología en determinado tamaño concreto. Por esto se da la composición global y de manera cualitativa.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La composición mineralógica de los morteros presentan escasas diferencias entre ellos, de manera que los constituyentes tanto en el ligante como en el árido empleado se repiten. Solamente existen pequeñas variaciones en el porcentaje y en la presencia de algún elemento traza que aparece en alguna muestra determinada.

Comparando los resultados de las distintas técnicas analíticas se observa que en la muestra JA-MO-01 existe más cantidad de cuarzo que en los otros morteros (28%) según la Difracción de rayos X y confirmado por Fluorescencia de rayos X. Al estudiar la lámina delgada (L.D.) correspondiente a esta muestra se ve que en el conjunto de fragmentos de roca, aunque domina como en todas las láminas la presencia de trozos de material carbonatado, hay más clastos de arenisca. De forma indirecta se confirman los resultados de mayor presencia de cuarzo o minerales silíceos. La JA-MO-02 no se sale de la composición del conjunto más que por tener un contenido un poco mayor de feldespatos. La JA-MO-03 por presentar algo más de ligante en relación con la proporción del árido y más cuarzo entre los fragmentos de roca. La JA-MO-04 tiene los valores más altos en contenido de Zr y de Fe_2O_3 con respecto al grupo. La JA-MO-05 quizá sea la muestra que se separa un poco más del conjunto de los seis morteros pero dentro de una composición muy parecida. Tiene más cantidad de Sr, CaO (36,1 %) y de materia orgánica (5,55 %) justificada por la presencia abundante de restos de

materia carbonosa identificada en lámina delgada (Microscopio polarizante de luz transmitida) y con la lupa binocular. La presencia de esta materia orgánica y el contenido alto en $CaCO_3$ justifica las mayores pérdidas en peso por calcinación (PPC). Finalmente la JA-MO-06 se caracteriza por sus valores ligeramente más altos en Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O y elementos traza como el Rb (90 ppm) y Sr (2313 ppm).

Evidentemente lo que define mineralógicamente a estos morteros es el tener un ligante de cal muy pura, la ausencia de sulfatos y cloruros, la presencia de restos carbonosos, la ausencia o bajo contenido de minerales de la arcilla y el predominio en el árido de clastos de material carbonatado. Igualmente es un dato que caracteriza al mortero el que la relación árido/ligante esté entre 3,5 y 5. Por otra parte en las determinaciones analíticas no se detecta ningún aditivo especial lo que ocurre es que está muy bien trabajado y mezclado y con una puesta en obra cuidadosa.

Los áridos de estos morteros por su composición corresponden a sedimentos típicos de la zona, es decir sabiendo que aguas arriba afloran materiales permotriásicos, rocas graníticas, paquetes carbonatados, etc. Son áridos de una composición mineralógica muy heterogénea como corresponde a sedimentos de un río en zona alta de su curso y por tanto de carácter fluvio-torrencial.

En la confección del mortero no hubo en el árido una selección de tamaños de grano importante, simplemente se tamizó por debajo de una malla y se mezcló directamente con la cal, sin ningún tratamiento previo que permitiera separar las fracciones más finas del árido.

Concluyendo se puede decir que los morteros de unión al tener una composición con un ligante de cal muy pura, un árido de granulometría fina a fina-media, ausencia total de sales y casi de arcillas, con una relación ligante/árido buena y con una composición del árido mayoritariamente carbonatada dan origen a un sistema poroso con un comportamiento favorable y por tanto son el auténtico soporte de los paramentos de la Catedral de Jaca.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a la Dra. M. T. García González por su ayuda en la D.R.X. y a D. Fernando Pinto por su colaboración.

REFERENCIAS

AZNAREZ, F. (1977). Aragón. Colección "Tierras de España" de la fundación Juan March. pp. 158-160. Madrid.

BALL, D. F. (1964). Loss-on-ignition as an estimate of organic matter carbon in non calcareous soils. J. Soil Sci. 15, pp. 84-92.

BUESA CONDE, D. (1987). Las catedrales de Aragón. Zaragoza.

CASTELLO MONTORI, R. (1997). Tesis Doctoral. Univ. Politécnica, Madrid, 293 pp.

DAVIES, B. A. (1974). Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38, pp. 150-151.

GOLDIN, A. (1987). Reassessing the use of loss-on-ignition for estimation organic matter in non calcareous soils. Commun. Soil. Sci. Plant. Anal. 18, pp. 1111-1116.

GOMEZ-MORENO, M. (1934). El arte románico español. Madrid.

LECHLER, P. J. and DESILETS, M. O. (1987). A review of the use of loss-on-ignition as a measurement of total volatises in whole-rock analysis. Chemical Geology, 63. Elsevier Science Publ., pp. 341-344.

MORALES y MARTIN, L. (1979). Los Bayeu. pp. 163-186. Zaragoza.

Original recibido: Abril 1998.
Original aceptado: Mayo 1998.