

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE MORTEROS EMPLEADOS EN LA RESTAURACIÓN DE ENCLAVES ARQUEOLÓGICOS

Katia Santos Sánchez<sup>1</sup>, Begoña Carrascosa Moliner<sup>1</sup> y/and Asunción Martínez Valle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València

<sup>2</sup>Ayuntamiento de Requena

**Autor de contacto:** Begoña Carrascosa Moliner, becarmo@crbc.upv.es

**RESUMEN:** *La puesta en valor y/o restauración de yacimientos arqueológicos en España, a menudo ha sido realizada a partir de materiales modernos procedentes del campo de la construcción y de la arquitectura, originando con el tiempo consecuencias como la inestabilidad e incompatibilidades físico-químicas y lo que ello conlleva entre los materiales originales in situ y los añadidos. Con el fin de evitar el deterioro de las estructuras arqueológicas por este tipo de incompatibilidades, se han investigado diferentes tipos de morteros experimentales basados en tres líneas de actuación con sus respectivas variantes: morteros experimentales de obra; morteros experimentales afines y morteros experimentales tradicionales.*

*Para ello, se ha escogido como objeto de estudio el yacimiento arqueológico de La Calerilla de Hortunas (Requena, Valencia), una villa rústica de época altoimperial (siglos I-IV d.C.), cuyo deterioro se debe fundamentalmente a los agentes atmosféricos y biológicos que inciden directamente sobre las estructuras. Esta situación provoca la pérdida de material constructivo, dado el elevado grado de degradación por el que atraviesa el asentamiento, desde que en el año 2000 se dieron por concluidos los trabajos arqueológicos definitivamente y el enclave quedó expuesto a la intemperie. Esta situación hace que sea necesaria una intervención sostenible, mediante materiales respetuosos que garanticen la salvaguarda de este bien patrimonial. Siendo así, se han extraído muestras del enclave y elaborado probetas a partir de materiales afines y tradicionales, y probetas que se corresponden con materiales más modernos. Las probetas han sido sometidas a distintos tipos de ensayos físico-químicos para poder evaluar tanto su comportamiento como la influencia de diferentes aditivos aplicados en su composición, permitiendo seleccionar de entre todas ellas aquel mortero que resulte más idóneo y afín a los materiales constitutivos de las estructuras arqueológicas del enclave.*

**PALABRAS CLAVE:** Morteros de reintegración, restauración *in situ*, patrimonio arqueológico, puesta en valor sostenible, La Calerilla de Hortunas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El patrimonio arqueológico que ha perdurado *in situ* hasta nuestros días frecuentemente ha sido restaurado y puesto en valor mediante materiales procedentes del campo de la Arquitectura Moderna y Postmoderna. La intervención de yacimientos con materiales como el hormigón armado o el cemento, han originado daños irreversibles en las estructuras arqueológicas debido a su incompatibilidad físico-química con los materiales originales. Por otro lado, la introducción de técnicas actuales en la rehabilitación del patrimonio histórico en general, también ha supuesto importantes transformaciones como el abandono de los materiales tradicionales como la piedra, el ladrillo o los morteros de cal, y el olvido de cómo construir y restaurar con ellos (Esponda, 2010: 39). Por esta razón creemos que la mejor forma de garantizar la estabilidad del patrimonio arqueológico es realizando una intervención con materiales previamente testados y que sean afines y respetuosos con los originales, asegurando su integridad y sostenibilidad. En este sentido, es imprescindible conocer las características y el estado de conservación del patrimonio arqueológico a intervenir, para determinar las

condiciones a las que se encuentra expuesto y cuáles son los agentes de degradación; así como la composición físico-química de los materiales originales. De esta forma, en las siguientes líneas presentamos la metodología que se está llevando a cabo en el proyecto de puesta en valor del yacimiento arqueológico de La Calerilla de Hortunas (Requena, Valencia), donde en base a los resultados proporcionados por las analíticas de los morteros originales y el conocimiento del estado de conservación del enclave, se han realizado tres líneas de morteros experimentales con sus respectivas variantes, para ser ensayados en el Laboratorio de Materiales Arqueológicos del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación es contribuir al conocimiento y empoderamiento de la sociedad garantizando su accesibilidad al patrimonio arqueológico y su apropiación social. Para ello es fundamental diseñar un tipo de intervención sostenible que vele por la integridad del enclave arqueológico de La Calerilla a largo plazo así como su transmisión a generaciones

futuras, lo que hace que sea necesario plantear los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los materiales constituyentes de los morteros originales utilizados por los antiguos romanos.
- Conocer el estado de conservación del enclave arqueológico de La Calerilla de Hortunas y los factores que han provocado la situación en la que se encuentra.
- Elaborar morteros de restauración afines a los materiales constituyentes de las estructuras arqueológicas mediante el empleo de la cal y áridos procedentes de diferentes sectores.
- Someter las probetas realizadas a las condiciones adversas que sufre el enclave arqueológico a través de ensayos físico-químicos para poder evaluar su comportamiento e idoneidad en intervenciones de yacimientos arqueológicos.
- Escoger un mortero o varios que presenten el comportamiento más adecuado, lo que nos permitirá seguir investigando en una línea más definida sobre la cual continuar realizando posibles modificaciones.

### 3. EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LA CALERILLA DE HORTUNAS DE REQUENA (VALENCIA)

El yacimiento arqueológico de La Calerilla de Hortunas de Requena (Valencia), es un asentamiento de época altoimperial que se mantuvo activo entre los siglos I-IV d.C. Tras las investigaciones arqueológicas durante la década de los años 90, se pudo definir como una *villae rusticae* con su necrópolis asociada. El yacimiento se encuentra excavado aproximadamente en un 20% y el sector mejor documentado del enclave, la necrópolis, está compuesto por: los restos de las cimentaciones del monumento funerario de los *Domitii*, tumbas de incineración adscritas a un periodo de fuerte tradición indígena, tumbas de inhumación en cista y un muro de cierre de la necrópolis (Martínez, 1995; Martínez, 2000; Santos, Lorenzo, Carrascosa, Martínez, 2016: 340; Santos, Carrascosa, Martínez, 2016b: 21) (ver Figura 1). La relevancia del enclave reside en el monumento funerario que se alzaba sobre la base que ha permanecido *in situ*, con elementos tan relevantes como: una inscripción funeraria que revela el nombre de la propietaria del mismo y su filiación, *Domitia Iusta* (Martínez, 1991); un capitel corintio de pilastra; y fundamentalmente, un fragmento de uno de los dos *pulvini* que nos ha permitido identificar la tipología del monumento, además de abundante material constructivo, cerámico y óseo que avalan esta hipótesis (Martínez,

1995: 272-276). Esta necrópolis cumple la función de cementerio familiar, donde los materiales y objetos hallados nos revelan, además, el alto influjo ibérico de este enclave y la convivencia de ambas culturas durante los siglos I y II d.C. (Garcerá, Martínez, Soler, 1993a; Garcerá, Martínez, Soler, Ortiz, 1993b; Martínez, 1995; Martínez, 2000; Quixal, 2013; SANTOS *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2015; Santos, Carrascosa, Martínez, 2016c).



Figura 1. Planimetría de la necrópolis de La Calerilla.

El análisis físico-químico realizado del mortero original mediante Difracción de Rayos X (DRX) y su visualización al microscopio han permitido determinar los componentes minerales presentes en las muestras extraídas de mortero constituyente de las estructuras arqueológicas del enclave (ver Figuras 2 y 3). Asimismo, se han identificado en proporciones mayoritarias las fases mineralógicas del Diópsido  $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$ , Calcita  $\text{CaCO}_3$  y Analcima  $\text{Na}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , y en menores proporciones el Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ). Los minerales del Diópsido y Analcima son silicatos, generalmente asociados a rocas de origen volcánico y esta última, junto con la Leucita están presentes en las puzolanas naturales identificados en la caracterización de morteros altoimperiales de diversos yacimientos arqueológicos (Sabbioni, Zappia, Riontino, Blanco-Varela, Aguilera, Puertas, Van Balen, Toumbakari, 2001; Sánchez-Moral, 2005; Ugurlu, 2012; Belfiore, Fichera, Ortolano, Pezzino, Visalli, Zappalà, 2016).

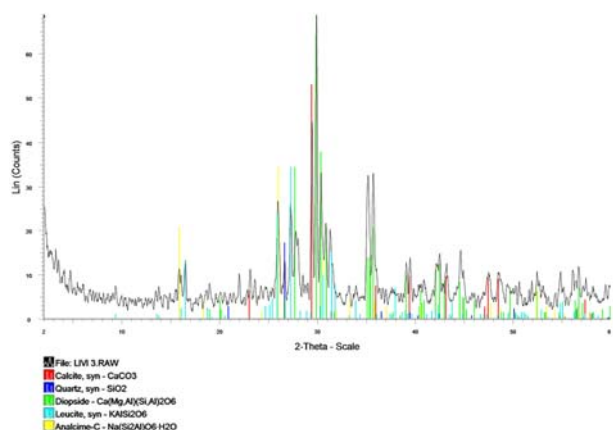


Figura 2. Difractograma de la muestra AR30.3 de mortero procedente del enclave arqueológico de La Calerilla.



Figura 3. Vista al microscopio del mortero original con adiciones puzolánicas.

### 3.1. Estado de conservación

La exposición ininterrumpida a los agentes atmosféricos ha provocado la alteración, el desgaste y la pérdida de partes de los elementos constitutivos de las estructuras arquitectónicas. El agente de degradación principal es el agua en sus distintas fases, ejerciendo, además, como vehículo de transporte de sustancias que provocan posteriormente reacciones químicas en los materiales de las estructuras. Las sustancias más peligrosas para los materiales inorgánicos son las sales en disolución. Son compuestos iónicos capaces de disolverse en el agua, cristalizar y aumentar de volumen al llegar a la superficie de las estructuras y evaporarse el agua, (Sepulcre, 2005: 81; Más, 2006: 130). La presencia de sales solubles en el enclave ha originado la descohesión y arenización de los morteros y materiales pétreos, además de su desintegración interior y consiguientes roturas. Por otro parte, debido al ascenso de agua del subsuelo por capilaridad a las estructuras, se aprecia un claro desgaste y falta de material pétreo y de mortero a lo largo de los bajos de las estructuras de cierre y habitáculos localizados de lo que sería la villa de La Calerilla. Los

procesos químicos que esta acción provoca tienen que ver igualmente con las sustancias que el agua del subsuelo transporta susceptibles de reaccionar con los materiales inorgánicos. Esta situación se agrava más aún si cabe entre los meses de enero y febrero cuando tienen lugar las heladas y nevadas. En estas circunstancias, el agua presente en el interior de las estructuras se congela bajo el efecto de las bajas temperaturas originando tensiones, craquelados, fisuras y grietas llegando a desencadenar en visibles derrumbes. También son muy comunes en este lugar los fuertes vientos que golpean mecánicamente contra las estructuras originando erosión, desgaste y meteorización de los sillares.

Los agentes biológicos también son claramente perceptibles a través del crecimiento de la vegetación que facilita la presencia de agentes faunísticos con lo que ello conlleva, así como las colonias de hongos y líquenes presentes en las superficies de los elementos pétreos a causa de la elevada humedad. La acción de estas últimas es tanto física como química originando la pérdida de la cohesión y desprendimientos de los materiales al instalarse sobre los materiales o bien entre fisuras y diferentes concavidades. Químicamente, la producción de sustancias ácidas que emiten los microorganismos, además de disminuir el pH, provocan la disolución de tanto elementos pétreos, como morteros (Valgañón, 2008, 145; Sepulcre, 2005: 80-81).

## 4. FABRICACIÓN DE MORTEROS Y PROCESO EXPERIMENTAL

### 4.1. Metodología y selección de materiales

El conocimiento de la arquitectura altoimperial romana es fundamental para realizar una intervención sostenible y respetuosa en yacimientos arqueológicos de este periodo. En base al estudio de las técnicas y materiales originales del enclave de La Calerilla, se ha procedido a la fabricación de tres líneas de morteros experimentales con el fin de evaluar su comportamiento e idoneidad para su restauración:

- a) Morteros experimentales de obra (2): se corresponde con los morteros fabricados a base de áridos procedentes de sectores como el de la construcción y el de la restauración. Siendo abundante la bibliografía de investigaciones sobre la idoneidad del uso del hormigón o del cemento en este tipo de intervenciones y basándonos en la composición físico-química del mortero original se ha utilizado como conglomerante cal hidráulica natural de la casa Lafarge (habitual y accesible en restauración y puesta en valor de enclaves arqueológicos) y dos tipos de árido procedentes del sector de la construcción, comúnmente utilizados en morteros de reposición para yacimientos arqueológicos (ver Figura 4).

- b) Morteros experimentales afines (2): se han escogido dos tipos de cales hidráulicas naturales. Una de ellas, la misma que en el grupo anterior y, la otra, es la cal hidráulica natural de la casa Pascual comúnmente utilizada en la Comunidad Valenciana (ver Figura 4).
- c) Morteros experimentales tradicionales (3): son morteros elaborados en base a las analíticas del mortero original y también en las técnicas tradicionales de época altoimperial. Para ello se ha utilizado cal aérea de la casa Pachs mezclada con tres tipos de adiciones puzolánicas diferentes como son chamota cocida a 900° C y a 1300° C, y puzolana volcánica y árido procedente del enclave arqueológico (ver Figura 4).

Independientemente del tipo de mortero, teniendo en cuenta las condiciones adversas a las que se ve expuesto el enclave arqueológico y el uso generalizado de aditivos acrílicos, también se ha considerado oportuno incluir en cada tipo de mortero experimental probetas con aditivo acrílico al 10% y probetas sin aditivo. El aditivo escogido es el denominado Acril 33, de uso generalizado en el campo de la restauración del patrimonio, indicado especialmente para aplicaciones con ligantes hidráulicos, debido a su óptima resistencia a los agentes atmosféricos y su estabilidad química. De esta forma podrá evaluarse el comportamiento de los morteros experimentales con y sin aditivo a través de los diferentes ensayos físico-químicos que aquí se presentan.

MORTEROS EXPERIMENTALES					
Probetas	Materiales				
	Conglomerante	Árido	Adición puzolánica	Aditivo	Dosificación
<b>MORTERO HLS (de obra 1)</b>					
HLS	Cal hidráulica Lafarge NHL5	Arena de sílice Axton			1:3
HLSA	Cal hidráulica Lafarge NHL5	Arena de sílice Axton		Acril 33 10%	
<b>MORTERO HC (de obra 2)</b>					
HC	Cal hidráulica Lafarge NHL5	Arena repasada Hnos. Vilar Hoyos S.L.			1:3
HCA	Cal hidráulica Lafarge NHL5	Arena repasada Hnos. Vilar Hoyos S.L.		Acril 33 10%	
<b>MORTERO HY3 (afin 1)</b>					
HY3	Cal hidráulica Pascual NHL5	Árido del enclave			1:3
HY3A	Cal hidráulica Pascual NHL5	Árido del enclave		Acril 33 10%	
<b>MORTERO HLY (afin 2)</b>					
HLY	Cal hidráulica Lafarge NHL5	Árido del enclave			1:3
HLYA	Cal hidráulica Lafarge NHL5	Árido del enclave		Acril 33 10%	
<b>MORTERO AVY (tradicional 1)</b>					
AVY	Cal aérea Pachs CL-80S	Árido del enclave	Puzolana volcánica Ifferco S.L.		2:1:7
AVYA	Cal aérea Pachs CL-80S	Árido del enclave	Puzolana volcánica Ifferco S.L.	Acril 33 10%	
<b>MORTERO ALR (tradicional 2)</b>					
ALR	Cal aérea Pachs CL-80S	Árido del enclave	Chamota 1300° C Racerámica S.L.		2:1:7
ALRA	Cal aérea Pachs CL-80S	Árido del enclave	Chamota 1300° C Racerámica S.L.	Acril 33 10%	
<b>MORTERO ALCY (tradicional 3)</b>					
ALCY	Cal aérea Pachs CL-80S	Árido del enclave	Chamota 900° C Ceramosa S.L.		2:1:7
ALCYA	Cal aérea Pachs CL-80S	Árido del enclave	Chamota 900° C Ceramosa S.L.	Acril 33 10%	

Figura 4. Materiales y dosificaciones utilizadas en la elaboración de los morteros experimentales.

En el caso de los morteros tradicionales, la dosificación que se presenta es 2:1:7 sin llegar a una proporción de 1:3, tras realizar las pruebas de hidraulicidad y ensayos convenientes. Debido a la composición del árido local que contiene materiales arcillosos y las buenas condiciones que han mostrado los morteros frente a los ensayos, se ha estimado que esa es la dosificación adecuada. Autores como A. Sepulcre, que también han trabajado con adiciones puzolánicas coinciden con esta elección (Sepulcre, 2015).

## 4.2. Ensayos físicos

En relación con lo expresado en el estado de conservación, se han planteado diferentes tipos de ensayos físico-químicos con el fin de someter las probetas a situaciones reales y extremas para poder determinar qué mortero resulta ser el más adecuado y susceptible de ser utilizado en la restauración de las estructuras arqueológicas del enclave arqueológico de La Calerilla.

### 4.2.1. Determinación de la absorción de agua por capilaridad

El fenómeno de la capilaridad se caracteriza por la ascensión de líquidos, como el agua de lluvia, que

penetra en materiales tan porosos como son los muros y estructuras que componen los enlaves arqueológicos a través del subsuelo. Siendo así, mediante este ensayo se pretende determinar la absorción de agua por capilaridad sobre los diferentes tipos de morteros experimentales planteados, con el fin de obtener datos acerca de la cantidad y velocidad de agua que absorben las probetas por capilaridad a través de la superficie cuando la muestra entra en contacto con el agua desde la base.

El ensayo se ha realizado de acuerdo a las pautas establecidas por la norma UNE-EN 15801:2009 para conservación del patrimonio cultural. Para ello han sido necesarias tres probetas de cada grupo de morteros experimentales (un total de 42 unidades) de 4 centímetros de lado y ancho y 2 centímetros de alto. El ensayo consta de los siguientes procesos:

- Secado. Se procede al secado de las probetas a 50 °C hasta alcanzar masa constante.
- Acondicionamiento. En el fondo de una cubeta se coloca un lecho permeable seco con un espesor mínimo de 5 milímetros. Se añade agua hasta que la base del recipiente quede saturada debiéndose mantener así durante todo el ensayo (añadiendo agua cuando sea necesario).
- Registro. Se realiza el correspondiente registro previo de las probetas mediante medición con calibre y pesado.
- Absorción por capilaridad y consiguiente registro. Las probetas se introducen y se colocan sobre el lecho permeable. Al tratarse de morteros hidráulicos al comenzar el ensayo los primeros registros se realizan en periodos muy cortos que van aumentándose proporcionalmente hasta llegar a un único registro cada 24 horas.

El ensayo finaliza cuando transcurren ocho días y la expresión de los resultados se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Q_i = \left[ \frac{m_i - m_o}{A} \right]$$

- $Q_i$  Cantidad de agua absorbida por unidad de superficie.  
 $M_i$  Masa de la probeta en el tiempo  $t_i$ .  
 $M_o$  Masa de la probeta en seco.  
 $A$  Superficie de la probeta en contacto con el agua.

#### 4.2.2. Determinación de la resistencia a la cristalización de sales

A través de este ensayo se reproducen los fenómenos originados por la cristalización de sales cuando el agua accede al interior de la estructura porosa y esta contiene disueltas diferentes especies salinas que al evaporarse cristalizan. El ensayo se ha realizado de acuerdo a las pautas establecidas por la norma UNE-EN 12370:1999 para piedra natural sobre tres probetas de cada grupo (un

total de 42 unidades) de 4 centímetros de arista. El ensayo consta de un total de 15 ciclos de 24 horas cada uno (excepto si las probetas se rompen antes) incluyendo los siguientes procesos:

- Secado. Las probetas se secan a 50 °C hasta alcanzar la masa constante.
- Inmersión. Las probetas se sumergen en una solución de sulfato sódico decahidratado ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) al 14% en agua desionizada.
- Secado. Las probetas se secan en estufa a 50 °C en un periodo mínimo de 16 horas.
- Secado al aire. Las probetas se dejan enfriar a temperatura ambiente bajo condiciones de laboratorio durante 2 horas.
- Registro. Se procede al registro de las probetas mediante el sistema de pesadas para determinar el aumento/disminución de la masa.

La expresión de los resultados se expresa como una diferencia relativa  $\Delta M$  (pérdida o ganancia de la masa) en porcentaje con respecto a la masa seca inicial  $M_d$ . Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$\Delta M = \frac{M_f - M_{dl}}{M_d} * 100$$

- $\Delta M$  Diferencia relativa de masas antes y después de ensayar (pérdida de masa o ganancia), en porcentaje.  
 $M_f$  Masa de la probeta seca, marcada con una etiqueta, después de 15 ciclos, en gramos.  
 $M_d$  Masa de la probeta seca, en gramos.  
 $M_{dl}$  Masa de la probeta seca, marcada con una etiqueta, antes del primer ciclo, en gramos.

#### 4.2.3. Determinación de la dureza superficial

Este ensayo se ha realizado con el fin de poder determinar el comportamiento de los distintos tipos de morteros experimentales a la abrasión y poder comprobar su dureza superficial. A pesar de tratarse de un ensayo no regulado por normativa, los resultados obtenidos revelan una información valiosa y decisiva a la hora de clasificar los morteros, en base a la determinación de la dureza superficial. El ensayo se lleva a cabo mediante sistema mecanizado por medio del abrasímetro lineal de la casa *Taber* modelo 5750, que consta de un brazo horizontal con una barra en perpendicular acoplada, en cuyo extremo se adaptan los distintos tipos de puntas abrasivas. Este brazo permite ser programado pudiendo escoger distintos tipos de velocidad, número de ciclos y recorrido, experimentando un movimiento de derecha a izquierda. Este movimiento arrastra consigo la barra vertical que incide directamente sobre la probeta mediante su punta abrasiva. Para la realización del ensayo han sido necesarias tres probetas de cada grupo (un total de 42 unidades) de 4 centímetros de lado y ancho y 2 centímetros de alto.



Con el fin de determinar el comportamiento de los morteros se realiza primeramente el registro correspondiente de la masa de cada probeta antes y después de ser sometidas al ensayo, y a continuación se realiza una inspección visual con luz rasante. La pérdida de masa se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta M = M_0 - M_i$$

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Determinación de la absorción de agua por capilaridad

Tras calcular la cantidad de agua absorbida por probeta ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), por unidad de superficie en el tiempo (segundos), y realizada la curva de absorción, se aprecian resultados variados en el comportamiento de los distintos morteros experimentales. En primer lugar se observa como los morteros de obra, sobre todo los HLS, presentan una curva de absorción considerablemente inferior al resto mostrando un acusado efecto hidrorrepelente debido a su composición fundamentalmente silíceo (ver Figura 5). Mientras, los morteros afines y tradiciones HLY y ALCY muestran un comportamiento normal sujetos a una absorción de agua inicial durante los primeros cinco minutos de contacto mostrando una clara estabilidad una vez transcurrido este tiempo. El mortero ALR muestra un comportamiento poco estable en los primeros minutos y después termina por estabilizarse, mientras que los morteros HY3 y AVY (afin y tradicional), resultan ser demasiado blandos llegando a agrietarse a los 10 y 20 minutos respectivamente. Por otro lado, respecto al comportamiento de los morteros con y sin aditivo acrílico, debemos decir que supone grandes cambios en los morteros afines y tradiciones especialmente, mientras que para los morteros de obra, estos se muestran los más resistentes al efecto hídrico y las variaciones son mínimas (ver Figura 6).



Figura 5. Transcurso del ensayo de absorción de agua por capilaridad sobre las probetas HC y HCA.

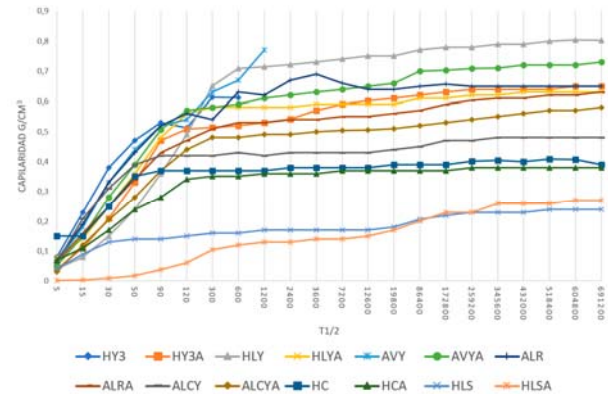


Figura 6. Cantidad de agua absorbida por unidad de superficie.

### 5.2. Determinación de la resistencia a la cristalización de sales

A través del ensayo se observa como la presión que la cristalización de las sales provoca en el interior de los poros puede llegar a sobrepasar la resistencia de las probetas, provocando modificaciones en su estructura al crecer el cristal dentro de los poros, como ha sucedido con los morteros afines y tradicionales (a excepción del mortero ALCYA) (ver Figura 7). En la Figura 8 pueden apreciarse los cambios experimentados en el transcurso de los ciclos, donde tan solo cinco tipos de morteros experimentales resistieron los 15 ciclos mostrando una variación mínima en su masa. Estos morteros son los denominados HLS, HLSA, HC, HCA y ALCYA, en los que la variación de la masa queda comprendida entre el 0% y el 2,27% (ver Figura 9). En el caso de los morteros de obra no se han experimentado grandes cambios, únicamente puede apreciarse en el caso de los HC y HCA una leve variación de la masa debido a la penetración y evacuación del agua contenedora de especies salinas. Los morteros AVY y HY3 fueron descartados antes de realizar el ensayo puesto que no resistieron las condiciones del ensayo de capilaridad.

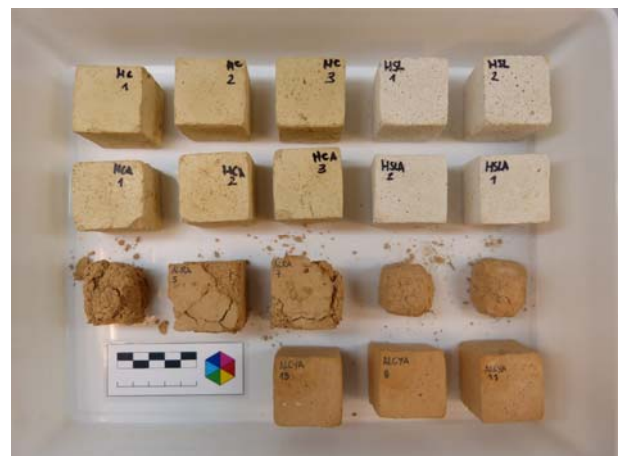


Figura 7. Estado de las probetas durante el 9º ciclo.

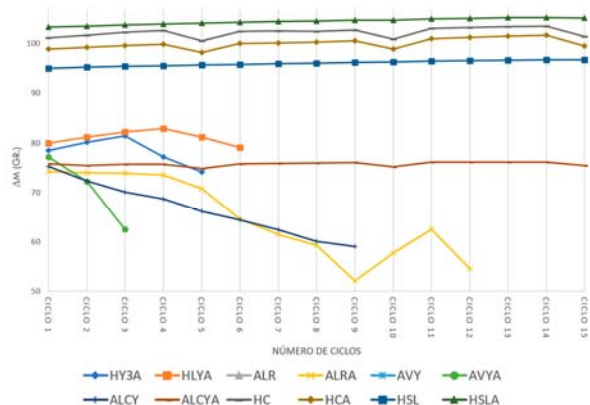


Figura 8. Transcurso del ensayo de resistencia a la cristalización de sales.

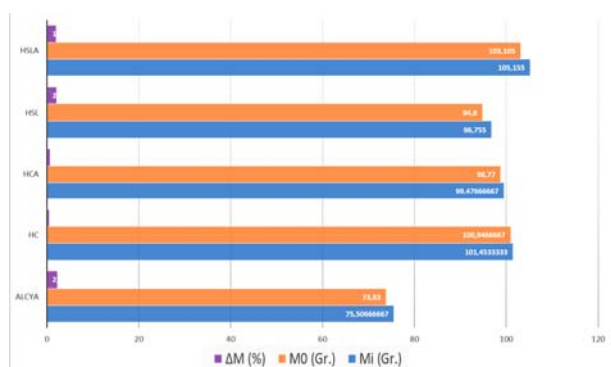


Figura 9. Variación de la masa de las probetas que han resistido a los 15 ciclos.

### 5.3. Determinación de la dureza superficial

Para la realización del ensayo se ha considerado necesario dividirlo en tres fases consecutivas (Fase A, Fase B y Fase C), donde en cada una de ellas se han utilizado puntas abrasivas de distinta dureza. Se barajó la posibilidad de experimentar con los tres tipos de puntas escogidas en cada una de las probetas pero, con el fin de poder determinar el alcance y resistencia de cada una de ellas por ciclo, se decidió realizar cada fase en una probeta distinta, utilizando por tanto tres probetas de cada grupo. De esta forma es posible determinar si las probetas resisten a las puntas más duras sin el consiguiente deterioro previo de las fases A y B (ver Figura 10).

	Ciclos	Velocidad	Distancia Recorrido	Abrasímetro
Fase A	100	15 ciclos/minuto	2 centímetros	CS-8 (blando)
Fase B	50	15 ciclos/minuto	2 centímetros	H-10 (intermedio)
Fase C	30	15 ciclos/minuto	2 centímetros	H-22 (duro)

Figura 10. Planteamiento del ensayo de determinación de la dureza superficial

En el transcurso del ensayo se ha detectado un comportamiento variado entre los morteros de obra que se muestran muy duros y resistentes frente al resto. En cuanto a la variación de la masa los resultados revelan cambios especialmente significativos en los morteros ALR, ALRA y HLY en la fase C. El resto de los morteros

experimentales muestran un comportamiento normal de resistencia a la abrasión y la adición del Acril 33 es visible en los morteros afines y en el mortero tradicional ALR especialmente. En cambio la adición acrílica en los morteros tradicionales AVY y ALCY es prácticamente imperceptible mostrando una variación mínima de la masa, ocurriendo lo mismo en los morteros de obra (ver Figuras 11 y 12).



Figura 11. Resultados de las probetas en el transcurso de las distintas fases del ensayo.

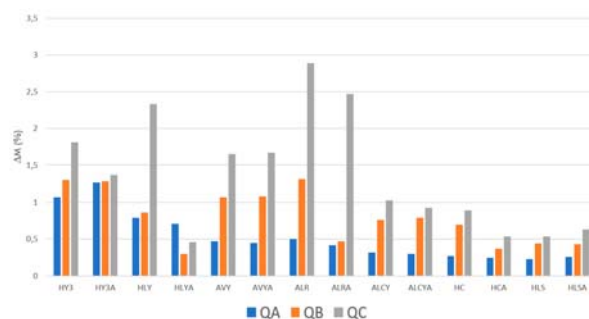


Figura 12. Variación de la masa en porcentajes en las diferentes fases.

En resumen, con la realización de estos ensayos de naturaleza físico-química se advierten distintos comportamientos entre las tres líneas de morteros analizadas:

- Morteros experimentales de obra: los morteros de obra resultan ser más rígidos y duraderos que el resto. Especialmente destaca su comportamiento hidrorrepelente y resistencia a la cristalización de sales solubles, pero ello puede resultar ser un punto negativo en la compatibilidad con el mortero original. Este mortero experimental podría resultar poco adaptable al original, causando además posibles migraciones que afectarían a su comportamiento y composición físico-química.
- Morteros experimentales afines: presentan un comportamiento intermedio entre ambos grupos, resultando ser especialmente débiles los HY3 en su comportamiento hídrico y en la resistencia a las sales solubles.
- Morteros experimentales tradicionales: Se ha detectado un buen comportamiento hídrico y de dureza superficial del grupo ALCY y su versión con aditivo acrílico ha superado de forma prácticamente intacta los ciclos de hidratación y deshidratación de cristalización de sales. Su fabricación a base de

materiales y técnicas tradicionales asegura además un comportamiento afín al mortero original adaptándose plenamente a él.

## 6. CONCLUSIONES

Los proyectos de intervenciones sostenibles e interdisciplinarios, como es el de La Calerilla, favorecen la puesta en valor y contextualización del patrimonio arqueológico. Además, pueden ofrecer una dimensión más social a través de una mejor interpretación de los hallazgos *in situ*, gracias al uso de técnicas y materiales tradicionales. Ello garantiza un mejor aprovechamiento de los mismos y el crecimiento del interés por parte del público como ha sucedido en los países nórdicos de Europa, en torno a enclaves tan relevantes como son el *LVR-RömerMuseum - Archäologischer Park Xanten* (Renania-Westfalia, Alemania), el poblado *Biskupin* (*Kujawsko-pomorskie*, Polonia), o el enclave arqueológico de *Eketorp* (*Olland*, Suecia). En España también se cuenta con experiencias de este tipo, como es la llevada a cabo en la Ciudadela ibérica de Calafell (Tarragona), donde se restauraron y reconstruyeron las estructuras arqueológicas a base de adobes. De esta forma, también se contribuye a un desarrollo socio-cultural y económico de los municipios mostrando una mayor accesibilidad para el público (Masriera, 2007; Santacana, Masriera, 2012).

Por otro lado, el uso de materiales tradicionales similares a los originales conlleva un mantenimiento y supervisión periódica, especialmente importante en los meses de invierno, cuando el patrimonio arqueológico se muestra más vulnerable frente a los agentes atmosféricos. Hasta el momento, las intervenciones se han realizado justamente a la inversa, organizándose campañas únicamente en los periodos estivales. De no ser así, una actuación rigurosa ejecutada con las mismas técnicas y materiales que los antiguos, no podría soportar un abandono continuado de varios años y el patrimonio arqueológico se vería seriamente dañado con pérdidas irreparables, pues el patrimonio es un recurso irrenovable. Por este motivo, debe hacerse hincapié en la necesidad de realizar actuaciones de conservación y restauración sostenibles y de manera rigurosa, combinada con protocolos de conservación preventiva para velar por la salvaguarda de un patrimonio tan frágil como es el arqueológico.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a Rafael Martínez Valle y a Livio Ferrazza, del Laboratorio de Materiales de la Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R, su disposición y ayuda en el análisis de las muestras del mortero original.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR (2009) *UNE EN 15801 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo Determinación de la absorción de agua por capilaridad*. Asociación Española de Normalización (AENOR).

AENOR (1999) *UNE EN 12370 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales*. Asociación Española de Normalización (AENOR).

Belfiore, C. M., Fichera, G. V., Ortolano, G., Pezzino, A., Visalli, R. y Zappalà, L. (2016) "Image processing of the pozzolanic reactions in Roman mortars via X-Ray Map Analyser" *Microchemical Journal* n. 125, pp. 242-253.

Cazalla, O. (2002) *Morteros de cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico*, tesis doctoral. Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada, Granada.

Esponda, M. (2010) "Zonas arqueológicas de Italia y Grecia restauradas con hormigón armado. Valoración de su estado" *Loggia, Arquitectura & Restauración* n° 22-23, pp. 38-59.

Garcerá, A., Martínez, A. y Soler A. (1993a) "Estudio antropológico de los restos óseos hallados en Requena (Valencia)" *Actas del II Congreso Nacional de Patología*, Universitat de València, pp. 217-219.

Garcerá, A., Martínez, A., Soler A. y Ortiz J.M. (1993b) "Estudio odontológico de algunos restos humanos hallados en la necrópolis de Requena (Valencia)" *Actas del II Congreso Nacional de Patología*, Universitat de València, pp. 403-404.

Martínez, A. (1991) "Una inscripción funeraria hallada en La Calerilla (Hortunas, Requena)" *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* n°24, pp. 167-172.

Martínez, A. (1995) "El Monumento Funerario de "La Calerilla" de Hortunas (Requena-Valencia)" *Archivo Español de Arqueología* 68, pp. 259-281.

Martínez, A. (2000) "El Monumento Funerario de La Calerilla de Hortunas (Requena-Valencia)" *Oleana: Cuadernos de Cultura Comarcal*, N° 15, pp. 5-25.

Mas, X. (2006) *Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales*, tesis doctoral. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.



- Masriera, C. (2007) *Anàlisi dels espais de presentació arqueològics de l'edat dels metalls*. Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales de la Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Quixal, D. (2013) *La Meseta de Requena-Utiel entre los siglos II-I a.C.: la Romanización del territorio ibérico de Kelin*, tesis doctoral. Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universitat de València, València.
- Sabbioni, C., Zappia, G., Riontino, C., Blanco-Varela, M.T., Aguilera J., Puertas, F., Van Balen y K., Toumbakari, E.E. (2001) "Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars" *Atmospheric Environment* n. 35, pp. 539-548.
- Sanchez-Moral, S., Luque, L., Cañaveras, J.C., Soler, V., Garcia-Guinea, J. y Aparicio, A. (2005) "Lime pozzolana mortars in Roman catacombs: composition, structures and restoration" *Cement and Concrete Research* n. 35, pp. 1555–1565.
- Santacana, J. y C. Masriera (2012) *La arqueología reconstructiva y el factor didáctico*. Trea Gijón.
- Santos, K., Carrascosa, B. y Martínez, A. (2014) "Proyecto de musealización de la necrópolis romana de "La Calerilla" de Hortunas, Requena (Valencia). Centro de interpretación e intervención *in situ*", *Arché* n° 9, pp. 109-118.
- Santos, K., Martínez, A. y Carrascosa, B. (2015) "El yacimiento arqueológico de "La Calerilla" de Hortunas (Requena), 25 años después" *Oleana* n° 28, p. 5-26.
- Santos, K., Lorenzo, F., Carrascosa, B. y Martínez A. (2016a) "I Campaña de Conservación y Restauración en La Calerilla de Hortunas, Requena (Valencia)" *Archivo de Prehistoria Levantina*, pp. 339-354.
- Santos, K., Carrascosa, B. y Martínez, A. (2016b) "La función social del patrimonio arqueológico local. La puesta en valor de la necrópolis de La Calerilla de Hortunas de Requena (Valencia, España)" *Devenir. Revista de estudios sobre patrimonio edificado* Vol. 3, n. 5, pp. 9-27.
- Santos, K., Carrascosa, B., Martínez, A. (2016c) "Participación social y educación patrimonial en la necrópolis de La Calerilla de Hortunas, Requena (Valencia)" *Construction pathology, rehabilitation technology and heritage management* (6<sup>th</sup> Rehabend Congress), pp. 361-369.
- Sepulcre, A. (2005) *Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico artístico*, tesis doctoral. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Ugurlu, E., (2012) *Characteristics of roman mortars produced from natural and artificial pozzolans in Aigai and Nysa*, tesis doctoral. Izmir Institute of Technology, Graduate School of Engineering and Sciences, Izmir (Turkey).
- Valgañón, V. (2008) *Biología aplicada a la conservación y restauración*. Síntesis, Madrid.

