



EL OBRADOR

MORTEROS DE RESTAURACIÓN

(SEGUNDA PARTE)

Josep Gisbert Aguilar¹Ignacio Mateos Royo² y Ion Ander Somovilla de Miguel²

¹*Equipo Arbotante. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Spain (gisbert@unizar.es)*

²*RocArTec. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Spain (RocArTec@gmx.es)*

La resistencia de un mortero de cal o de cal hidráulica puede aumentarse notablemente utilizando un árido hidráulico (cerámica machacada, escorias de fundición, cenizas volcánicas naturales...). Esta adición es la que usaban los romanos para fabricar morteros hidráulicos. (Fig. 2, fotos 4 y 5).

Las propiedades del material varían según la dosificación agua/arena/ligante, de la granulometría y composición del árido y del tipo de ligante.

Seguidamente evaluamos varios morteros de cal de factura reciente usados en restaura-

ción, para dar un carácter concreto a las anteriores consideraciones y abastecer al lector de criterios para diseñar sus propias actuaciones.

Evaluación de tres morteros de restauración en cinco dosificaciones (Fig. 1)

1. Mortero de cal y arena (**cal y arena**).
Fabricado con cal apagada en polvo de origen industrial.



Foto 4. Aspecto general del mausoleo romano de Fabara. Construido en el s. II (época trajana) de nuestra era con impermeabilización de cimientos y cosido de sillares con grapas antisísmicas

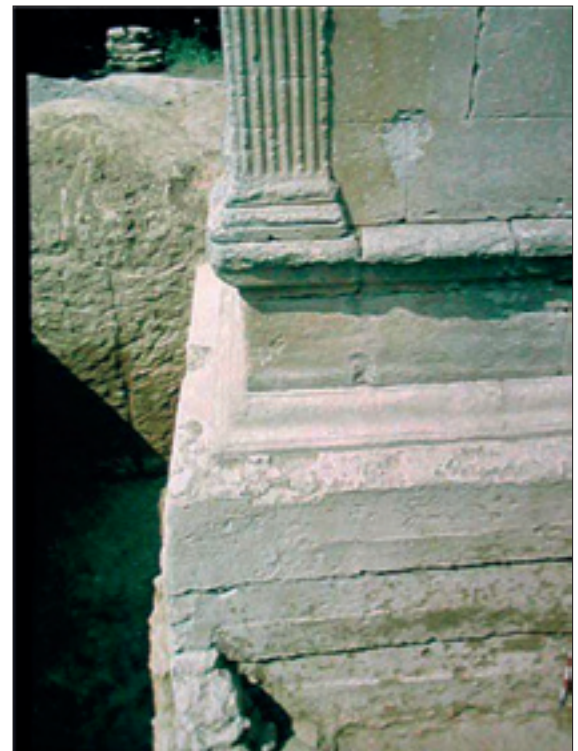


Foto 5. Mausoleo de Fabara. Excavación que muestra el encofrado de cal hidráulica de cimientos. Todavía se aprecian las huellas de los maderos del encofrado. Además el hormigón está compactado, así pues, también conocían el incremento de resistencia que produce esta técnica.

Morteros de restauración

La dosificación empleada ha sido **1:2:1** (agua:arena:ligante).

- Mortero comercial de cal hidráulica y árido hidráulico (**Hidráulico A1 e Hidráulico A2**).

La primera dosificación empleada (A1) ha sido **1:0,15:1** (agua:arena:ligante). Se ha realizado una segunda evaluación solo de propiedades mecánicas adicionando árido inerte en proporción **1:1,15:1** (A2).

El árido de fábrica son microesferas de vidrio huecas en su interior. Al ser vidrio la superficie exterior reacciona con la cal y el hueco interior, además de conferirle una densidad muy baja, atrapa las sales y disminuye los daños por esta causa.

El ligante es cal, silicato cálcico (wollastonita) y aluminato tricálcico.

Optativamente se puede adicionar en el amasado un acrílico que suministra la casa comercial. En este caso esa posibilidad no se ha considerado.

- Mortero comercial de cal semi-hidráulica, aditivado con ligante resinoso y talco. (Hidráulico B / Hidráulico B+acrílico)

El árido es inerte, constituido por cuarzo.

El ligante es cal, silicato cálcico (larnita) y un ligante resinoso no identificado.

Lo hemos analizado con dos dosificaciones distintas. Una ha sido 1:0,15:1 (agua:arena:ligante) y la segunda 1:0,15:1+ 0,1 es la misma con la adición de un 5% de acrílico en el agua de amasado.

Aunque con lo ya expuesto descartaríamos para su uso en restauración a los dos últimos morteros por la presencia de aditivos y resinas, creemos interesante incluirlos en la evaluación para tener una visión más amplia en la variación de comportamiento en base a los componentes presentes. Los ensayos que proponemos permiten estimar el comportamiento a lo largo del tiempo de vida de los morteros, excepto para los que tienen aditivos y resinas. Estos componentes introducen una importante incógnita en la evolución del material para tiempos superiores a 10-20 años.

La Fig. 1 muestra los parámetros tecnológicos medidos en los cuatro morteros y de los cuales podemos extraer las siguientes conclusiones:

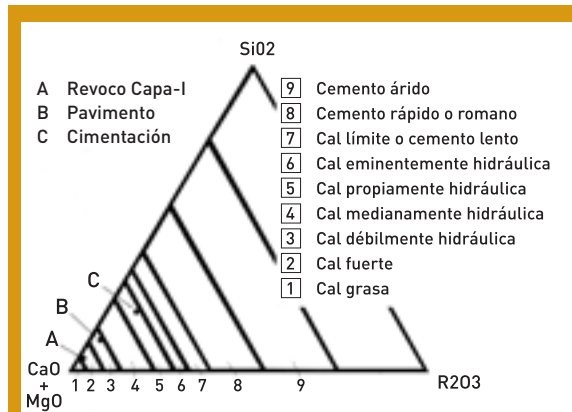


Fig 2. Análisis químico de los morteros del mausoleo romano de Fabara. En cimientos hay un hormigón de cal en el que el ligante es cal hidráulica. En el solado del *conditorium* las placas de piedra están trabadas con un mortero de cal semihidráulica mientras que el revestimiento que cubría las paredes tiene un ligante de cal aérea con dos capas, la inferior de árido del río Matarraña (próximo al mausoleo) y la superior con árido de marmolina.

En las cales hidráulicas no hay árido hidráulico, de lo cual se deduce que o bien cocieron una caliza algo margosa o bien aditivaron la pasta de cal con cerámica finamente molida. Es más probable la segunda hipótesis pues no poseían tecnología para medir el carácter "margoso" de una caliza.

Es fascinante descubrir la gran elaboración tecnológica en morteros constructivos que ya se poseía en el s. II de nuestra era.

1. Respecto a las propiedades del material

- La porosidad total la podemos modificar con la dosificación agua/árido/ligante.
- La permeabilidad al vapor hay que testarla para la dosificación usada en cada caso; el aumento de árido la aumenta, el ligante hidráulico la disminuye. En un mismo mortero, el aumento de la porosidad total (que podemos modificar cambiando la dosificación) la aumenta.
- La velocidad de desorción disminuye con el porcentaje de ligantes hidráulicos.
- Los aditivos modifican la porosidad abierta, la trabajabilidad, la velocidad de fraguado y la resistencia mecánica. Sin embargo, introducen una incertidumbre en la evolución temporal del material y en la transmisión de patologías al paramento próximo que los hacen inaceptables en el uso aquí propuesto.
- La resistencia mecánica aumenta con la hidraulicidad del ligante y la presencia de áridos hidráulicos. La adición de árido inerte (en proporciones moderadas) disminuye la resistencia a la flexotracción y aumenta la resistencia a compresión.

EL OBRADOR

	CAL Y ARENA	HIDRÁULICO A		HIDRÁULICO B	
		A1	A2	Simple	Hidr. B+acril.
Dosificación agua:árido:ligante	1:2:1	1:0,15:1	1:1,15:1	1:0,15:1	1:0,15:1+ Acrílico
Composición árido de fábrica		Vidrio silíceo (microesferas huecas)		Cuarzo Calcita Talco	Cuarzo Calcita Talco
Composición árido añadido	Cuarzo	No se adicionó	Cuarzo	No se adicionó	No se adicionó
Adhesividad petrográfica % de superficie adherida al sustrato	84 %	29 %	S. d.	10 %	88 %
Composición del ligante antes del fraguado	Portlandita	Portlandita Silicato cálcico (Wollastonita) Aluminato tricálcico		Silicato cálcico (larnita) Portlandita Ligante resinoso	Silicato cálcico (larnita) Portlandita Ligante resinoso Resina acrílica
Densidad aparente (g/cm ³)	1,733 (ALTA)	0,8601 (BAJA)	S. d.	1,169 (BAJA)	0,953 (BAJA)
Densidad real (g/cm ³)	2,654 (ALTA)	2,110 (BAJA)	S. d.	2,548 (ALTA)	2,499 (ALTA)
Porosidad total (%)	34,7217	58,9574	S. d.	54,0955	61,883
Porosidad abierta (%)	20,679 (INTERMEDIA)	26,805 (INTERMEDIA)	S. d.	46,270 (ALTA)	52,782 (ALTA)
Porosidad petrográfica (macroporosidad) (%)	10,6	17	S. d.	15,90	13,5
Permeabilidad vapor agua (g/m ² x24 h)	175,061	47,69	S. d.	192,061	
Absorción (interconexión de poros)	ALTA (Saturación rápida)	BAJA (Saturación lenta)	S. d.	ALTA (Saturación rápida)	ALTA (Saturación rápida)
Desorción (velocidad)	ALTA (3 días -4%)	BAJA-MEDIA (11 días -10%)	S. d.	MEDIA (5 días -4%)	BAJA (10 días -2%)
Resistencia a flexotracción (Kg/cm ²)	4,1	29	21	5	
Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	12,3	116	123	8	
Pérdida o ganancia de material en el ensayo de envejecimiento acelerado (%)	-45,85	Inapreciable	S. d.	Inapreciable	-2,22
Estado físico después del ensayo de envejecimiento acelerado	Disgregación por arenización	Rotura en grandes fragmentos	S. d.	Fracturación paralela a la superficie	Pérdidas en aristas y vértices

S. d. Sin datos

Figura 1. Características sintéticas de los cuatro morteros evaluados. El de cal y arena es un mortero de elaboración propia con un árido de cuarzo. Los otros dos son morteros (hidráulico A y B) de restauración comerciales.

La adhesividad petrográfica es una evaluación del porcentaje de superficie que queda bien adherida cuando aplicamos una capa fina del mortero sobre un mortero de sustrato que en este caso fue un enfoscado de yeso tradicional. Se evaluó extrayendo una muestra un año después de la aplicación.

El ensayo de envejecimiento acelerado consistió en un ensayo de cristalización de sales. De los cuatro evaluados, dos no sufrieron deterioro apreciable, y otros dos sí.

2. Relativos al uso conceptual

A) El mortero de cal y arena es un excelente mortero de sacrificio en situación de patologías mecánicas, pues tiene baja resistencia mecánica.

B) Los morteros de cal hidráulica (y la adición de árido hidráulico) pueden ser muy interesantes en actuaciones de restauración que requieran resistencias mecánicas elevadas. Según el contexto se puede recurrir a cal con árido hidráulico, cal hidráulica con árido inerte o a cal hidráulica con árido hidráulico.

Morteros de restauración

- C) Los morteros comerciales han de analizarse previamente a su uso (al margen de los análisis del fabricante) incluso si se publicitan como morteros de restauración. Así, en el Hidráulico B no concretaba la composición del ligante resinoso (solo indicaba que era un producto orgánico), ligante que da mal resultado pues en las cubetas cúbicas se produce una desmezcla concentrándose el ligante resinoso en los 2 mm superiores. Por otro lado, tampoco se señalaba la presencia de talco, material objetable en un mortero de restauración al ser un silicato magnésico.
- D) Se deben descartar los morteros con aditivos y/o resinas.
- E) Los morteros a la receta son una opción muy interesante, la hidraulicidad se puede conseguir con adición de polvo y árido de cerámica (ladrillos). Esta posibilidad conlleva la necesidad de evaluar, con los pertinentes ensayos, el comportamiento de las recetas a desarrollar. Puede ser muy adecuado copiar las recetas romanas.

MORTEROS DE YESO

Fabricados al descomponer la piedra de yeso a 120 °C con desprendimiento de H₂O a la atmósfera y formación de basanita (SO₄Ca_{1/2}H₂O). Si se calienta por encima de 200 °C comienza a aparecer anhidrita (SO₄Ca) y por encima de 1000 °C se descompone la anhidrita dando cal, si existe arcilla o sílice activa se formarán, además, fases cementicias de silicatos/aluminatos cálcicos.

Normalmente en los yesos artesanales como los industriales no se superan los 300° y el ligante es yeso, basanita y anhidrita.

Los yesos artesanales, realizados en hornos tradicionales o en piras a pie de obra, pueden denominarse yesos de primera generación.

Los yesos de segunda generación, desarrollados a finales del XIX y primera mitad del XX, se caracterizan por un control de la temperatura del horno, una molienda uniforme de factura industrial y un ensacado estándar.

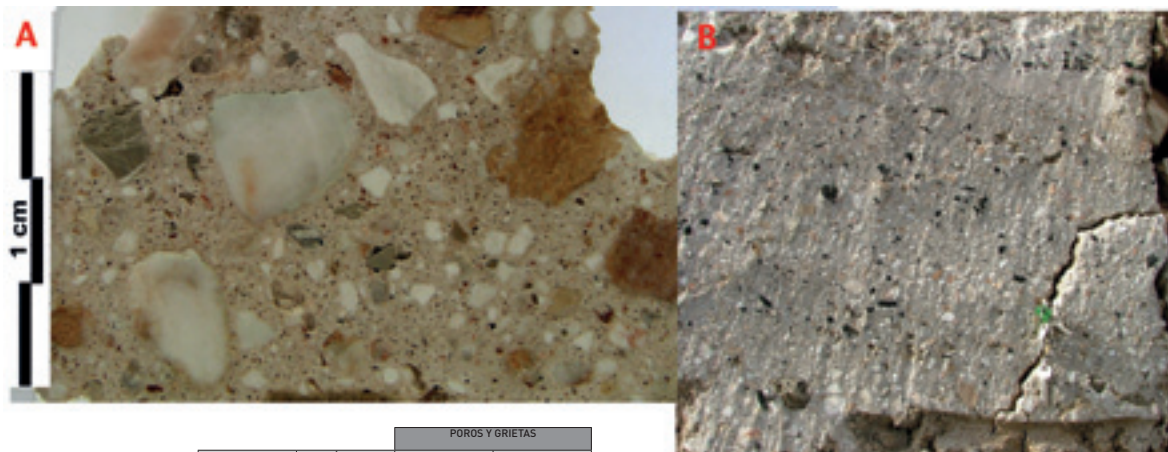
Los yesos de tercera generación se caracterizan por dosificar a los distintos componen-



Foto 6. Aspecto de las torres medievales de Alcaine fabricadas con mampostería y hormigón de yeso.

1 Todo material de restauración ha de ser fácilmente identificable como nuevo y distinto del paramento histórico, además de documentalmente, esta identificación ha de ser posible por la naturaleza misma del material. Así, una cal industrial es ideal para el uso en restauración, ya que tiene las mismas propiedades que la cal tradicional, pero además su "textura microscópica" la identifica inequívocamente como un material de nueva aplicación.

EL OBRADOR



	Ligante	Árido	POROS Y GRIETAS	
			Vacios	Rellenos
Mortero rosa	36,1	46,1	17,0	0,8
Mortero gris	34,0	47,4	17,0	1,6

Foto 7. Detalle del hormigón de yeso en los torreones de Alcaine. En A se aprecia el árido de yeso no cocido, en B observamos la incorporación de cenizas –también como árido–. En C presentamos el cálculo de la dosificación para los dos casos

tes del ligante en función del uso y por añadir distintos aditivos para modificar el comportamiento.

Los yesos de cuarta generación son aquellos en los que la materia prima no es natural sino que proviene de procesos industriales de desulfuración para reducir las emisiones de SO₂ a la atmósfera. Poseen –añadidas– todas las cualidades de la tercera generación.

De lo anteriormente comentado podemos generalizar que los morteros de yeso en restauración serán adecuados los de primera y segunda generación, siendo rechazables los de tercera y cuarta por el uso de aditivos y por la posible contaminación química en la materia prima en los provenientes de desulfuración.

Los yesos de segunda generación son cada vez más difíciles de conseguir aunque no es imposible, ya que es factible conseguir el suministro de un yeso de tercera generación sin aditivo, incluso hay alguno en el mercado que se comercializa sin aditivos.

Hay elementos de los morteros tradicionales que es interesante recuperar para los morteros de restauración, como es la adición de cal y el árido de piedra de yeso a medio cocer (fotos 6 y 7).

La adición de cal retrasa el fraguado, mejora la durabilidad a la intemperie y aumenta las resistencias mecánicas del mortero de cal y yeso.



Foto 8. Recreación y puesta en funcionamiento de hornos de yeso tradicionales en Aguaviva (Teruel) en marzo de 2002



Foto 9. Hornos tradicionales en los que la empresa Yesos y Minas de Albarracín fabrica sus morteros de yeso, disponibles en distribución comercial

Morteros de restauración

La adición de árido de yeso permite generar hormigones de yeso de interesantes prestaciones (ver fotos 6 y 7) que constituyen un material más a la hora de disponer de una amplia gama de recursos en la actuación.

También es muy interesante realizar morteros de yeso a la receta dosificando las cantidades de basanita y anhidrita. El problema es la política de secreto industrial existente en el sector que no detalla las dosificaciones de estos componentes en los morteros a la venta y que no acepta servir estos componentes por separado.

En otras palabras, si queremos aplicar morteros de yeso a la receta y con una composición conocida hemos de fabricarlos nosotros. Esto, que sería inviable para la cal, es factible para el yeso dada la sencillez –y las bajas temperaturas– de la tecnología tradicional; de hecho, en los últimos años se han recreado –con finalidad meramente cultural– en varios pueblos de Aragón el encendido de hornos de yeso (foto 8).

En Aragón existe un industria que fabrica y comercializa un yeso elaborado con métodos

tradicionales (Yesos de Albarracín). El producto es un yeso con mucha anhidrita y algo de cal, elementos que le confieren resistencia a la intemperie; tiene también un porcentaje notable de árido natural y pigmentos naturales (en rojo y en gris) (foto 9 y 10). Este material es muy recomendable para su uso en restauraciones.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOTANTE, Equipo de Investigación (2003): *El deterioro de la piedra en la catedral de Tudela: caracterización del problema y propuestas de salvaguarda*. Informe técnico al Laboratorio de Edificación CADIA - ICT. Instituto Científico y Tecnológico de Navarra. 121 pp.

ARNOLD and ZEHNDER (1990): "Salt weathering on monuments". *Advanced workshop. Analytical methodologies for investigation of damaged stones*. Pavia Italy. Sept. 14-21 F. Veniale and U. Zezza. 58 pp.

GÁRATE ROJAS, I. (2000): *Artes de la cal*. Instituto Español de Arquitectura. MRRP. Universidad de Alcalá. Editorial Munilla-Lería. 415 pp.

GÁRATE ROJAS, I. (2002): *Artes de los yesos. Yeserías y estucos*. Instituto Español de Arquitectura. Editorial Munilla-Lería. 381 pp.

POBLADOR PUGA, M.^a Pilar (2004): "Criterios histórico-artísticos en la restauración arquitectónica". Ponencia al *V Curso de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología: caracterización y restauración*. Uncastillo, julio 2004.



Foto 10. Aspecto –a dos escalas– de revocos exteriores con yeso de Albarracín. Algunos de ellos tienen más de 200 años y evidencian una elevada durabilidad a la intemperie. La foto es del propio autor.

GLOSARIO

EDÓMETRO: Aparato de ensayo para estudiar la compresibilidad de un suelo o terreno.

EFLORESCENCIA: Conversión en polvo, de diversas sales, al perder el agua de cristalización.



Edómetro

Eflorescencia