



## “ESTUDIO EVALUATIVO PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS MORTEROS EN LA RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA”.

R. Prado Govea<sup>1</sup>, M. Louis Cereceda<sup>1</sup>, Y. Spairani Berrio<sup>1</sup>, J.A. Huesca Tortosa<sup>1</sup>.

1. Universidad de Alicante, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Campus de Sant Vicent del Raspeig, Ap.99 E-03080 Alacant (Alicante), España.

### RESUMEN

En el presente trabajo, se pretende, establecer una línea de ensayos y evaluación desde el punto de vista del diagnóstico y la evaluación, de los morteros diseñados y/o adaptados para aplicaciones en el campo de la restauración arquitectónica.

Es conocida, la variabilidad que existe en el empleo de las distintas dosificaciones de morteros para usos en la restauración, que no consideran las características más importantes en cuanto a porosidad, adecuación a los distintos tipos de sustratos y el empleo del tipo del conglomerante adecuado. Por lo tanto, en nuestro trabajo reflejamos estas condiciones y ofrecemos una serie de ensayos instrumentales o no, que consideramos de interés para el estudio de estos materiales.

Cada, una de las técnicas que se mencionan, así como las características a estudiar, se muestran con ejemplos prácticos, de estas evaluaciones de diagnóstico.

**Palabras Clave:** morteros, restauración, porosidad.

### ABSTRACT

The present paper, an attempt is made to establish a group of tests from the evaluation of the diagnostic point of view, in order to investigate new designed or adapted mortars to be applied in the field of the architectonic restoration. It is known, the existing variability of the different dosification, used in restoration that does not take into consideration important factors as: porosity, adequate to the different types of substrates and the use of the adequate conglomerants.

In our research work, we have studied these factors and we offer a group of instrumental test, that we consider of interest in the study of mixtures for mortars. Each of the aforementioned technique are shown as well as practical examples in the evaluation of the diagnostic.

**Keywords:** mortars, restoration, porosity.

## INTRODUCCIÓN

Es conocida, la variabilidad que existe en el empleo de las distintas dosificaciones de morteros para usos en la restauración, que no consideran las características más importantes en cuanto a porosidad, adecuación a los distintos tipos de sustratos y el empleo del tipo del conglomerante adecuado. Por lo tanto, en nuestro trabajo reflejamos estas condiciones y ofrecemos una serie de ensayos instrumentales o no, que consideramos de interés para el estudio de estos materiales.

Estos aspectos, como todos aquellos relacionados con la porosidad y la accesibilidad del agua, son características muy vinculadas con los procesos de alteración y durabilidad de los materiales de construcción<sup>1</sup>, problema que afecta tanto a la arquitectura histórica como a la moderna.

Es todavía más destacable en los morteros, como materiales compuestos en los que su calidad depende del mantenimiento en servicio de sus características de adherencia entre el conglomerante y el agregado. En los casos de obras de restauración arquitectónica, en las que se tienen que reponer los morteros de revestimiento, las causas son una serie de circunstancias que han provocado su deterioro y, aunque algunas pueden ser intrínsecas al material por una mala elección de sus componentes y una inadecuada dosificación, lo más frecuente es que sean causas externas y tengan relación con el agua y las sales<sup>2</sup>.

Por ello parece importante buscar morteros que, incluyendo algún tipo de aditivo, puedan resistir mejor la acción de estos agentes agresivos<sup>3</sup>.

En este trabajo, hemos elaborado una especie de metodología para el estudio de diferentes tipos de morteros, que se han fabricado con y sin aditivos, elaborando diversas probetas y empleando distintas técnicas de acuerdo a las normas RILEM<sup>4</sup> para determinar la porosidad, tanto en valor absoluto como en los distintos rangos de los poros, calculando la distribución por tamaños de los mismos y el tipo.

En cuanto a las propiedades hídricas, relacionamos los datos que se han obtenido sobre la absorción al agua a baja presión y al vacío, la absorción por gotas, la succión capilar, la conductividad al vapor de agua y la curva de evaporación. Esto permite hacer comparaciones con situaciones reales ya que el agua penetra por los poros sin presión o con ella cuando coincide la lluvia con vientos fuertes y también por succión, al depositarse en los paramentos o desde el terreno. Posteriormente se han establecido relaciones entre ambos grupos de características para comprobar la influencia. El empleo del aditivo, de los denominados porógenos, modifica sustancialmente estas características, por lo que se ha comprobado el efecto del mismo y su influencia en los procesos de alteración por agua.

El objetivo del estudio, es definir las características que debe reunir un mortero cuyo comportamiento hídrico sea el óptimo y con ello el más adecuado para emplear como revestimiento, especialmente en la restauración arquitectónica y establecemos la metodología, que hemos seguido en nuestro estudio.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para establecer nuestra metodología, hemos caracterizado diversos tipos de morteros de uso corriente en restauración con el fin de determinar su comportamiento y su comportamiento en cuanto a durabilidad, hemos empleado: cal aérea, un cemento blanco V22,5 y una mezcla de ambos, en todos los casos con una dosificación básica de 1:3:0,5. También se ha utilizado un aditivo porógeno (disuelto en agua) que, añadido a los morteros, permite la transpirabilidad de las fábricas y la eliminación de la humedad, aspecto de fundamental importancia en las obras de restauración; estos últimos se denominan morteros de saneamiento o desecadores.

Destacamos que, para obtener con los aditivos un producto de calidad uniforme, las condiciones deben ser siempre las mismas; es decir que la calidad y la composición granulométrica de la arena, el tipo de aglomerante y el reparto del aditivo deben ser siempre uniformes.

En el caso del comportamiento de la evaporación del agua, tanto en estado líquido como en vapor<sup>5</sup>, se trata de conseguir un mortero cuya trama porosa sea mayor, por lo que suele absorber más agua en condiciones normales de presión, pero su red de capilares es menor, al no estar los poros interconectados, lo que favorece la evaporación y reduce la succión.

La selección de la arena se ha realizado en función de su composición y granulometría, ya que no debe ser gruesa ni contener excesivos finos y la dosificación empleada, ha sido la clásica que ya señalaba Vitruvio para los morteros de cal y que se aconsejan para los morteros de restauración, considerándose las proporciones en peso en la relación 1:3 conglomerante-arena<sup>6,7</sup>.

En la elaboración de las probetas se ha tenido en cuenta la propuesta metodológica del ICCROM, confeccionando los diversos formatos, según el tipo de ensayo; que sumaron una totalidad de 600 probetas con diferentes dimensiones, de acuerdo a las especificaciones de adecuación al ensayo realizado, según las normas RILEM de la Comisión 25-PEM (Protección y Erosión de Monumentos, 1980) y en relación con una totalidad de 6 análisis por ensayo, una muestra patrón y una para evaluar a largo plazo (de 3 meses a dos años; resultados que no aparecen reflejados en este estudio); salvo en aquellos ensayos que no estuvieran normalizados. Dichos ensayos han sido los siguientes:

**Relacionados con la Porosidad y el agua:** Porosidad Accesible al agua. Ens. n° I.1, Coeficiente de Saturación. Ens. n° II.1, Absorción de Agua (a Baja Presión). Ens. n° II.4, Absorción por gotas. Ens. n° II.8°. Coeficiente de Absorción de Agua (Capilaridad). Ens. n° II.6. Distribución de Tamaños de Poros (Porosimetría de Mercurio). Ens. n° I.5.

**Relacionados con el vapor de agua:** Coeficiente de Conductividad al Vapor. Ens. n° II.2, Curva de Evaporación. Ens. n° II.5.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como referencia a nuestros ensayos, en la **Tabla 1**, se exponen los resultados obtenidos en la medición de la porosidad en un Porosímetro de Mercurio con los tres morteros convencionales y tres aditivados.

La **Tabla 2** refleja los resultados de los diferentes ensayos en cuanto a la comprobación de las propiedades hídricas para los mismos morteros.

**Tabla 1: Resultados obtenidos en la medición de la porosidad en un Porosímetro de Mercurio.**

Tipo de mortero	CA	CA+A	Cto	Cto+A	CA+Cto	CA+Cto+A
Porosidad Intrusión Mercurio (%)	30,9	35,1	28,6	31,8	31,2	34,1
Macroporosidad (200 a 5 µm) (%)	2,3	2,9	0,2	1,2	2,0	2,8
Microporosidad (5 a 0,006 µm) (%)	28	32,8	28,4	30,6	32,2	33,3
Superficie específica (m <sup>2</sup> /g)	2,8	2,9	9,91	13,35	6,32	9,42
Tamaño medio de poros (µm)	0,29	0,21	0,06	0,05	0,12	0,08

**Tabla 2: Propiedades hidricas, de los morteros estudiados.**

Tipo de mortero	CA	CA+A	Cto	Cto+A	CA+Cto	CA+Cto+A
Absorción al agua (%)	17,18	18,37	14,20	16,48	17,52	19,14
Abs. agua baja presión (mm/seg)	0.090	0.018	0.012	0.004	0.040	0.012
Absorción de agua por gotas (seg)	107	165	274	925	205	330
Capilaridad ( $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ )	0.149	0.137	0.030	0.024	0.133	0.109
Conduct. al vapor de agua ( $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}$ )	3	8	6	7	4	8
Cfte. de evaporación (%)	60	80	30	50	35	45

**Nomenclatura:** CA: Cal Aérea; CA+A: Cal Aérea+Aditivo; Cto: Cemento Blanco; Cto+A: Cto+Aditivo; CA+Cto: Cal Aérea+Cemento; CA+Cto+A: Cal Aérea+Cto+Aditivo.

La porosidad accesible, tanto al agua como al mercurio aumenta en los morteros aditivados, aunque se modifica de forma irregular y en bajo porcentaje, pudiéndose interpretar que, si bien se produce un aumento de la porosidad, esta no forma red capilar<sup>8,9</sup>. El hecho de producirse una saturación inferior así como una reducción importante de la succión capilar, indica la poca conectividad de los poros.

Por lo tanto podemos deducir, al que ya es conocido, pero que necesitábamos comprobar como aspecto comparativo en estos tipos de morteros, y es que el aditivo incrementa el porcentaje de porosidad, pero al ser poros de bajo rango y no conectados, el aumento de la absorción de agua es poco importante y la succión capilar se reduce de forma importante.

En efecto, la absorción al agua no tiene grandes diferencias entre los tres tipos de mortero (varía entre el 14,2 y el 17,18) incrementándose ligeramente con el aditivo. Esto es normal puesto que también se incrementa la porosidad total siendo esta la finalidad del producto. Es mucho más importante la diferencia entre las distintas probetas al referimos a la absorción a baja presión (entre 4 y 5 veces), que se asemeja más a una situación real con viento y lluvia combinados y que además se reduce notablemente en las muestras aditivadas (Tabla 2).

El que la absorción de agua a baja presión o por gotas sea muy inferior en dichas muestras, es debido al efecto hidropelente que tienen estos productos. También se reduce notablemente la absorción de agua por gotas sin presión, especialmente en el mortero de cemento, con lo que se puede asegurar el efecto hidrófugo que produce el aditivo, aunque inferior al de productos específicos.

Cuando el tamaño medio de los poros es bajo (entre 0,06 y 0,05 micras), como en los morteros de cemento, se reduce más la absorción de agua, especialmente si es a baja presión, aumentando considerablemente el tiempo de absorción por gotas. La succión capilar es así, mucho más reducida, aunque esto debe responder a la menor conectividad entre los poros, aspecto corroborado por los resultados de los análisis por Porosimetría de Hg.

Para tamaños mayores de poros aumenta algo la absorción al agua pero, si es a baja presión, el incremento es muy superior (unas 4 veces), siendo todavía mayores la absorción por gotas y la capilaridad (del orden de 5 veces).

En el comportamiento ante el vapor se evidencia la mayor permeabilidad de la cal aérea sobre el resto de conglomerantes, aspecto que nos corrobora la fundamental importancia que tiene el uso de las dosificaciones de morteros de restauración con el empleo de este conglomerante.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se deduce que los morteros de cal aérea y especialmente los de cal aérea-cemento aditivados con la dosificación empleada, son los más apropiados para aplicaciones como enlucidos de saneamiento en la restauración arquitectónica, ya que su comportamiento hidrico y su trama porosa permiten una mayor durabilidad de las fábricas de piedra; por proporcionarle una mayor transpirabilidad. La proporción más adecuada debe estar entre las mezclas de cal pura y la de cal-cemento 1:1 utilizadas, ya que mayores proporciones de cemento darán morteros más impermeables y con riesgo de retracción. No obstante, podría ser interesante aumentar la proporción de cal aérea trabajando con diferentes dosificaciones, hasta alcanzar la más adecuada para estas aplicaciones y con estas mezclas. Además, corroboramos, que la metodología que empleamos para el estudio de estos morteros de restauración, a pesar de estar diseñada, para el estudio de la porosidad de los materiales pétreos naturales, se ajusta claramente al estudio de estos morteros, y puede ser utilizada como una herramienta de utilidad, en el estudio de diferentes tipos de morteros para obras de restauración arquitectónicas.

## REFERENCIAS

1. Lazzarini L. and Laurenzi m. (1986). "Il restauro della pietra". Cedam. Padova, pp. 307. Rhodes (1999).
2. Louis M., Spairani Y. and Chinchón S., Study of treatments for the elimination of soluble salts and dampness in the repair of coating stone buildings. 4<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean., , p.p. 177-191. Rhodes, Greece (1997).
3. Luxán M. P., Sotolongo R. and Dorrego F., Estudios preliminares sobre morteros de cal hidrofugados para restauración y rehabilitación de edificaciones antiguas. Restoration of buildings and Architectural Heritage, , p.p. 320, CEDEX-MOPTMA, Granada (1996).
4. RILEM. Commission 25-PEM. Protection et érosion des Monuments. Recommendations provisoires. Matériaux et Constructions. Vol 13, 1980, pp. 175-252.
5. Quénard D. and Sallée H., Le transfert isotherme de la vapeur d'eau condensable dans les matériaux microporeux du bâtiment, Cahiers du CSTB, Paris (1991).
6. Waldum, A.M., Mortars for restoration of historic buildings, 2<sup>nd</sup> International Eurolime meeting, Copenhagen (1993).
7. Louis, M., Prado, R., Spairani, Y. and García, E., Characterisation of Mortars for Architectural Restoration, 5<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin., p.p. 245-247. Sevilla, Spain (2000).
8. Prado, R., Louis, M., Spairani, Y. and García, E., Study of morphology of the pore restoration mortars by SEM. Proceeding of the 8<sup>th</sup> Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, pp 459-463. Athens, Greece (2001).
9. Louis M., Alonso J., Alonso L. and Galvañ V., Geographic, climatic and environmental factors which influence the mechanism of weathering of stone used in the main Monuments of the city of Alicante-Spain. European Symposium Science, Technology and European Cultural Heritage. Commission of the European Communities, Oxford, 1991, p.p. 388-392.