



MORTEROS HISTÓRICOS DE SANTA EULALIA DE BÓVEDA (LUGO)

J.M. García de Miguel¹, M. Esteban Benito¹, J.A. Ramírez Masferrer¹, P. Morillas González¹

1 Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Departamento de Ingeniería Geológica. Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

RESUMEN

Con el fin de establecer las características composicionales de las muestras de mortero de distinta fases constructivas del templo de Santa Eulalia de Bóveda. El presente escrito expone los resultados obtenidos en laboratorio, presentando especial atención a la relación árido/aglomerante y a la composición del aglomerante, para establecer una correlación estratigráfica de los mismos.

Palabras clave: mortero, aglomerante, árido

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Se trata de un edificio de época tardo romana, de planta rectangular. El edificio tenía dos alturas, aunque del piso superior sólo queda el arranque de la posible cubierta abovedada construida en ladrillo y mampostería. No se sabe con certeza si el muro de arranque de la bóveda, objeto de estudio, formaría parte del segundo piso del edificio o de otra edificación realizada posteriormente. La planta inferior, en cripta, se conserva casi en su totalidad con diferentes modificaciones. En su exterior, un pequeño atrio con dos columnas "in antis" precede a la fachada, en la que se abre una puerta con arco de herradura.

Las primeras excavaciones arqueológicas de lo que hoy conocemos como conjunto monumental de Santa Eulalia de Bóveda las realizó Luís López Martí en 1926.

El templo fue declarado Monumento Artístico Nacional en 3 de junio de 1931 y Bien de Interés Cultural en 1985.

METODOLOGÍA

La Cátedra de Petrología y Mineralogía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid realiza el estudio analítico de una serie de muestras para la caracterización de los morteros existentes en el templo de Santa Eulalia de Bóveda (Lugo).

Se va a establecer la composición y características de las muestras de mortero de distinta fases constructivas del templo de Santa Eulalia de Bóveda para poder establecer una correlación estratigráfica de los mismos, prestando especial atención a la relación árido/aglomerante y a la composición del aglomerante.

Para ello se toman muestras de mortero. Con las muestras de mortero se ha realizado una lámina transparente para su posterior estudio petrográfico mediante microscopía óptica de luz transmitida. La composición química inorgánica de estos morteros se analizado mediante el sistema KEVEX acoplado microscopio electrónico de barrido (MEB).

Muestras de mortero estudiadas

Las muestras de mortero se exponen en la tabla adjunta, donde se expresa la situación de las muestras y una breve descripción de las mismas y técnica empleada.

| Muestra | Denominación empleada | Fase | UE | Situación | Descripción | Técnica empleada |
|------------|-----------------------|------|-----|--|--|---|
| SEB-MC-1a | 1 ^a | I | 008 | Arcos fajones de la bóveda del aula. Alzado Norte | Parece que tiene un enlucido encima más claro. Capa más exterior. Mortero muy deleznable, algo rojizo. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-2b | 2b | I | 009 | Arranque de la bóveda del aula. Alzado Sur. | Mortero muy blanco y bastante más compacto que los anteriores. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC- | 3 | I | 126 | Bóveda que cubre el espacio del ábside. Alzado Este. | Mortero muy compacto y difícil de extraer. Blanco con fragmentitos de ladrillo. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-4 | 4 | Ila | 076 | Restos de los enjarjes que separaban espacialmente el aula. Alzado Oeste. | Mortero claro bastante compacto. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-5a | 5 ^a | Ila | 075 | Mortero de recubrimiento de la bóveda y de preparación de las pinturas del aula. Alzado Sur. | Tiene encima un mortero de reposición. Mortero claro muy compacto. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-6 | 6 | Ila | 110 | Mortero de revestimiento de los alzados interiores del aula bajo las placas de mármol. Alzado Sur. | Mortero claro muy disgregado. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-8a | 8b | IIb | 017 | Alzado Norte del piso alto, bóveda de ladrillo al Oeste de la ventana. | Mortero blanco desprendido en el interior de la grieta, puede estar contaminado por el de hiladas superiores. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-9 | 9 | IIb | 025 | Trasdós de mampostería de la bóveda del piso alto | Mortero de juntas entre mampostería. No es seguro que sea original de esta fase constructiva. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-14 | 14 | IV | 021 | Revestimiento con pintura de la bóveda del piso alto. | Mortero de preparación con restos de película pictórica. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-15 | 15 | IV | 022 | Reconstrucción en mampostería de la parte alta de la bóveda del piso alto | Mortero de juntas bastante compacto. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-17a | 17 ^a | IV | 071 | Mortero de preparación de las pinturas del nártex. | Mortero de juntas, blanco, disgregable. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-CN-M | cnm | ? | 109 | Alzado Sur del aula | Capa negra sobre mortero muy disgregado. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-7 | 7 | Ila | 083 | Arco de acceso al aula. Alzado Este. | Mortero de juntas entre ladrillos. Mortero claro bastante compacto | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |
| SEB-MC-18 | 18 | ¿ | | Alzado Norte del aula Sector 1 | Mortero de reposición sobre la parte más alta. Puede ser útil para conocer el origen de las sales de la pintura. | -Lámina Transparente -MEB, sistema KEVEX |

RESULTADOS

En los apartados siguientes se resumen los resultados obtenidos tanto del estudio petrográfico como del análisis químico de cada uno de los morteros.

Mortero 1a

Esta muestra corresponde a un mortero tomado de los arcos fajones de la bóveda del aula del alzado norte. Por encima de él se superpone un enlucido más claro.

Estudio petrográfico 1a

Árido: 55 %. Granos heterométricos, subredondeados de cuarzo, granos de micrita y arcilla compacta y de moscovita principalmente, en menor medida de feldespato potásico, y minerales opacos.

Granulometría general del árido: > 1mm. 30 % / 0,5 - 1mm. 20 % / < 0,5 mm. 10 %

Distribución mineralógica del árido:

- Cuarzo (monocristalino): 27 %, (subredondeados, de tamaños entre 0,3 y 1,5 mm)
- Moscovita: 15 % (cristales tabulares, entre 0,3 y 1,2 mm de tamaño. Algunos presentan los bordes corroídos)
- Granos de micrita y arcilla: 7 %
- Feldespato potásico: 5 %
- Minerales opacos: 1 %

Ligante: 30 % Matriz micrítica calcítica

Porosidad interpartícula: 15 %

Composición química del mortero 1a

Del análisis del mortero 1a, realizado mediante el microscopio electrónico de barrido, cabe destacar el alto contenido de aluminio y magnesio en la muestra, así como la baja proporción de calcio, de lo que se puede concluir que éste ha sido lavado, o bien, que se trata de un mortero muy pobre en cal. Existe una cantidad, aunque muy pequeña, de titanio y de azufre.

Mortero 2b

Este mortero pertenece a la fase constructiva I y se ubica en el arranque de la bóveda del aula del alzado Sur. Corresponde a un mortero muy blanco y compacto.

Estudio petrográfico 2b

Árido: 80 %. Granos bien seleccionados (homométricos), subredondeados de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita y biotita. En menor medida aparecen granos micritizados y minerales opacos.

Granulometría general del árido: 1 – 2 mm. 30 % / 0,5 – 1 mm. 35 % / < 0,5 mm. 15 %

Distribución mineralógica:

- Cuarzo (monocristalino): 30 % (subredondeados, de tamaños entre 0,4 y 1,8 mm).
- Feldespatos potásicos (ortosa y microclina): 20 % (subangulosos-subredondeados, tamaños entre 0,5 y 2 mm. Algunos cristales presentan una leve alteración en sus bordes)
- Plagioclasa: 15 % (subangulosos-subredondeados, tamaños entre 0,5 y 2 mm)
- Biotita y moscovita: 8 % (cristales tabulares, entre 0,3 y 1,8 mm de largo. Algunos presentan los bordes corroídos)
- Granos micritizados calcínicos: 5 %
- Minerales opacos: 2 %

Ligante: 15 % Matriz micrítica calcínica

Porosidad interpartícula: 5 %

Composición química del mortero 2b

El análisis químico del mortero 2b muestra unos porcentajes *a priori* normales de magnesio, aluminio, silicio, potasio, calcio y hierro. Aparece un bajo contenido en cloro, atribuible a la contaminación por sales.

Mortero 3

Se trata de un mortero blanco de la fase constructiva I, situado en la bóveda que cubre el espacio del ábside, en el Alzado Este. Es muy compacto y contiene fragmentos pequeños de ladrillo.

Estudio petrográfico 3

Árido: 50 %. Tamaño fino, ningún grano supera el milímetro. Granos subangulosos-subredondeados de feldespatos potásicos, plagioclasa, cuarzo, granos compactos de micrita, moscovita y minerales opacos.

Granulometría general del árido: 0,5 - 1mm. 25 % / < 0,5 mm. 25 %

Distribución mineralógica:

- Feldespatos potásicos y plagioclasa: 18 % (subredondeados, tamaños inferiores a 0,8 mm.)
- Cuarzo (monocristalino): 16 % (subangulosos-subredondeados, de tamaños entre 0,3 y 1 mm)
- Granos de micrita: 10 % (redondeados, 0,3 – 0,8 mm de tamaño)
- Moscovita: 5 % (cristales tabulares, entre 0,3 y 1,2 mm de tamaño. Algunos presentan los bordes corroídos)
- Minerales opacos: 1 %

Ligante: 35 % Matriz micrítica calcínica con materia orgánica

Porosidad interpartícula: 15 %

Composición química del mortero 3

En principio, el mortero 3 tiene cierta semejanza en su composición química con el mortero 2b respecto a los componentes mayoritarios del análisis general, salvo por la ausencia de cloro, titanio y azufre en éste. En cambio, en la composición química de la matriz destaca el elevado contenido en calcio que corroboraría el estudio petrográfico, ya que esta muestra presenta una relación árido/ligante 1/1 frente a la proporción 5/1 del mortero 2b.

Mortero 4

Mortero blanco y bastante compacto de la fase constructiva IIa.

Estudio petrográfico 4

Árido: 45 %. Granos heterométricos soportados por la matriz, subangulosos-subredondeados de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita y minerales opacos.

Granulometría general del árido: > 1mm. 15 % / 0,5 - 1mm. 10 % / < 0,5 mm. 20 %

Distribución mineralógica:

-Cuarzo (mono y policristalino): 20 % (subangulosos-subredondeados, de tamaños entre 0,3 y 2 mm. Numerosos cristales se encuentran fracturados)

-Feldespato potásico: 11 % (subredondeados, tamaños inferiores a 1 mm. Presentan una alteración general avanzada)

-Moscovita: 7 % (cristales tabulares, entre 0,3 y 1,2 mm de tamaño. Algunos presentan los bordes corroídos)

-Granos de micrita: 4 %

-Plagioclasa: 2 %

-Minerales opacos: 1 %

Ligante: 40 % Matriz micrítica calcítica

Porosidad interpartícula: 15 %

Composición química del mortero 4

Del análisis químico del mortero 4 cabe destacar la presencia (casi 4 %) de cloro. La proporción de calcio es algo baja.

Mortero 5A

Se trata de un mortero de recubrimiento de la bóveda y de preparación de las pinturas de la fase constructiva IIa en el Alzado Sur. Es un claro y muy compacto, que tiene por encima un mortero de reposición.

Estudio petrográfico 5a

Árido: 55 %. Granos heterométricos, subangulosos-subredondeados de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa principalmente. En menores proporciones aparecen biotita, minerales opacos y cristales de yeso.

Granulometría general del árido: > 1mm. 20 % / 0,5 - 1mm. 5 % / < 0,5 mm. 20 %

Distribución mineralógica:

-Cuarzo (mono y policristalino): 28 % (subangulosos-subredondeados, de tamaños desde 0,2 hasta 4 mm)

-Feldespatos potásicos: 12 % (subredondeados, tamaños inferiores a 2 mm. Presentan una leve corrosión en sus bordes)

-Granos de micrita: 5 %

-Biotita: 4 %

-Plagioclasa: 3 %

-Yeso: 2 %

-Minerales opacos: 1 %

Ligante: 30 % Matriz micrítica calcítica

Porosidad interpartícula: 15 %

Composición química del mortero 5a

Del diagrama resultante del análisis químico destaca el pico correspondiente al azufre, constatando la presencia de este elemento, anómala respecto a otras muestras.

Mortero 6

Consiste en un mortero de revestimiento de los alzados interiores del aula, bajo las placas de mármol, el Alzado Sur. Es claro y se encuentra muy disgregado.

Estudio petrográfico 6

Árido: 45 %. Granos subangulosos-subredondeados, de tamaño inferior al milímetro, de cuarzo, feldespatos potásicos, granos micritizados, plagioclasa y yeso principalmente. En menores proporciones aparecen biotita y minerales opacos.

Granulometría general del árido: 0,5 - 1mm. 20 % / < 0,5 mm. 25 %

Distribución mineralógica:

-Cuarzo (monocristalino): 20 % (subangulosos-subredondeados, de tamaños entre 0,2 y 0,8 mm)

-Feldespatos potásicos y plagioclasa: 15 % (subangulosos-subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,2 y 0,7 mm. Presentan cierta corrosión)

-Granos de micrita: 5 % (redondeados, 0,3 – 0,8 mm de tamaño)

-Yeso: 5 %

Ligante: 35 % Matriz micrítica calcítica

Porosidad interpartícula: 20 %

Composición química del mortero 6

En el mortero 6, como en el anterior, existe un contenido en azufre dentro de la muestra. El análisis químico determina, además, una concentración importante de fósforo en este mortero 6, cuyo origen probablemente sea orgánico.

Mortero 7

Estudio petrográfico 7

Árido: 40 %. Granos homométricos de tamaño fino, de micrita y arcilla compacta, cuarzo y feldespato potásico. En proporciones menores aparecen cristales de mica, calcita y bioclastos microscópicos.

Granulometría general del árido: 0,5 - 1mm. 20 % / < 0,5 mm. 20 %

Distribución mineralógica:

-Granos de micrita y arcilla compacta: 15% (se diferencian de la matriz por su evidente compactación, presentan morfología subredondeada y un tamaño medio de 0,4mm)

-Cuarzo (monocristalino): 13 % (subangulosos-subredondeados, de tamaños inferiores a 0,8 mm)

-Feldespato potásico: 7 % (subredondeados, tamaños inferiores a 0,5 mm. Se encuentran levemente alterados)

-Moscovita: 2 %

-Bioclastos: 2 %

-Calcita: 1 %

Ligante: 50 % Matriz micrítica calcítica

Porosidad interpartícula: 10 %

Composición química del mortero 7

Mediante el análisis del microscopio electrónico de barrido se ha determinado que predomina el calcio en la composición química total del mortero 7. Se trata, por tanto, de un mortero muy calcítico dado que contiene un 15 de granos de composición calcítica en su árido. Destaca también la ausencia de potasio.

Mortero 8A

Se trata de un mortero de la fase constructiva IIb, situado en la bóveda de ladrillo al oeste de la ventana, en el Alzado Norte del piso alto. Es un mortero blanco desprendido en el interior de la grieta.

Estudio petrográfico 8a

Árido: 50 %. Granos subangulosos-subredondeados de cuarzo, feldespato potásico, granos micritizados y plagioclasa principalmente. En menores proporciones aparecen biotita y minerales opacos.

Granulometría general del árido: > 1 mm. 15 % / 0,5 - 1mm. 15 % / < 0,5 mm. 20 %

Distribución mineralógica:

- Cuarzo (monocristalino): 27 % (subredondeados, tamaños entre 0,3 y 2 mm)
- Feldespato potásico: 15 % (subangulosos-subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,4 y 1 mm. Presentan cierta corrosión)
- Granos de micrita: 5 % (subredondeados, 0,3 – 0,5 mm de tamaño)
- Moscovita: 2 %
- Minerales opacos: 1 %

Ligante: 30 % Matriz micrítica calcítica

Porosidad interpartícula: 20 %

Composición química del mortero 8a

El análisis químico del mortero 8a muestra un material predominantemente constituido por calcio y sílice, con proporciones normales de elementos comunes a otros morteros estudiados del monumento como aluminio, magnesio, potasio o hierro.

Mortero 9

Mortero de la fase constructiva IIb, localizado en el trasdós de mampostería de la bóveda del piso alto. Se encuentra en las juntas, entre mampostería.

Estudio petrográfico 9

Árido: 65 %. Granos heterométricos subangulosos-subredondeados de cuarzo, feldespato potásico y granos micritizados y micas principalmente. En menores proporciones aparecen cristales de yeso y minerales opacos.

Granulometría general del árido: > 1 mm. 20 % /0,5 - 1mm. 15 % /< 0,5 mm. 30 %

Distribución mineralógica:

- Cuarzo (mono y policristalino): 30 % (subangulosos-subredondeados, tamaños entre 0,2 y 2 mm)
- Feldespato potásico: 14 % (subangulosos-subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,4 y 1 mm. Se encuentran levemente alterados)
- Granos de micrita: 10 % (subredondeados, 0,3 – 0,5 mm de tamaño)
- Moscovita y biotita: 6 %
- Minerales opacos: 3 %
- Yeso: 2 %

Ligante: 20 % Matriz micrítica calcítica, contiene materia orgánica.

Porosidad interpartícula: 15 %

Composición química del mortero 9

El mortero 9 guarda una gran similitud, respecto a las proporciones de sus componentes químicos, con el anterior mortero analizado, el mortero 8a.

Mortero 14

Es un mortero de preparación con restos de película pictórica en la bóveda del piso alto perteneciente a la fase constructiva IV.

Estudio petrográfico 14

Árido: 65 %. Granos de dos tipos de tamaño fundamentalmente, gruesos entre 1 y 2 mm y finos inferiores a 0,5 mm. Predominan los granos de cuarzo y feldespato potásico. En cantidades pequeñas aparecen cristales de plagioclasa, mica, granos de micrita y minerales opacos.

Granulometría general del árido: > 1 mm. 30 % / 0,5 - 1mm. 10 % / < 0,5 mm. 25 %

Distribución mineralógica:

-Cuarzo (mono y policristalino): 30 % (subangulosos-subredondeados, tamaños distribuidos en dos familias, una inferior a 0,5 mm y otra entre 1,5 y 2 mm)

-Feldespato potásico: 25 % (subangulosos-subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,4 y 1,8 mm. Bordes levemente corroídos)

-Plagioclasa: 5 %

-Granos de micrita: 3 %

-Moscovita y biotita: 1 %

-Minerales opacos: 1 %

Ligante: 25 % Matriz micrítica calcítica.

Porosidad interpartícula: 10 %

Composición química del mortero 14

El mortero 14 muestra una cantidad muy alta de calcio en detrimento del componente silíceo, bastante escaso en este mortero. La cantidad de aluminio es también baja.

Mortero 15

Se trata de un mortero de juntas bastante compacto, de reconstrucción en mampostería de la parte alta de la bóveda del piso alto de la fase constructiva IV.

Estudio petrográfico 15

Árido: 60 %. Granos heterométricos entre los que predominan los de cuarzo, moscovita y feldespato potásico. En menores proporciones aparecen granos de micrita y arcilla compactada y minerales opacos.

Granulometría general del árido: > 1 mm. 22 % / 0,5 - 1mm. 18 % / < 0,5 mm. 20 %

Distribución mineralógica:

- Cuarzo (mono y policristalino): 30 % (subredondeados, tamaños entre 0,3 hasta 4 mm)
- Moscovita: 12 % (cristales tabulares, tamaños entre 0,3 y 1,5 mm)
- Feldespatos potásicos: 10 % (subangulosos-subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,4 y 1,5 mm. Se encuentran levemente alterados)
- Granos de micrita y arcilla compacta: 5 %
- Minerales opacos: 3 %

Ligante: 30 % Matriz micrítica calcítica.

Porosidad interpartícula: 10 %

Composición química del mortero 15

La analítica del mortero 15 muestra su composición química, común con otros morteros estudiados. Destaca únicamente la presencia, aunque mínima, de cloro, que constata una leve contaminación por sales.

Mortero 17A

Consiste en un mortero de preparación de las pinturas del nártex de la fase constructiva IV, de juntas, blanco y disgregable.

Estudio petrográfico 17^a

Árido: 65 %. Granos heterométricos. Predominan los granos de cuarzo y feldespatos potásicos y de micrita. En cantidades pequeñas aparecen cristales de mica y minerales opacos.

Granulometría general del árido: 1 - 2 mm. 20 % / 0,5 - 1mm. 18 % / < 0,5 mm. 22 %

Distribución mineralógica:

- Cuarzo (mono y policristalino): 25 % (subangulosos-subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,4 y 2 mm)
- Feldespatos potásicos: 20 % (subredondeados, tamaños comprendidos entre 0,4 y 1,8 mm. Bordes levemente corroídos)
- Granos de micrita calcítica: 15 % (subredondeados, tamaños inferiores a 0,8 mm)
- Moscovita: 3 %
- Minerales opacos: 2 %

Ligante: 25 % Matriz micrítica calcítica.

Porosidad interpartícula: 10 %

Composición química del mortero 17a

El análisis químico mediante MEB indica el alto contenido en calcio del mortero 17a. Destaca además, de su composición química, el bajo contenido en sílice y magnesio y aluminio y la nula presencia de hierro.

Correlación de los morteros estudiados

Los resultados de los análisis realizados sobre los morteros se exponen en las siguientes tablas:

Relación árido/aglomerante de los morteros

| | 1a | 2b | 3 | 4 | 5a | 6 | 7 | 8 | 9 | 14 | 15 | 17a |
|-----------------------|----|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| Fase constructiva | I | I | I | Ila | Ila | Ila | Ila | Ila | Ila | IV | IV | IV |
| arido/aglomerante 1/1 | | | x | x | | x | x | | | | | |
| arido/aglomerante 2/1 | x | | | | x | | | x | | | x | |
| arido/aglomerante 3/1 | | | | | | | | | x | x | | x |
| arido/aglomerante 5/1 | | x | | | | | | | | | | |

Composición química de los distintos morteros (análisis general)

| | Mg | Al | Si | K | Ca | Fe | Ti | S | P | Cl | Mn |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|----|
| 1a | 20,73 | 18,73 | 32,70 | 7,48 | 6,19 | 11,26 | 1,21 | 1,70 | | | |
| 2b | 8,84 | 9,53 | 24,26 | 7,65 | 40,99 | 5,31 | 0,01 | 2,08 | | 1,33 | |
| 3 | 12,66 | 9,74 | 21,57 | 5,42 | 45,01 | 5,61 | | | | | |
| 4 | 17,28 | 14,53 | 30,68 | 5,6 | 22,34 | 5,74 | | | | 3,85 | |
| 5a | 11,05 | 8,02 | 18,33 | 5,27 | 46,06 | 1,53 | | 9,73 | | | |
| 6 | 9,57 | 7,97 | 11,92 | 5,08 | 46,59 | 2,33 | | 9,25 | 7,29 | | |
| 7 | 1,41 | 1,76 | 4,84 | | 88,46 | 3,52 | | | | | |
| 8a | 7,84 | 12,3 | 20,55 | 6,61 | 47,05 | 5,64 | | | | | |
| 9 | 8,32 | 10,63 | 20,19 | 5,26 | 52,18 | 3,43 | | | | | |
| 14 | 4,12 | 0,66 | 8,37 | 4,42 | 79,91 | 2,52 | | | | | |
| 15 | 7,68 | 10,53 | 25,42 | 6,95 | 43,6 | 5,34 | | | | 0,49 | |
| 17a | 0,86 | 0 | 10,77 | 3,21 | 85,16 | | | | | | |

Composición química del aglomerante de los distintos morteros

| | Mg | Al | Si | K | Ca | Fe | Ti | S | P | Cl | Mn |
|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|----|
| 1a2 | 18,06 | 10,26 | 27,73 | 0,56 | 2,34 | 41 | | 0,02 | 0,02 | | |
| 2b2 | 14,99 | 13,34 | 25,7 | 6,67 | 29,78 | 4,46 | | | | 5,07 | |
| 32 | 1,36 | 2,5 | 5,7 | | 83,23 | 7,21 | | | | | |
| 42 | 14,71 | 13,08 | 25,42 | 6,83 | 21,68 | 10,56 | 1,76 | 2,94 | | 3,02 | |
| 5a2 | 11,74 | 7,78 | 16,61 | | 54,43 | 1,34 | | | | 8,1 | |
| 62 | | | 4,97 | | 88,19 | | | 6,84 | | | |
| 8a2 | | 3,1 | 7,94 | 16,2 | 59,76 | 13 | | | | | |
| 92 | | 6,63 | 12,56 | 8,51 | 67,68 | 4,61 | | | | | |
| 142 | 0 | 0 | 1,96 | | 68,07 | 29,18 | 0,77 | | | | |
| 152 | 9,11 | 8,66 | 15,29 | 5,47 | 49,75 | 7,7 | | | | 4,03 | |
| 17a2 | 0,77 | 0 | 8,12 | 2,25 | 88,86 | | | | | | |

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de estos datos analíticos de los morteros estudiados se ha confeccionado la tabla siguiente donde se apuntan las observaciones e interpretaciones realizadas sobre la caracterización composicional de los mismos.

| Muestra | Fase | Situación | INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS |
|-----------|------|---|---|
| SEB-MC-1a | I | Arcos fajones de la bóveda del aula. Alzado Norte. Parece que tiene un enlucido encima más claro. Capa más exterior. Mortero muy deleznable, algo rojizo. | Este mortero no tiene casi calcio y muestra una alta proporción de hierro a lo que debe su baja coherencia y color rojizo. Contiene un alto contenido en matriz arcillosa con algo de calcita en una relación árido/matriz 2/1. Tiene mucha mica. Parece contener un árido granítico poco maduro (por la proporción de mica). Presenta trazas de yeso, quizá contaminación por sales procedentes del cemento portland empleado en el refuerzo del trasdós. Ligera contaminación por fósforo, quizás procedente de materia orgánica o bien de la capa de betún con negro de hueso de la capa negra aplicada. El hierro es muy alto, posiblemente por estar formado por tierras. También es muy alto el Mg. Este elemento puede proceder bien de las sales existentes en el zócalo. No existiendo otros portadores de magnesio, este debe encontrarse en el contenido arcilloso de la matriz (biotita, clorita o arcillas tipo talco, paligorskita, sepiolita, etc.). |
| SEB-MC-2b | I | Arranque de la bóveda del aula. Alzado Sur. Mortero muy blanco y bastante más compacto que los anteriores | El magnesio seguramente se encuentra como cloruro formando sales removilizadas, ya que la proporción de biotita es muy baja. El árido es granítico y el aglomerante cal. Llama la atención la alta proporción de árido/aglomerante, 5/1. La razón puede estar en una lixiviación del aglomerante carbonatado por la circulación de humedad que, además, aportaría las sales. |
| SEB-MC-3 | I | Bóveda que cubre el espacio del ábside. Alzado Este mortero muy compacto y difícil de extraer. Blanco con fragmentitos de ladrillo. | Este mortero está compuesto por una gran proporción de cal y muy poco árido granítico. |
| SEB-MC-4 | Ila | Restos de los enjarjes que separaban espacialmente el aula. Alzado Oeste. Mortero claro bastante compacto. | Al igual que en los morteros 1a y 2b, el abundante magnesio se asocia a la presencia de cloro, lo que lleva a la conclusión de que debe encontrarse como cloruro de magnesio (Bischofita) ⁴ . Esta es una sal muy móvil. También aparece azufre en la matriz, seguramente asociado a la presencia de yeso como contaminación por sales, aunque la petrografía no ha sido capaz de detectarlo. Muy probablemente se trata de un mortero de cal con una baja proporción de árido de granito (árido/aglomerante, 1/1). El hierro es más abundante que en otros morteros, sin llegar a las proporciones del mortero 1a. La falta de tinción se puede deber a que parte del hierro se encuentre como ión ferroso. |

⁴ La bischofita, cloruro de magnesio hexahidratado, absorbe humedad ambiente cuando la humedad relativa es superior al 32 %.

(Continuación)

| Muestra | Fase | Situación | INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS |
|-----------|------|---|--|
| SEB-MC-5a | Ila | Mortero de recubrimiento de la bóveda y de preparación de las pinturas del aula. Alzado Sur. Tiene encima un mortero de reposición. Mortero claro muy compacto. | Nuevamente una alta presencia de magnesio se asocia a la cloro, por lo que su origen hay que buscarlo en la presencia de sales higroscópicas de esta naturaleza. Por lo demás se trata de un mortero de cal con una relación árido/aglomerante próxima a 2/1. El árido es de naturaleza granítica, donde predomina la biotita. Se aprecia yeso en el árido (una parte de cada 11) ya que lo detecta la petrografía y el análisis MEB del todo uno, mientras que no aparece en el análisis MEB de la matriz. Este yeso abundante podría derivar de contaminación del mortero pórtland empleado en el refuerzo del trasdós tras una fuerte recristalización que lo haga apreciable al microscopio. |
| SEB-MC-6 | Ila | Mortero de revestimiento de los alzados interiores del aula bajo las placas de mármol. Alzado Sur. Mortero claro muy disgregado | Se trata de un mortero de cal, con baja relación árido/aglomerante (1,5/1), aunque básicamente es un mortero de cal, llama la atención la presencia de una notable cantidad de yeso tanto en el árido como en la matriz, ya que lo detecta la petrografía (cal/yeso 6/1) y también los análisis MEB de todo uno y matriz. Este yeso abundante podría derivar de contaminación de enlucidos o capas pictóricas tras una fuerte recristalización que lo haga apreciable al microscopio No se puede descartar definitivamente, sin embargo, la agregación intencional. El hecho de encontrarse disgregado se puede deber tanto a la movilidad del yeso, como a la de las sales de magnesio presentes. Hay que destacar también la presencia de fósforo, seguramente de origen orgánico por la capa negra de betún aplicada. |
| 7 | Ila | Arco de acceso al aula. Alzado Este. Mortero de juntas entre ladrillos. Mortero claro bastante compacto | Se trata de un mortero de cal con poco aglomerante (proporción inferior a 1/1). El árido es de granito, al igual que en otras muestras. Entre los granos aparecen bioclastos, relictos, sin cocer, de la caliza que se utilizó para la obtención de la cal. |
| SEB-MC-8a | IIb | Alzado Norte del piso alto, bóveda de ladrillo al Oeste de la ventana. Mortero blanco desprendido en el interior de la grieta, puede estar contaminado por el de hiladas superiores | Se trata de un mortero de cal con árido granítico de una relación árido/aglomerante 1,5/1, similar a la de los otros morteros. |
| SEB-MC-9 | IIb | Trasdós de mampostería de la bóveda del piso alto Mortero de juntas entre mampostería. No es seguro que sea original de esta fase constructiva. | Se trata de un mortero de cal con árido granítico de una relación árido/aglomerante 3/1, similar a la de los otros morteros. En lámina transparente se ha detectado yeso que, sin embargo, no se refleja en los análisis MEB realizados. |

(Continuación)

| Muestra | Fase | Situación | INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS |
|------------|------|--|--|
| SEB-MC-14 | IV | Revestimiento con pintura de la bóveda del piso alto. Mortero de preparación con restos de película pictórica. | En esta muestra existe un discrepancia entre los datos MEB, que muestran un mortero de cal, con muy poco árido y una relativamente proporción de hierro en la matriz, y los petrográficos que arrojan un mortero árido de granito y cal 3/1. No obstante si se tiene en cuenta que el árido también contiene un 3 % de granos de micrita, podría explicar esta anomalía. Respecto al elevado contenido en hierro podría proceder de los restos de capa pictórica en rojo u ocre (óxidos e hidróxidos de hierro). |
| SEB-MC-15 | IV | Reconstrucción en mampostería de la parte alta de la bóveda del piso alto Mortero de juntas bastante compacto. | Se trata de mortero de árido de granito y cal, en proporción 2/1. También aparecen cloruros de magnesio. |
| SEB-MC-17a | IV | Mortero de preparación de las pinturas del nártex. Mortero de juntas, blanco, disgregable | En esta muestra existe un discrepancia entre los datos MEB, que muestran un mortero de cal, con muy poco árido y una relativamente proporción de hierro en la matriz, y los petrográficos que arrojan un mortero árido de granito y cal 3/1. No obstante si se tiene en cuenta que el árido también contiene un 3 % de granos de micrita, podría explicar esta anomalía. |

En todos los morteros, el árido es arena de granito, probablemente arena arcósica muy inmadura por la presencia de abundante feldespato y mica y por la morfología subredondeada, subangulosa de los granos. Se trata de arena heterométrica, donde se pudo efectuar un cribado para eliminar tamaños superiores a uno o dos milímetros.

Salvo la muestra 1a, donde el aglomerante es arcilloso (no se descarta una parte de arcilla cocida) los morteros son de cal, donde subsisten fragmentos de la caliza (una variedad micrítica, biomicrítica en algún caso) que no llegaron a cocer lo que habla de la heterogeneidad de la distribución de las temperaturas durante el proceso de cocido o el uso de fragmentos de granulometría mal clasificada de la caliza utilizada para obtener la cal.

Excepto la muestra 2b, donde predomina el árido, generalmente la proporción árido/aglomerante es baja, variando desde inferior a la unidad a 3/1.

Las muestras 2b, 4 y 5a, parecen presentar una alta proporción del cloruro de magnesio higroscópico, probablemente como consecuencia de movilización de esta sal cuya procedencia se expone en el apartado siguiente de este capítulo.

En cuanto a la correlación entre estos morteros, las dificultades que se plantean a la hora de establecer una posible cronología relativa de los mismos se fundamentan:

En la funcionalidad para la que fueron elaborados y su puesta en obra, donde la relación de árido/aglomerante, la granulometría y la composición pueden variar.

En las contaminaciones del material original durante las intervenciones sin documentar que se hayan podido realizar, tanto en la antigüedad por labores de reparación o mejora como en las efectuadas desde su descubrimiento.

En los métodos de estudio, al ser el mortero una mezcla de aglomerante y árido ya consolidado su disgregación y la separación entre árido/aglomerante es complicada, además de que puede llevar a error a la hora de interpretar los datos, sobre todo en lo que se refiere a los componentes de carbonato cálcico (calcita) que puede encontrarse tanto en el aglomerante como en el árido.

En cuanto a los métodos de estudio, la dificultad comienza con la escasez de muestra al tratarse de morteros históricos donde se pretende minimizar el impacto sobre el monumento. Mediante las técnicas empleadas en este estudio se ha intentado mantener el mortero íntegro. No obstante en la misma preparación de las muestras para la confección de láminas delgadas, es irremediable una pequeña pérdida de los granos de mayor tamaño y una pequeñísima porción de la matriz por la erosión diferencial que se produce durante el proceso de pulido de la lámina. Respecto al estudio analítico se parte de muestras muy pequeñas que pueden menoscabar la representatividad de las mismas.

Partiendo de estos inconvenientes a continuación se especifican las interpretaciones realizadas y la posible correlación entre los morteros estudiados. Se expondrán a partir de las fases constructivas establecidas *a priori* en función de la toma de muestras.

En esta interpretación se le ha dado mayor peso a las características petrológicas, puesto que la posible contaminación por sales u otros compuestos empleados en las intervenciones realizadas dificultan el establecimiento de similitudes o diferencias significativas.

Partiendo de la base de que el material puede estar contaminado, como ya se ha expresado en el párrafo anterior, se ha establecido un índice que relaciona el cuarzo y el feldespato contenido en el árido a partir del estudio petrológico, que pudiera establecer el posible origen de la arena empleada para la correlación de estos morteros. Este índice lleva intrínseco un cierto grado de error por dos razones: la representatividad de la muestra (se parte de una sola muestra y de escaso tamaño) y la estimación es visual. No obstante en la correlación realizada se han tenido en cuenta todas las variables químicas y petrológicas.

MORTEROS DE LA FASE I.

Los morteros 1a, 2b y 3 son morteros con diferentes características tanto petrológicas como químicas.

El mortero 1a es un mortero con un gran contenido en arcillas, granulometría gruesa y elevada proporción de cuarzo en su árido. Por su disposición en la fábrica y sus características visuales, parece tratarse de un mortero de enfoscado o junta con la peculiaridad de que contiene tierras en su composición y que lo hace distinto al resto de morteros estudiados, tanto de esta fase como del resto de fases constructivas.

El mortero 2b también es un mortero singular por su proporción árido/aglomerante de 5/1 que no se ha registrado en otros morteros. Su granulometría es media, de granos homométricos y en el que las cantidades de cuarzo y feldespato en el árido son similares. Por otra parte su porosidad es muy baja respecto a los otros morteros, de un 5 %.

En su composición química, cabe resaltar el contenido en azufre y cloro que probablemente se deba a una contaminación por sales.

El mortero 3 contiene relación árido/aglomerante de 1/1 y su granulometría es heterométrica y fina, el 100 % de los granos se encuentra por debajo de 1 mm. La proporción de cuarzo respecto al feldespato es de 0,9, es decir, se encuentran en proporciones similares como en el caso de mortero 2b. Contiene un 10 % de granos de calcita. La porosidad del mortero es de 15 % que contrasta con el 5 % del mortero 2b.

Respecto a su composición química general, se encuentra cercana a los porcentajes del mortero 2b.

Este mortero en lo que a su granulometría se refiere es muy similar al mortero 6 y al mortero 7 de la fase constructiva IIa. Poseen un 100 % de finos y su relación árido/aglomerante es de 1/1. En cuanto a la composición química, entre el mortero 3 y 6 existen mayores semejanzas que entre el mortero 6 y el 7 de la misma fase constructiva.

De estas observaciones e interpretaciones, se podría concluir que la funcionalidad de este mortero es la de un enlucido o una capa de refino que se dispondría encima de la capa de enfoscado.

MORTEROS DE LA FASE IIa.

Las muestras consideradas dentro la fase constructiva IIa engloban a los morteros 4, 5a, 6 y 7. Son morteros de características petrológicas y químicas variables.

El mortero 4 posee una relación árido/aglomerante de 1/1 y su granulometría es media-fina (posee un 67 % de finos). Los granos son heterométricos, en los que el cuarzo es el mineral de mayor representación en una relación 1,5 respecto al feldespato.

Su composición química difiere del resto de morteros de esta fase constructiva por su baja proporción en calcio y su alto contenido en sílice que contrasta dada la proporción árido/aglomerante. Esta circunstancia se podría explicar si se tiene en cuenta los análisis efectuados por la empresa CPA, donde se mencionaba la existencia de morteros con caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) que aumentaría el contenido de silicio y aluminio en la muestra.

También contiene cloro, que como se ha mencionado en párrafos anteriores, su presencia se deba a sales o bien al tratamiento realizado con cloruro de bario.

Por su disposición en el monumento y sus características granulométricas se trataría de un mortero de enlucido con una proporción diferente al mortero 3 de la fase I que también se trata de un enlucido.

Mortero 5a. La granulometría de este mortero es gruesa (55 % de finos) de granos heterométricos y con una proporción árido/aglomerante es de 2/1. La arena empleada es rica en cuarzo, posee una relación cuarzo/feldespato de 1,9.

Respecto a su composición química, es destacable la elevada existencia de yeso, también detectado en lámina delgada al igual que ocurre con el mortero 6 de esta misma etapa constructiva, cuyas composiciones químicas son similares.

Por su puesta en obra y por sus características granulométricas parece tratarse de un mortero de enfoscado.

Mortero 6. La relación árido/aglomerante es de 1/1 y su granulometría heterométrica y fina (100 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 1,3.

Como ya se ha adelantado en párrafos anteriores, contiene una elevada proporción de azufre en su composición química, también observada en lámina delgada en forma de yeso.

Otro componente químico a destacar es la presencia de fósforo, que puede deberse a contaminación por sales o bien por la capa negra de betún con negro de humo, aunque no se ha detectado manganeso, no obstante el fósforo puede estar movilizado como sal y el manganeso no.

Este mortero en lo que se refiere a su granulometría presenta características muy parecidas al mortero 3 de la fase constructiva I. La relación Q/Fd (cuarzo/feldespatos) de 1,3 que se encuentra cercana a la del este mortero 3 (0,9) y al mortero 4, más que a la del mortero 5b (1,9), no obstante, en lo que se refiere a la composición química es un mortero muy similar al mortero 5b.

Por lo tanto, el mortero 6 cumple la función de enlucido o capa de agarre similar en composición al mortero 5b.

Mortero 7. La relación árido/aglomerante es de 1/1 y su granulometría heterométrica y fina (100 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 1,9) destacando la elevada proporción de calcita como árido (18 %).

Respecto a su composición química, el alto porcentaje de calcita en el árido, disminuye los porcentajes relativos de los otros elementos detectados. Por lo que su comparación no resulta efectiva.

MORTEROS DE LA FASE IIb.

Los morteros tomados como fase constructiva IIb son los morteros 8a y 9 y poseen entre ellos algunas características semejantes

Mortero 8a. La relación árido/aglomerante es de 2/1 y su granulometría heterométrica y media-fina (70 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 1,8.

Mortero 9. La relación árido/aglomerante es de 3/1 y su granulometría heterométrica y media-fina (69 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 2,1 y posee un 10 % de granos de micrita y 2 % de yeso.

Aunque la relación árido/aglomerante varía de uno a otro mortero son morteros con grandes semejanzas respecto a su granulometría, relación Q/Fd y composición química.

Son morteros, que por su granulometría y puesta en obra, corresponderían a de morteros de enfoscado o junta.

Estos morteros de la fase IIb son parecidos químicamente a los morteros 5b y 6 de la fase IIa. El mortero 9 también contiene yeso en el árido como estos morteros de la fase IIa. También la relación Q/Fd de los morteros 8 y 9 es similar al del mortero 5b.

MORTEROS DE LA FASE IV

Los morteros 14, 15, y 17a, en la toma de muestras se han englobado en la fase IV.

Mortero 14. La relación árido/aglomerante es de 3/1 y su granulometría homométrica y gruesa-media (54 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 1.

Respecto a su composición química guarda una estrecha semejanza con el mortero 17a.

Mortero 15. La relación árido/aglomerante es de 2/1 y su granulometría heterométrica y media (63 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 3, es decir se trata de una arena muy rica en cuarzo.

Su composición química es similar al mortero 2b (fase constructiva 1), aunque en cuanto a la relación, entre cuarzo/feldespato, y otras características granulométricas no parecen coincidir.

Mortero 17a. La relación árido/aglomerante es de 3/1 y su granulometría heterométrica y media (62 % de finos). La relación de cuarzo respecto al de feldespatos en el árido es de 1,3. Contiene un 15 % en calcita como árido.

En esta fase constructiva guarda una estrecha semejanza, en cuanto a su composición química y granulométrica, el mortero 14 y 17a mientras que el mortero 15 no parece coincidir en ninguna característica con los morteros de esta fase.

Las características químicas de los morteros 14 y 17a parecen tener ciertas similitudes con el mortero 7.

BIBLIOGRAFÍA

-Álvarez, J.I., Martín, A. y García, P. J (1995) "Historia de los morteros. Materiales y técnicas". PH Boletín Informativo nº13 IAPH Sevilla: 52-59.

-Moropoulou, A, Polikreti, K et al. (2003): "Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics. Cement and Concrete Research, vol. 33. Pergamon (Elsevier Science).

-Sepulcre Aguilar , A. (2003) "Tópicos comunes en la elaboración y uso de los morteros de restauración de fábricas". Pátina, nº12 ESCRBC, Madrid: 29-39.

- Louis, M., Prado, R., Spairani, Y. and García, E., (2000)"Characterisation of Mortars for Architectural Restoration". 5º International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin., p.p. 245-248. Sevilla