

MORTEROS DE REPOSICIÓN SU ROL EN LA CONSERVACIÓN

Última parte

En los edificios de alto valor histórico-cultural, los morteros de reposición, deben atender a los diferentes usos y funciones que, en cada caso, definen su formulación.

Por **Fernando M. A. Henriques; A. Elena Charola; Vasco M. Rato; Paulina F. Rodrigues**

4. Ensayos de evaluación

Definidas las características y las propiedades de los morteros de reposición, es fundamental poder evaluarlas en las distintas formulaciones con las que se las pretende utilizar. Con este fin, existen normas de ensayos de materiales aprobadas por entidades nacionales o por organismos internacionales. Sin embargo, es importante recordar que hay diferencias entre los protocolos usados en distintos países. Por ejemplo, la comparación de una característica tan común como la permeabilidad al vapor del agua se expresa de formas totalmente diferentes de acuerdo con los distintos protocolos existentes [5]. Haciendo una breve reseña bibliográfica, se puede comprobar que esto es válido para otros ensayos como, por ejemplo, la resistencia a la cristalización de sales solubles. Cabe señalar, además, que los resultados obtenidos con ensayos realizados con una misma norma en distintos laboratorios, aun en un mismo país, pueden arrojar significativas diferencias [6].

En el caso específico de morteros, también se ha de tener en cuenta tanto la manera de preparar la mezcla como las condiciones de su fraguado, ya que éstas son críticas en determinar las propiedades por evaluar, como quedó



LA PROF. LUIGIA BINDA DEL POLITÉCNICO DE MILANO SEÑALA LA ALTURA HASTA LA CUAL LLEGA EL ASCENSO CAPILAR EN UNA PARED DEL CLAUSTRO DE SAN EUSTORGIO EN MILAN (ITALIA). EL CLAUSTRO FUE UTILIZADO COMO CABALLERIZA EN SIGLOS PASADOS, LO QUE GENERÓ SALES SOLUBLES QUE ESTÁN DEGRADANDO LOS MATERIALES.



PARED EN LA QUE EL MORTERO ORIGINAL DE CAL FUE REEMPLAZADO POR UNO DE CEMENTO PÓRTLAND. COMO ESTOS MORTEROS SON MENOS POROSOS QUE LOS LADRILLOS ORIGINALES DE LA PARED, LA CRISTALIZACIÓN DE LAS SALES QUE PENEIRAN EN ELLA POR CAPILARIDAD, CRISTALIZAN EN LOS LADRILLOS DETERIORÁNDOLOS.

demostrado claramente en un estudio en el que la misma formulación, preparada según distintas normas, tuvo diferencias significativas en las características evaluadas [7].

Otro punto importante es la selección de los ensayos necesarios para evaluar el comportamiento de los morteros, teniendo en cuenta que los morteros de reposición para estructuras antiguas no necesariamente tienen que cumplir las mismas normas que se utilizan para el caso de construcciones nuevas.

Teutónico et al. [8] consideran que los ensayos mínimos por realizar, además del aspecto visual que el mortero debe tener para integrarse al monumento en consideración, son:

- Permeabilidad al vapor del agua
- Absorción capilar del agua
- Contenido de sales solubles

- Contracción al fragüe

Para aquellos morteros que deben cumplir una función estructural se deben incluir los siguientes ensayos:

- Resistencia a la compresión
- Módulo de elasticidad
- Coeficiente de expansión térmica

Por otro lado, Snethlage [9] propone los siguientes ensayos para morteros de juntas:

- Módulo de elasticidad dinámico
- Resistencia a la compresión
- Expansión hídrica e hídrica
- Expansión térmica
- Coeficiente de absorción de agua
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (inverso de la permeancia)
- Adhesión al sustrato

Estos ejemplos sirven para ilustrar la variedad de ensayos que distintos investigadores consideran básicos para la evaluación de morteros curados. Pero también la mezcla fresca debe ser evaluada: debe determinarse qué tipo de moldes se utilizarán para su fraguado (cuyas dimensiones habrán de influir en el resultado de los ensayos que se realizarán posteriormente) así como las condiciones de cura [10]. Por ejemplo, Knöfel y Schubert [11] consideran que los ensayos pueden dividirse en “necesarios” y “deseables”, que, para el caso de morteros, son:

Morteros	Ensayos necesarios	Ensayos deseables
Frescos	Consistencia Tiempo de trabajabilidad Retención de agua	Liberación de agua al fraguar Densidad aparente Contenido de aire
Curados	Módulo dinámico de elasticidad Coeficiente de expansión térmica Contracción y expansión Resistencia a ciclos hielo-deshielo Coeficiente de absorción de agua	Permeabilidad al vapor de agua Higroscopicidad Tendencia a la eflorescencia Valor de saturación de agua Porosidad total Resistencia a la compresión Módulo elástico
Curados aplicados sobre sustrato	Adherencia bajo tensión Adherencia bajo esfuerzo de corte Resistencia a la compresión de la junta	Comportamiento de envejecimiento



DETALLE DE LA CRISTALIZACIÓN DE LAS SALES SOLUBLES QUE DETERIORAN EL MORTERO DE CAL AÉREA, PUES AL SER MÁS POROSO, LA EVAPORACIÓN DEL AGUA Y LA CONSECUENTE CRISTALIZACIÓN DE LAS SALES OCURRE EN ESE MATERIAL.

EVENTUALMENTE, SE LLEGA A UNA SITUACIÓN EN LA QUE SE PIERDE CASI TODO EL MORTERO DE LAS JUNTAS. ANTE ESA SITUACIÓN, LA REACCIÓN GENERAL ES TRATAR DE REEMPLAZAR EL MORTERO POR UNO MÁS FUERTE Y MÁS RESISTENTE. PARA ESTE FIN, SE UTILIZA EN GENERAL MORTEROS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND.

DETALLE DEL DETERIORO PREFERENCIAL DE LOS LADRILLOS AL SER MÁS POROSOS QUE EL MORTERO DE CEMENTO PÓRTLAND UTILIZADO EN LA RESTAURACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA.



FOTOMICROGRAFÍA ÓPTICA DE UN MORTERO DE CAL CON UNA ARENA DE GRANULOMETRÍA UNIFORMEMENTE GRUESA (DE COLOR AZUL, CELESTY Y ROSADO). AL EVAPORAR EL AGUA DE LA PASTA DEL MORTERO, SE FORMAN GRANDES VACÍOS Y FISURAS (DE COLOR AMARILLO) EN LA PASTA DE CAL FRAGUADA (DE COLOR BLANCO). ESTO RESULTA EN UNA BUENA POROSIDAD INTERCONECTADA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD SERÁ GRANDE.

MORTERO DE CEMENTO CON LA MISMA ARENA DE GRANULOMETRÍA UNIFORMEMENTE GRUESA (DE COLOR AZUL, CELESTY Y ROSADO). AL FRAGUAR EL CEMENTO NO SE FORMAN FISURAS POR LA MAYOR RESISTENCIA MECÁNICA DE LA PASTA, PERO SÍ SE FORMAN MACROPOROS (DE COLOR AMARILLO) AISLADOS EN LA PASTA DEL CEMENTO. AL NO ESTAR CONECTADOS LOS MACROPOROS, LA ABSORCIÓN CAPILAR DEL AGUA ES MENOR Y LA FUNCIÓN DE LOS MICROPOROS DE LA PASTA DE CEMENTO.

MORTERO DE CAL CON UNA ARENA CON BUENA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA. LOS DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTÍCULA PERMITEN UNA MEJOR DISTRIBUCIÓN DE LA PASTA DEL MORTERO. EN CONSECUENCIA, NO SE FORMAN FISURAS Y LOS POROS RESULTANTES SON MENORES.

5. Discusión y conclusiones

El número mínimo de ensayos necesarios para evaluar morteros de un tipo específico —ya sea para revoques, juntas o inyección— es uno de los problemas que se está considerando a nivel internacional, pues la evaluación de las características necesarias para cada tipo de mortero es fundamental. Pero además de considerarse el tipo de ensayo, sería importante indicar el límite de tolerancia de los resultados de esos ensayos [12].

Se deberá recordar que las diferencias en los ensayos de una misma característica hacen que los resultados no sean comparables, sobre todo a nivel internacional y considerando las distintas normas nacionales existentes. La idea de llegar a una normalización global, como lo está haciendo la Unión Europea —aun siendo éste un objetivo meritorio— implica que los resultados con los nuevos ensayos normalizados no se podrán comparar con los anteriores, ya que pequeñas diferencias en el protocolo pueden dar variaciones significativas en los resultados obtenidos.

La situación presente, en la que se realizan estudios paralelos con ensayos diferentes, puede generar información que sirve para comprender la razón de las diferencias y, por ende, la naturaleza del problema. Por ejemplo, es bien sabido que el agregado tiene mucha influencia en el comportamiento final de los morteros, en particular su distribución granulométrica, ya que de ella depende la porosidad final. En general, se extrapolan los comportamientos resultantes por las variaciones de agregado a formulaciones con distintos ligantes.

Un estudio reciente evaluó el efecto de la granulometría del

agregado en formulaciones 1:3 realizadas con cal Lafarge, con cemento blanco y con cal aérea [13]. En primer lugar, la porosidad abierta para mezclas con cal Lafarge o cemento blanco varía entre 24% y 35%, mientras que para mezclas con cal aérea y las mismas arenas, la porosidad sólo varía entre 30% y 38%. En consecuencia, el coeficiente de absorción capilar de agua también es afectado. Para las formulaciones de cal Lafarge o cemento blanco, incrementa regularmente con la porosidad abierta, pero para formulaciones con cal aérea, el coeficiente de absorción capilar muestra un comportamiento más errático. Para la menor porosidad abierta (30%), tiene un valor de $0.28 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{seg}^{0.5}$; llega a un máximo de $0.31 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{seg}^{0.5}$ para una porosidad del 34% y decae a un mínimo de $0.21 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{seg}^{0.5}$ para la porosidad máxima de 38%, como se puede observar en la Figura 1.

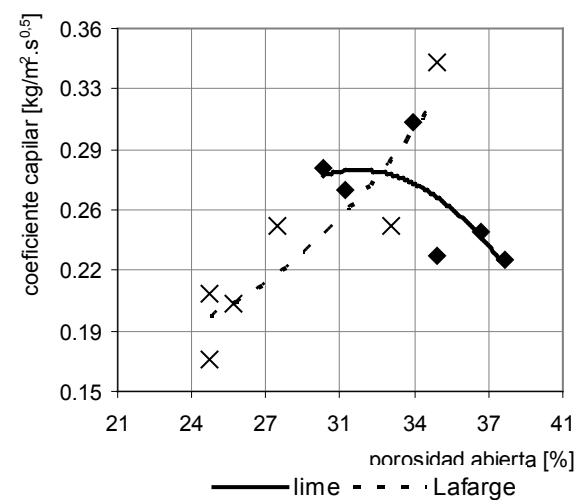
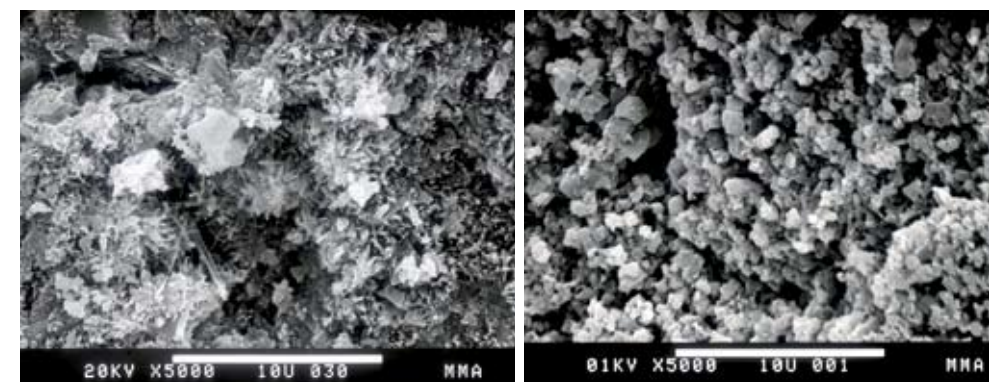


Figura 1. Coeficiente de absorción capilar en función de la porosidad abierta para morteros preparados a base de cal Lafarge o cal hidratada con seis agregados de distinta granulometría

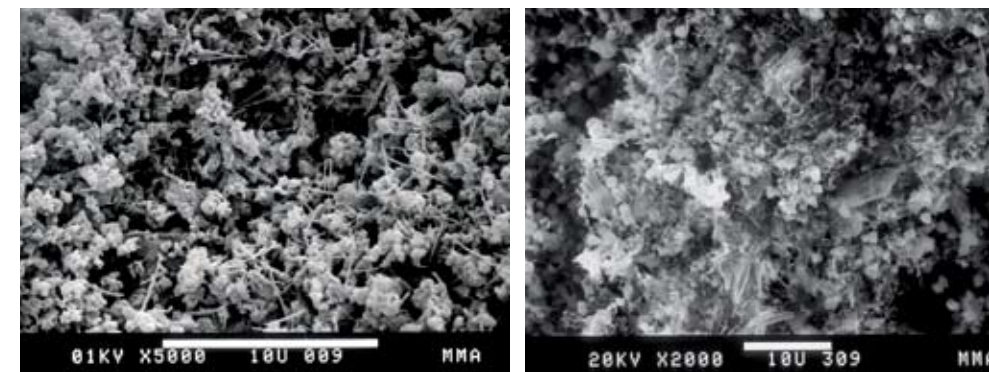
También el sustrato sobre el cual se aplica el mortero tendrá influencia en el comportamiento de éste, particularmente en lo que se refiere a su velocidad de secado, como se comprobó en los estudios de Petkovic [14] y colaboradores [15]. Si el mortero, con una distribución de diámetro de poros en torno a $1 \mu\text{m}$, se aplica a un sustrato de baja porosidad, como un ladrillo de autoclave cuyos poros principales tienen un diámetro inferior al $0.1 \mu\text{m}$, secará más rápidamente que el sustrato, ocurriendo lo inverso si el sustrato tiene una porosidad mayor, como una arenisca con diámetro de poros principales de aproximadamente $70 \mu\text{m}$. El tiempo de secado del mortero, sin embargo, es similar en ambos casos, variando fundamentalmente la distribución de humedad del sistema mortero-sustrato. Esta distribución es de fundamental importancia para el caso de mamposterías que contienen sales solubles, ya que ellas se concentrarán en el residuo de agua líquida y, cuando esta evapora, cristalizarán en ese lugar. Estos resultados confirman la importancia de la compatibilidad de materiales y, en particular, de la porosidad de ambos materiales como ya fue indicado por Binda y Baronio hace veinte años [16].

En conclusión, cuando se formulan morteros de reposición, en primer lugar se debe tener en cuenta la función que el mortero ha de cumplir en la estructura a la cual se aplica. En segundo lugar, se deben realizar estudios de laboratorio para determinar la mejor formulación de estos morteros para su función, para lo cual son necesarios ensayos de evaluación para confirmar que las características de los morteros cumplan tanto con la condición fundamental de ser compatibles con el material original como la de no generar nuevos problemas. Finalmente, para el caso de morteros que queden a la vista, la compatibilidad de textura y visual es importante para mantener el valor estético del edificio por conservar **H**



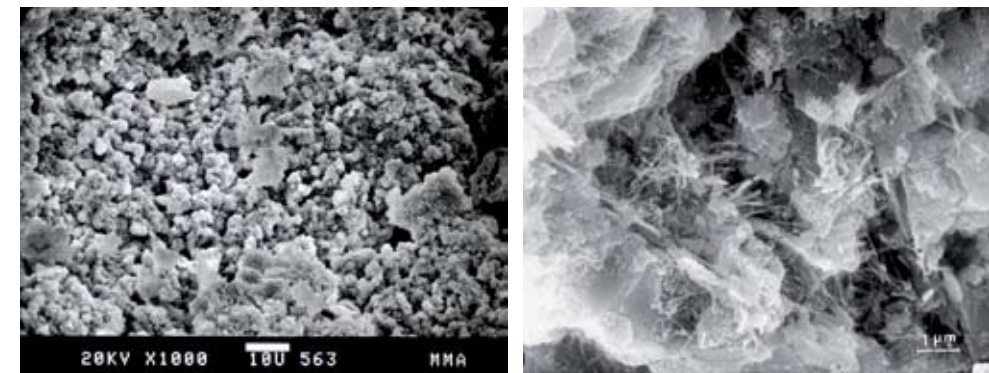
FOTOMICROGRAFÍA MEB DE UN MORTERO DE CEMENTO PÓRTLAND -ARENA 1:3 A 5000X

MORTERO DE CAL AÉREA-ARENA 1:3. SE PUEDE OBSERVAR LA MAYOR POROSIDAD DE ESTE TIPO DE MORTERO COMPARADO CON EL DE CEMENTO PÓRTLAND.



MORTERO DE CAL AÉREA- CEMENTO PÓRTLAND-ARENA 4:1:10. SE PUEDEN OBSERVAR EL CRECIMIENTO DE CRISTALES FIBROSOS DE COMPUESTOS HIDRÁULICOS DEL CEMENTO.

MORTERO HISTÓRICO DEL SIGLO XII (BÉLGICA) DEL CUAL SE PUEDE DEDUCIR QUE LA CAL UTILIZADA PARA ESTE MORTERO ERA UNA CAL HIDRÁULICA.



REVOQUE VENECIANO DEL SIGLO XIX A BASE DE UN MORTERO DE CAL AÉREA. COMPARANDO CON LA FOTO DEL MORTERO DE CAL AÉREA SE VE QUE LAS PARTÍCULAS SON DE MAYOR TAMAÑO, RESULTADO DEL TIEMPO QUE HAN TENIDO EN DESARROLLARSE.

MASA DE UN HORMIGÓN DE CEMENTO PÓRTLAND A LOS DOS MESES DE FRAGUADO. SE PUEDE OBSERVAR LA SIMILITUD CON EL MORTERO DE CEMENTO.



MURALLAS DE SAN JUAN DE PUERTO RICO. COMO LOS REVOQUES DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND INDUCÍAN DETERIORO EN LAS MURALLAS, SE COMENZARON A UTILIZAR REVOQUES DE MORTEROS DE CAL. PARA CUYA APLICACIÓN SE REQUIERE MÁS EXPERIENCIA.



DETALLE DE LOS PRIMEROS PANELES DE REVOQUE A BASE DE MORTEROS DE CAL CON PROBLEMAS RESULTANTES DE UNA POBRE APLICACIÓN.



CON LA PRÁCTICA, SE LOGRÓ OBTENER UN EXCELENTE RESULTADO EN LA APLICACIÓN DE LOS REVOQUES A BASE DE MORTEROS DE CAL, QUE NO INDUCEN DETERIORO EN LA MAMPOSTERÍA ANTIGUA.

5. **Henriques, F.**, *Test methods for the evaluation of new mortars for old buildings*, "Science and Technology for Cultural Heritage" Istituti Editoriali e Poligrafici Internazionali, Roma N.º 5 (1), 1996.
6. **Appolonia, L., Fassina, V., Matteoli, U., Mecchi, A.M., Nugari, M.P., Pinna, D., Peruzzi, R., Salvadori, O., Santamaria, U., Scala, A. and Tiano, P.**, *Methodology for the evaluation of protective products for stone materials. Part II: Experimental Tests on Treated Samples. In: Methods for Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments*, ICCROM, Rome, 1995, pp. 301-316.
7. **Henriques, F.; Charola, A.E.**, *Comparative study of standard test procedures for mortars*. In: J-Riederer, Ed. Preprints of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Möller Druck & Verlag, Berlin, 1996, pp.1521-1528.
8. **Teutonico, J.M., Charola, A.E., De Witte, E., Grassegger, G., Koestler, R., Laurenzi Tabasso, M., Sasse, H.R. and Snethlage, R.**, *Group Report: How can we ensure the responsible and effective use of treatments (cleaning, consolidation, protection)?* En: N.S. Baer and R. Snethlage, Eds., "Saving our architectural heritage: The conservation of Historic Structures", John Wiley & Sons, Chichester, 1997, pp. 293-313.
9. **Snethlage, R.**, *Leitfaden Steinkonservierung*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1997.
10. **Charola, A.E.; Henriques, F.**, *Lime mortars: Some considerations on testing standardization*. En: L.B. Sickel-Taves, Ed., "The use of and need for preservation standards in architectural conservation". ASTM STP 1355 ASTM, West Conshohocken, PA, 1999, pp.142-151.
11. **Knöfel, D. y Schubert, P.**, *Zur Beurteilung von Mörteln für die Instandsetzung von Mauerwerk* En: D. Knöfel y P. Schubert, Eds., "Mörtel und Stein-ergänzungstoffe in der Denkmalpflege". Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1993, pp. 87-106.
12. **Sasse, H. y Snethlage, R.**, *Methods for the evaluation of stone conservation treatments*. En: N.S. Baer y R. Snethlage, Eds., "Saving our architectural heritage: The conservation of Historic Structures", John Wiley & Sons, Chichester, 1997, pp. 223-243.
13. **Henriques, F., Rato, V., Charola, A.E.**, *The influence of grain size distribution on the performance of mortars*. En: D. Kwiatkowski y R. Löfvendahl, Eds., *Proceedings of the 10th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, ICOMOS Sweden, Stockholm, 2004, pp.1001-1008.
14. **Petkovic, J.**, *Moisture and ion transport in layered porous building materials: A Nuclear Magnetic Resonance study. Tesis de Doctorado, Eindhoven University of Technology*, Eindhoven, 2005.
15. **Petkovic, J et al.**, *Salt transport in plaster/substrate layers. Materials and Structures*, vol. 40 (5), 2007, pp. 475-490.
16. **Binda, L. y Baronio, G.**, *Alteration of mechanical properties of masonry prisms due to aging*. En: *Proceedings of the 7th International Brick Masonry Conference*, Melbourne, 1985, pp. 605-616.