

# DOSAGEM DAS ARGAMASSAS DE CAL VERSUS ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

**Alfredo Llorente-Álvarez<sup>1</sup>**  
[llorente@arq.uva.es](mailto:llorente@arq.uva.es)

**María Soledad Camino-Olea<sup>2</sup>**  
[mcamino@arq.uva.es](mailto:mcamino@arq.uva.es)

**Alejandro Cabeza-Prieto<sup>3</sup>**  
[alejandro.cabeza@uva.es](mailto:alejandro.cabeza@uva.es)

**M<sup>a</sup> Paz Sáez-Pérez<sup>4</sup>**  
[mepsaez@ugr.es](mailto:mepsaez@ugr.es)

**M<sup>a</sup> Ascensión Rodríguez-Esteban<sup>5</sup>**  
[mare@usal.es](mailto:mare@usal.es)

**José M<sup>a</sup> Olivar-Parra<sup>6</sup>**  
[jmo@uva.es](mailto:jmo@uva.es)

## ÁREA: 1.3 PATOLOGIA DOS MATERIAIS E COMPONENTES

### Resumo

Os antigos muros de tijolos de olaria e argamassa de cal e areia eram construídos com juntas horizontais de muita espessura; em alguns casos a espessura das juntas era similar à grossura dos tijolos, pelo qual nos fenómenos de ascensão da água do terreno por capilaridade, é tão importante analisar tanto o comportamento da argamassa quanto o dos tijolos. Numerosos estudos centrados na deterioração do arranque das alvenarias de tijolos, devido a estes fenómenos, foram dedicados praticamente em exclusividade à análise do comportamento do material cerâmico, esquecendo-se da argamassa, sendo este o material que forma uma camada horizontal contínua no caso das juntas horizontais e descontínua nas juntas verticais combinada com o tijolo. Neste artigo são apresentados os resultados dos ensaios realizados segundo a norma EN-15801 relativa à conservação do património, sobre o comportamento de argamassas com diferentes dosagens de cal e areia e de tijolos de olaria, visando avaliar a importância da composição da argamassa no processo de ascensão da água por capilaridade. As conclusões obtidas mostram como o fator decisivo no comportamento dos mesmos perante a ascensão capilar é centrado na dosagem, concretamente na relação cal/areia, obtendo diferenças significativas consoante a proporção utilizada.

Palavras-chave: Argamassa de cal  
Humidade capilar  
Alvenaria de tijolos

<sup>1</sup> Arquitecto, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

<sup>2</sup> Dr. Arquitecto, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

<sup>3</sup> Arquitecto, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

<sup>4</sup> Dr. Arquitecto, Universidad de Granada, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas

<sup>5</sup> Dr. Arquitecto, Universidad Salamanca, Dpto. de Construcción y Agronomía

<sup>6</sup> Técnico Laboratorio, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

# DOSIFICACIÓN DE LOS MORTEROS DE CAL VERSUS LA ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

**Alfredo Llorente-Álvarez<sup>7</sup>**

[llorente@arq.uva.es](mailto:llorente@arq.uva.es)

**María Soledad Camino-Olea<sup>8</sup>**

[mcamino@arq.uva.es](mailto:mcamino@arq.uva.es)

**Alejandro Cabeza-Prieto<sup>9</sup>**

[alejandro.cabeza@uva.es](mailto:alejandro.cabeza@uva.es)

**M<sup>a</sup> Paz Sáez-Pérez<sup>10</sup>**

[mpsaez@ugr.es](mailto:mpsaez@ugr.es)

**M<sup>a</sup> Ascensión Rodríguez-Esteban<sup>11</sup>**

[mare@usal.es](mailto:mare@usal.es)

**José M<sup>a</sup> Olivar-Parra<sup>12</sup>**

[jmo@uva.es](mailto:jmo@uva.es)

## ÁREA: 1.3 PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES Y COMPONENTES

### Resumo

Los muros antiguos de ladrillo de tejar y argamasa de cal y arena se construían con juntas horizontales de mucho espesor, que en ocasiones alcanzaba el grueso de los ladrillos, por lo que en los fenómenos de ascensión del agua del terreno por capilaridad sea tan importante analizar el comportamiento de la argamasa como el de los ladrillos. Numerosos estudios centrados en el deterioro del arranque de las fábricas de ladrillo debido a este fenómeno se han dedicado prácticamente en exclusiva al análisis del comportamiento del material cerámico olvidando la argamasa, siendo este material el que muestra mayor continuidad en el muro, enlazando los tendeles con las llagas donde se combina con el ladrillo. En este artículo se presentan los resultados de los ensayos realizados según la norma EN-15801 relativa a la conservación del patrimonio sobre el comportamiento de argamasas con diferentes dosificaciones de cal y arena y de ladrillos de tejar con el objetivo de evaluar la importancia de la composición del mortero en el ascenso del agua por capilaridad. Las conclusiones obtenidas muestran cómo el factor decisivo en el comportamiento del mismo frente a la ascensión capilar se centra en la dosificación, concretamente la relación cal/arena, obteniendo diferencias significativas según la proporción utilizada.

Palabras clave: Mortero de cal

Humedad capilar

Fábrica de ladrillo

<sup>7</sup> Arquitecto, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

<sup>8</sup> Dr. Arquitecto, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

<sup>9</sup> Arquitecto, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

<sup>10</sup> Dr. Arquitecto, Universidad de Granada, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas

<sup>11</sup> Dr. Arquitecto, Universidad Salamanca, Dpto. de Construcción y Agronomía

<sup>12</sup> Técnico Laboratorio, Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE

## Introducción

En las antiguas fábricas de ladrillo de tejar, con gruesas juntas de argamasa, uno de los factores que más influyen en su deterioro es el agua que asciende desde el terreno. Esta agua es la responsable de que se produzcan lesiones en los muros debidas a las eflorescencias y criptoflorescencias de sales, los procesos de heladicidad, así como al desarrollo de diversos tipos de vegetación.

Este problema se incrementa en aquellos edificios que carecen de un zócalo de piedra con altura suficiente para que evite este proceso o que, por lo menos, lo ralentice (figura 1).



**Figura 1:** Lateral de la Iglesia de San Pedro en Serrada, Valladolid.

Diversos autores señalan que uno de los factores que indican la potencial ascensión del agua por capilaridad en un muro es la capacidad de absorción de la argamasa (1) si bien la mayoría de las investigaciones se centran en intervenciones que afectan al muro en su totalidad (2) o al ladrillo, sin considerar las características de la argamasa de las fábricas antiguas.

Las juntas de argamasa son las que presentan continuidad en las fábricas de ladrillos definiendo tendeles unidos por las juntas verticales, mientras que los ladrillos están separados por las juntas. Además, las juntas de argamasa llegan a ocupar entre un 40% y un 60% del volumen del muro, según los datos obtenidos de los cálculos realizados sobre los alzados de diversos edificios estudiados. Sin duda, este hecho constituye una razón de peso para analizar este material y llegar a conocer su comportamiento frente al agua.

En los tratados y libros antiguos donde se informa sobre la dosificación de la argamasa se suele indicar que la proporción más adecuada es la de una a tres: *“Lo más común es dar una espuerta de cal a dos de arena cuando menos, y tres de arena y una de cal cuando mas. Hay cal que todavía resiste mas mezcla de arena”*(3) por lo que los ensayos se van a realizar sobre argamasa con esta dosificación, la 1/3 y las dos más próximas la dosificación 1/2 y la dosificación 1/4, ya que en los análisis realizados sobre la ascensión del agua por capilaridad se ha comprobado que la absorción de las argamasas difiere según la composición de la misma (4). Los ensayos en el laboratorio se han realizado según la norma EN-15801 (5) para verificar si el comportamiento de las argamasas es diferente en función de la dosificación.

Los ensayos se van a realizar según el procedimiento de esta norma europea porque es la que se ha definido para determinar el valor de absorción de agua por capilaridad en los edificios del patrimonio histórico. En otras investigaciones se estima que el parámetro importante para controlar el fenómeno de la ascensión del agua por capilaridad es la sortividad (6). El ensayo para determinar esta característica es similar al de esta norma en cuanto al proceso de medida

del agua que asciende por capilaridad desde una base húmeda, si bien hay una diferencia importante en cuanto al procedimiento ya que mientras que en la norma europea es posible la desorción por la superficie exterior de la probeta que no forma parte de la base de absorción, en el ensayo de sortividad, las caras laterales se revisten de un material de forma que la desorción solamente sea posible por la cara superior de la probeta.

## Metodología y resultados

Como se ha indicado anteriormente el mortero de cal o argamasa más común es el de dosificación 1/3, cal área/arena, por lo que se va a proceder al estudio de las características de esta dosificación y de las demás, con menor y mayor cantidad de cal, 1/4 y 1/2

Otras de las características que se han ensayado son la densidad, además de la porosidad y la absorción por inmersión en agua fría, ya que en los materiales porosos el ascenso del agua por capilaridad suele estar relacionado con estas características. El ensayo de densidad y porosidad se ha realizado según el procedimiento de las normas EN 772-3 (7) EN 772-13 (8), y el de absorción por inmersión en agua según la norma EN 772-21 (9) (figura 2). Las normas de ensayo son para piezas de fábrica. Se han utilizado también para la argamasa por entender que son válidas para ambos materiales.



**Figura 2:** Imagen del ensayo de absorción por inmersión en agua de probetas de argamasa de 40 mm x 40 mm x 160 mm.

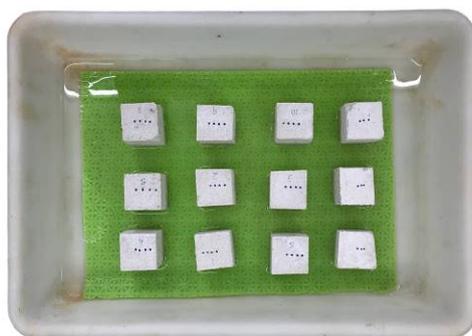
Los ensayos se han realizado sobre dieciocho probetas de 40 mm x 40 mm x 160 mm cada una, seis por cada una de las dosificaciones de cal y arena descritas anteriormente. Dado que en la fábrica el ladrillo es el material principal del muro, se ha considerado realizar el mismo ensayo sobre seis ladrillos de tejar, de dimensiones medias 279 mm x 140 mm x 43 mm, procedentes de demoliciones de edificios antiguos, que fueron construidos en el primer tercio del siglo XX, de esta manera se podrá conocer el comportamiento de las piezas cerámicas y analizar los resultados obtenidos de ambos materiales. En el ensayo de absorción de agua por inmersión se han expresado los resultados como indica la norma, en porcentaje del peso del agua absorbida al final del ensayo en relación con el peso de la probeta seca y también en volumen, los litros de agua absorbida respecto del volumen de la probeta. Los resultados se han trasladado a la tabla 1.

**Tabla 1:** Densidad, porosidad y absorción de agua fría.

	norma	unidad	Argamasa 1/2	Argamasa 1/3	Argamasa 1/4	ladrillo
Densidad	EN 772-3	Kg/m <sup>3</sup>	1.847	1.859	1.843	1.783
Porosidad	EN 772-13	%	22,1	20,5	17,1	27,0
Absorción	EN 772-21	% en peso	12,1	10,7	9,3	17,2
Absorción	EN 772-21	l/m <sup>3</sup>	222,8	198,4	170,4	266,1

Una vez hechos los ensayos definidos anteriormente, se procedió a realizar otros, esta vez siguiendo la norma EN 15801. En esta norma se describe el procedimiento para determinar la absorción de agua de los materiales inorgánicos porosos utilizados en el patrimonio cultural que permite estimar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad (AC) el cual se define como la pendiente de la parte lineal de la curva obtenida representando la variación de masa por unidad de superficie ( $Q_i$ ) en función de la raíz cuadrada del tiempo ( $t_i^{1/2}$ ), lo que indica la velocidad de absorción de agua por capilaridad de un material. El ensayo también permite conocer el volumen final de agua que puede llegar a absorber la probeta, con lo que se obtienen dos datos que permiten evaluar el comportamiento de la misma.

Para este mismo ensayo normalizado en investigaciones previas se ha observado que las dimensiones de las probetas condicionan los resultados para el mismo material, ya que los valores de  $Q_i$  obtenidos, hasta la fecha, para el mismo material son diferentes en función de la forma y dimensiones de las probetas, por lo que para la ejecución de los ensayos a cuyos resultados se refiere este artículo, se elaboraron treinta y seis probetas cúbicas de argamasa de 40 mm x 40 mm de base por 40 mm de altura (figura 3) porque la norma de ensayo indica que las probetas deben ser regulares, de forma cúbica o cilíndrica, doce de cada una de las tres dosificaciones distintas de cal/arena: 1/2, 1/3 y 1/4, que se van a analizar. Y doce probetas de las mismas dimensiones de ladrillo de tejar. Se seleccionó dicho tamaño de las probetas porque era la pieza cúbica de mayor dimensión que se podía cortar de algunos de los ladrillos.



**Figura 3:** Imagen del ensayo de absorción por capilaridad de las probetas de argamasa de 40 mm x 40 mm x 160 mm.

Se ensayaron doce probetas de cada dosificación de argamasa y doce probetas de ladrillo siguiendo el procedimiento de la norma. Las probetas se secaron hasta masa constante en una estufa a una temperatura de 105 °C. Luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se colocaron sobre un lecho permeable saturado de agua y se procedió a medir la absorción de agua a intervalos regulares mediante pesada de las probetas en una balanza COBOS modelo D17 CBK con una precisión de 0,1 gr. hasta que la diferencia de la masa absorbida entre dos pesadas consecutivas fuera inferior al 1% de la masa de agua absorbida. Este ensayo se realizó en el laboratorio de construcción de la ETS de Arquitectura de Valladolid, con una temperatura controlada entre 22 °C y 23 °C, y una humedad entre el 35% y el 40%.

Para determinar la curva de absorción se representaron los valores de la cantidad de agua absorbida dividida entre la superficie de absorción en un gráfico en función de la raíz cuadrada del tiempo ( $t_i^{1/2}$ ) en segundos:

$$Q_i = [m_i - m_0]/A \quad \text{en (kg/m}^2\text{)} \quad (1)$$

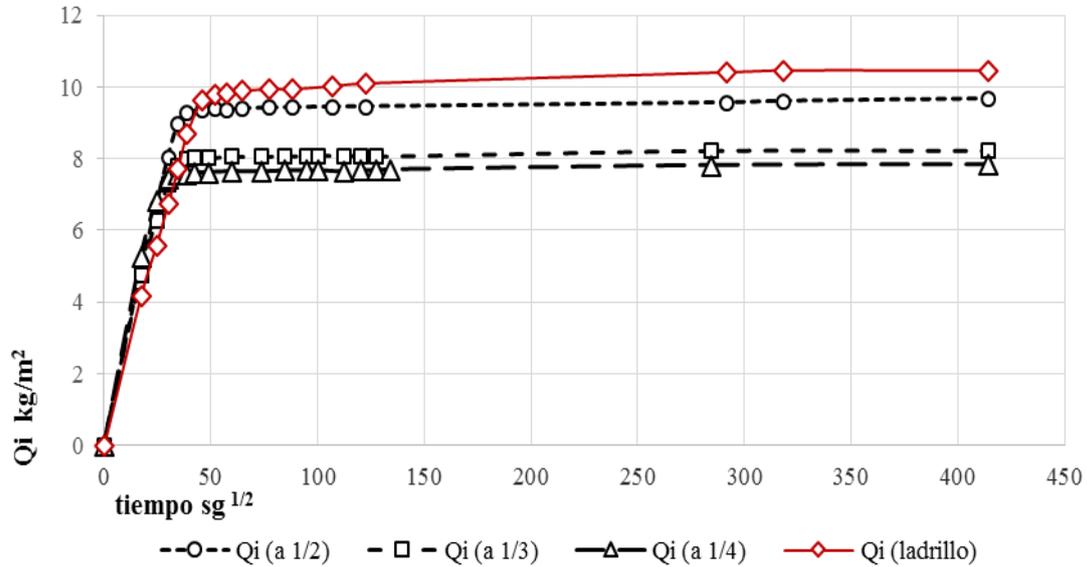
en que:

$m_0$  masa de la probeta en seco, en kg

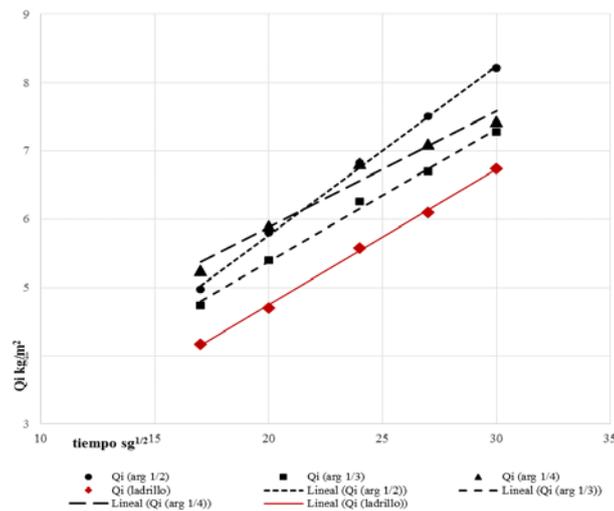
$m_i$  masa de la probeta en el tiempo  $t_i$ , en kg

$A$  superficie de la probeta en contacto con el agua, en  $m^2$

$t_i$  tiempo en sg



**Figura 4:** Gráficas de absorción de agua por capilaridad de las probetas.



**Figura 5:** Gráfica de los coeficientes de absorción AC de las probetas.

El coeficiente de absorción de agua por capilaridad (AC) es la pendiente de la parte lineal calculada por regresión lineal, utilizando al menos cinco puntos alineados. La media de los resultados obtenidos se ha trasladado al gráfico de la figura 4 y la pendiente del primer tramo de la gráfica, que indica la velocidad de absorción, es la representada en la figura 5.

Con los resultados de estos ensayos también se ha calculado la cantidad de agua total absorbida por las probetas respecto de la masa seca de las probetas y del volumen de las mismas, en las mismas unidades que en el ensayo de absorción por inmersión. Estos datos se han trasladado a la tabla 2.

Tabla 2: Resultados de los ensayos a las probetas según la norma EN 15801.

	unidad	Argamasa 1/2	Argamasa 1/3	Argamasa 1/4	ladrillo
AC	(l/m <sup>2</sup> )/sg <sup>1/2</sup>	0,248	0,194	0,170	0,198
absorción	% kg/kg	14,1	12,1	11,5	14,5
absorción	l/m <sup>3</sup>	254	213	201	262

Los materiales higroscópicos tienen la capacidad de absorber agua de la humedad ambiente, en especial estos materiales que presentan una porosidad elevada. Para evaluar la importancia de la sorción de la humedad del ambiente en estado de vapor se sometió a las probetas a un ensayo en una cámara climática WEISS modelo WK3-340/40. Según el siguiente procedimiento: se secaron las probetas en estufa, hasta peso constante, luego se introdujeron en la cámara climática a una temperatura de 20°C y a diferentes contenidos de humedad relativa que se fueron aumentando progresivamente: 30%, 50%, 70%, 90% hasta llegar al 99%. Las probetas se fueron pesando hasta conseguir pesada constante, entendiéndose así que se había absorbido la cantidad máxima de agua y con el peso resultante se calculó el porcentaje de agua adsorbido respecto del peso seco de las probetas y el volumen de agua absorbido respecto del volumen de las probetas (tabla 3). Las probetas de argamasa que se ensayaron eran de 40 mm x 40 mm x 160 mm y los ladrillos de tejar se introdujeron enteros.

Tabla 3: Resultados de los ensayos a las probetas sometidas a un ambiente a 20°C y una humedad del 99% en la cámara climática.

	unidad	Argamasa 1/2	Argamasa 1/3	Argamasa 1/4	ladrillo
adsorción	% kg/kg	0,32	0,39	0,34	3,77
adsorción	l/m <sup>3</sup>	5,9	6,9	6,2	63,8

Como se puede comprobar, este valor es menos significativo en las argamasas aunque en el ladrillo la cantidad de agua que puede penetrar procedente del ambiente es importante teniendo en cuenta que el contenido de humedad en g por cada kg de aire seco para una temperatura de 20 °C y una humedad del 100% es de 14.

## Discusión

Relacionando la porosidad con la absorción por inmersión en agua (tabla 1) puede considerarse lo siguiente: si dividimos el valor de la porosidad media por el de la absorción media, en cada caso, resulta 1,83 (a. 1/2), 1,92 (a. 1/3), 1,84 (a.1/4) y 1,57 (ladrillo). No existe diferencia significativa del índice entre las argamasas, aunque sea un poco más alto para la 1/3, que puede achacarse al proceso de elaboración de las probetas. Y sí que baja más significativamente en el caso del ladrillo. Lo que permite decir que mientras las diferentes dosificaciones de los morteros no parecen influir mucho en la proporción de agua absorbida, en el ladrillo cerámico, con diferentes mineralogía y textura, a una porosidad significativamente más elevada que la de las argamasas parece corresponderle

una absorción mayor en término absoluto, pero proporcionalmente menor que en el otro material.

Al analizar los resultados obtenidos se puede comprobar que en el ensayo según la norma EN 15801, los valores de AC (coeficiente de absorción) al que se podría denominar velocidad de absorción de agua, son diferentes según la dosificación de la argamasa. Los valores de AC van aumentando en función del contenido de cal, es decir, cuanto mayor sea el contenido de cal más rápida es la ascensión de agua por capilaridad. El valor de AC de la argamasa de dosificación 1/3 es un 14% más elevado que el valor de AC de la argamasa de dosificación 1/4, mientras que en la argamasa de dosificación 1/2 es un 28% más elevado que en la argamasa de dosificación 1/3.

De manera similar sucede con el volumen de agua absorbido por las probetas al final del ensayo, que es más elevado también cuanto más proporción de cal tiene la argamasa. El volumen medio de agua absorbido por la probeta de dosificación 1/3 es un 6% más elevado que el correspondiente valor de las probetas de dosificación 1/4 y el volumen de agua absorbido por la probeta de dosificación 1/2 es un 19% más elevado que el valor correspondiente del volumen de agua absorbido por las probetas de dosificación 1/3.

Al comparar el valor medio de la porosidad aparente de las probetas se puede comprobar que es más elevado el valor correspondiente de las probetas en las que la argamasa presenta una cantidad más elevada de cal en la mezcla. Y en el ensayo de absorción en agua fría vuelve a ser más elevado el valor medio resultante de las probetas de dosificación 1/2. En estos ensayos el aumento en el valor de la porosidad y de la absorción por inmersión en agua fría sigue la misma tendencia que en el ensayo según la norma EN 15801.

En el ensayo en la cámara climática los resultados no siguen el mismo orden, el valor de adsorción de agua  $l/m^3$  respecto de los otros dos ensayos es mucho más bajo por lo que dicho fenómeno higroscópico es poco significativo.

La densidad de las probetas de argamasa con diferentes dosificaciones de cal es muy similar, por lo que no parece que la proporción de cal influya tanto en la densidad como en la absorción de agua.

Si analizamos los valores de la argamasa respecto de los del ladrillo de tejar se puede comprobar que en todos los ensayos el ladrillo absorbe una cantidad de agua mayor que cualquiera de las que capta las argamasas. La densidad es menor y la porosidad es más elevada, sin embargo, el valor AC del ensayo según la norma EN 15801 es muy similar al de la argamasa de dosificación 1/3.

## Conclusiones

Según los ensayos realizados la dosificación de la argamasa es un factor determinante en la ascensión del agua por capilaridad ya que en los ensayos que se han realizado tanto la velocidad de subida del agua como la cantidad de agua total absorbida por las probetas son diferentes según la dosificación y más elevada cuanto mayor es la dosificación de cal de la mezcla.

La argamasa con una dosificación 1/2 es la que absorbe mayor cantidad de agua mientras que las otras dos dosificaciones analizadas absorben el agua en menor cantidad y más lentamente, siendo los valores resultantes del ensayo más próximos en las dosificaciones 1/3 y 1/4 respecto de los valores correspondientes de la dosificación 1/2.

La dosificación 1/3, que es la que se utilizaba según los tratados antiguos consultados, presenta una velocidad de absorción según el procedimiento del ensayo la norma EN

15801 similar a la de los ladrillos de tejar utilizados para hacer los ensayos si bien el ladrillo de tejar absorbe mayor cantidad de agua.

Los valores de porosidad están relacionados con los de absorción, cuanto más elevada es la porosidad mayor cantidad de agua puede absorber el material hasta la saturación, sin embargo no parece que exista relación con el valor AC que indica la velocidad de absorción por capilaridad.

## Agradecimientos

Los ensayos se han desarrollado en el Laboratorio de Construcción de la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad de Valladolid.

## Bibliografía

- (1) RISCH, E.; MACMULLEN, J.; ZHANG, Z. **Evaluation of mortar samples obtained from UK houses treated for rising damp**, Construction and Building Materials 25, 2011, pp. 2845-2850.
- (2) FRANZONI E. **Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge**, Construction and Building Materials, 2014, pp. 123-136.
- (3) DE VILLANUEVA, J. **Arte de Albañilería o instrucciones para los jóvenes que se dediquen a él, en que se trata de las herramientas necesarias al albañil, formación de andamios, y toda clase de fábricas que se puedan ofrecer**, Madrid, 1827.
- (4) LLORENTE, A.; CAMINO, S. LEON. J.; OLIVAR, J.M. **Contribution of the lime and sand mortar in the process of capillarity water absorption in old brick masonry**, 9<sup>th</sup> International Masonry Conference 2014, pp. 237-237.
- (5) European Standard EN-15801 **Conservation of cultural property. Test method. Determination of water absorption by capillarity**, 2010.
- (6) HALL C.; HOFF W.D. **Water transport in Brick, Stone and Concrete**, New York, Spon Press, 2012.
- (7) European Standard EN 772-3 **Methods of test for masonry units. Part 3: Determination of net volumen porcentaje of voids of clay masonry units by hidrostatic weighing**, 1999.
- (8) European Standard EN 772-13 **Methods of test for masonry units. Part 13: Determination of net and gross dry density of masonry units (excepts for natural Stone)**, 2001
- (9) European Standard EN 772-21 **Methods of test for masonry units. Part 13: Determination of water absorption of clay and calcium silicate masonry units by cold water absorption**, 2011.