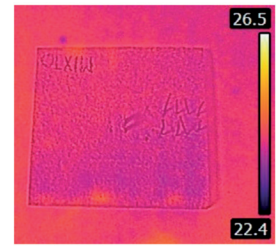


# Comportamiento frente a la humedad de los morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados



## Behaviour of masonry mortars fabricated with recycled aggregate towards moisture

Pablo Saiz<sup>1</sup>, Daniel Ferrández<sup>2</sup>, Carlos Morón<sup>2</sup> y Francisco Fernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Rey Juan Carlos. Dpto. de Economía Financiera, Contabilidad e Idioma Moderno. Calle Tulipán, s/n - 28933 Móstoles, Madrid (España).  
Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación. <sup>2</sup> Dpto. de Tecnología de Edificación y <sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial. Av. Juan de Herrera, 6 - 28040 Madrid (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9023> | Recibido: 29/10/2018 • Inicio Evaluación: 30/10/2018 • Aceptado: 12/12/2018

### ABSTRACT

- One of the most frequent defect in building is appearance of moisture. Due to the growing social awareness and environmental policy, it becomes necessary to evaluate the behaviour of a new construction materials regarding this kind of defects. This paper studies the behaviour of masonry mortars incorporating three types of recycled aggregates: concrete, ceramic and mixed, with dosages 1:3 and 1:4 to be compared to the behaviour of traditional mortars in terms of absorption by capillarity, rainwater penetration and water vapour permeability. The results show that under condition of water absorption by capillarity or heavy rains, ceramic recycled aggregate has the poorest behaviour due to its high mix water absorption. Moreover, water vapour permeability is higher in mortars performed with recycled aggregates, minimizing in this way the condensation that can be produced in interior spaces.
- **Key words:** masonry mortar, recycled aggregate, moisture, defect.

### RESUMEN

Una de las patologías más frecuentes en la edificación es la aparición de humedades. Debido a la creciente sensibilización social y política por la conservación del medio ambiente, se hace necesario evaluar el comportamiento de nuevos materiales en relación a este tipo de patologías. En este trabajo, se ha investigado el comportamiento de los morteros de albañilería incorporando tres tipos de árido reciclado: hormigón, cerámico y mixto, con dosificaciones 1:3 y 1:4 para ser comparados con el mortero tradicional en relación a los ensayos de absorción por capilaridad, penetración al agua de lluvia y permeabilidad al vapor de agua. Los resultados muestran que en condiciones de absorción de agua por capilaridad o fuertes lluvias el árido reciclado cerámico es el que presenta peor comportamiento debido a su mayor absorción de agua de amasado. Por otra parte, la permeabilidad al vapor de agua es superior en los morteros elaborados con áridos reciclados, minimizando así la condensación que se puede producir en estancias interiores.

**Palabras clave:** Mortero de albañilería, árido reciclado, humedad, patología.

### 1. INTRODUCCIÓN

La entrada de agua a través de los paramentos exteriores del edificio es el origen de diversas patologías que tienen difícil solu-

ción, siendo por tanto objeto de trabajo de diversos autores que han estudiado el comportamiento de los muros sometidos a fenómenos de capilaridad analizando los sistemas que les dan respuesta, tales como cámaras de aireación o drenajes [1]. Pero todos estos estudios se centran en muros elaborados mediante sistemas tradicionales, sin evaluar el comportamiento que presentan las fábricas y revestimientos elaborados con otras tipologías de morteros con inclusión de áridos reciclados.

Por otro lado, la explotación masiva de los recursos naturales en el sector de la construcción durante las últimas décadas y su impacto medioambiental ha favorecido el estudio de nuevas vías de reciclaje que han permitido implementar fehacientemente nuevos materiales provenientes de los residuos de construcción demolición (RCD) [2]. Entre estos residuos destaca el empleo de áridos reciclados para la elaboración de morteros que ha abierto un nuevo campo para la investigación en el cual se están obteniendo resultados satisfactorios. Los morteros elaborados con este tipo de áridos poseen mayores coeficientes de absorción que los morteros tradicionales, debido a su menor densidad y al residuo que los acompaña [3], esta variación en la absorción de agua afecta a propiedades como la retracción o la resistencia final del mortero endurecido, además de favorecer la difusión de humedades una vez implantados en obra.

En sus inicios cuando las técnicas y equipos de medida de humedades estaban aún en vías de desarrollo la única técnica disponible para cuantificar el contenido en humedad presente en los materiales, era la técnica gravimétrica, consistente en tomar muestras del material a analizar, para, una vez llevados a laboratorio, secarlos y establecer así el porcentaje de humedad perdido en el secado [4].

Actualmente, en las investigaciones sobre las humedades en la edificación se han considerado dos vías. Una primera, destinada a la monitorización y estudio del comportamiento de los materiales de construcción sometidos a condiciones reales de humedad, y que tiene como objetivos finales la conservación del patrimonio arquitectónico y el control ambiental en la edificación [5], cabe destacar el empleo de la termografía infrarroja para la medida de humedades superficiales por su rapidez y sencillez de aplicación, aunque esta técnica tiene la salvedad de que se ve afectada por las condiciones de humedad y temperatura ambiente pudiendo distorsionar así los resultados. Y, por otro lado, encontramos las investigaciones que se centran en el desarrollo de sensores para la medida del contenido en humedad de los materiales, tratando de mejorar las técnicas ya existentes o los dispositivos empleados para la realización de las mismas [6]. Estas técnicas están basadas

en el estudio de las propiedades eléctricas, de entre las cuales, la medida de la resistencia eléctrica es la que peores resultados reporta debido a la escasa conductividad de los conglomerantes, siendo las medidas de capacitancia e inductancia las más fidedignas. Aun así, las medidas de laboratorio siempre son más fiables que las medidas de campo.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento real que presentan los morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados frente a la acción de humedades externas. Para ello, se han elaborado probetas con sustitución completa del árido natural por árido reciclado, considerando tres tipos de árido (reciclado de hormigón, reciclado cerámico y mixto) y dos dosificaciones por cada mortero, para posteriormente comparar los resultados con el mortero tradicional. Además, se ha tenido en cuenta no solo las humedades por capilaridad y al agua de lluvia, sino también la permeabilidad al vapor de agua con el objetivo último de evaluar la difusión del agua hacia el exterior una vez lo permiten las condiciones ambientales. Todo ello respaldado con la correspondiente caracterización de los áridos.

## 2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

### 2.1. MATERIALES Y DOSIFICACIONES EMPLEADAS

Para la elaboración de las probetas de mortero se emplearon los siguientes materiales: cemento, árido natural y árido reciclado de hormigón, cerámico y mixto, agua y aditivo. El cemento empleado fue el CEM II B/L – 32,5 N por ser el más comúnmente empleado en la elaboración de morteros de albañilería y cuyas especificaciones vienen recogidas en la norma UNE-EN 197-1:2011 [7]. Las arenas fueron tamizadas en el laboratorio según la norma UNE-EN 933-1:2012 [8], para eliminar la porción de finos existentes y las imperfecciones derivadas de la trituración de los áridos reciclados de forma que pasan por el tamiz de 4 y retienen en él de 0,063 mm. Los morteros elaborados con árido reciclado contienen un aditivo superplastificante tipo Glenium Sky 604.

La nomenclatura de los morteros empleados en los ensayos es:

$$M - N - D \quad (1)$$

donde M indica que se trata de un mortero de cemento, N indica el tipo de árido empleado, que puede ser a su vez AN para el caso del árido natural y RA para el caso del árido reciclado (H: Hormigón, Cer: Cerámico y M: Mixto), y D que indica la relación cemento-arena en peso que puede ser 1:3 o 1:4.

Las amasadas de referencia han sido elaboradas con arena de río suministrada por la empresa Cemex. Por otro lado, las arenas recicladas proceden de la planta de reciclaje Tec-Rec y proceden de residuos de construcción y demolición.

La preparación de todas las amasadas se realizó con la misma técnica y equipos, siguiendo la normativa de referencia UNE-EN 196-1 [9] y con una consistencia plástica acorde a las indicaciones de la norma UNE-EN 1015-2 (175±10 mm) [10]. Las muestras elaboradas con árido reciclado fueron preparadas empleando aditivo en cantidad de 1% sobre el peso del cemento, a fin de reducir el contenido de agua en el amasado manteniendo su trabajabilidad y mejorando su dureza, retracción y durabilidad, cumpliendo con los límites establecidos por el fabricante.

### 2.2. ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

Los morteros son materiales porosos en cuyo interior confluyen una red de capilares donde coexisten tres fases bien diferen-

ciadas: el aire (gas) ocluido dentro del poro, el líquido que asciende y el sólido que conforma el capilar. Siendo la intersección entre estas tres fases la denominada línea de equilibrio, que será cóncava para el caso de que la atracción sólido-líquido sea mayor que la tensión superficial del líquido produciendo así un ascenso del fluido a través del tubo capilar [11].

Si disponemos de un volumen fijo de agua, podemos decir que el aumento de la superficie líquido-sólido depende de la disminución del contacto sólido-gas, según la ecuación (2):

$$W = (\gamma_{sl} - \gamma_{sg}) \cdot (S_1 - S_0) \quad [J] \quad (2)$$

donde W es la energía superficial libre del sistema, es la tensión superficial entre sólido y líquido, es la tensión superficial entre sólido y gas, superficie que presenta el agua en contacto con el sólido, y superficie que presenta el agua al aire. Este mecanismo se produce de forma espontánea si .

Para el caso de que los poros no estén completamente llenos de agua, y solo se recubran de una película, el modelo viene determinado por la ecuación de Dupré:

$$W = \gamma_{lg} \cdot S_{lg} + \gamma_{sl} \cdot S_{sl} + \gamma_{sg} \cdot S_{sg} \quad [J] \quad (3)$$

donde son las tensiones superficiales líquido-gas, sólido-líquido y sólido-gas respectivamente, y son las superficies de contacto líquido-gas, sólido-líquido y sólido-gas respectivamente.

El coeficiente de absorción de agua por capilaridad se determina siguiendo las especificaciones de la norma UNE-EN 1015-8 para probetas de mortero prismáticas normalizadas de 4x4x16 cm, a presión atmosférica [12]. Para ello, después del secado hasta masa constante, la cara rugosa de la probeta obtenida tras ruptura se sumerge en agua hasta la profundidad de un centímetro en una bandeja y separada del fondo, durante un periodo de tiempo especificado y con las caras laterales impermeabilizadas mediante parafina.

De tal forma que el coeficiente de absorción de agua por capilaridad viene determinado por la pendiente de la recta que une los puntos representativos de las medidas tomadas después de 10 min y después de 90 min.

Para ello se emplea la siguiente expresión:

$$C = 0,1 \cdot (M_2 - M_1) \quad [kg/m^2 \cdot min^{0.5}] \quad (4)$$

donde C es el coeficiente de absorción de agua de una probeta individual de mortero, M2 y M1 son las masas de las probetas en gramos después de la inmersión de 90 min y 10 min respectivamente.

### 2.3. PENETRACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

El ensayo de penetración de agua en materiales de construcción proporciona información precisa sobre la cantidad de agua de lluvia que se introduce por unidad de tiempo y superficie en fachadas exteriores. Para la determinación de la permeabilidad superficial se ha empleado el método de ensayo conocido como tubo Karsten, siguiendo para su aplicación las recomendaciones descritas en el método RILEM [13], recreando así un entorno de lluvia con rachas de viento de hasta 90 km/h rellenando el tubo hasta los diez centímetros midiéndose así los mililitros que penetran por minuto y rellenando el tubo conforme se producía la absorción para mantener la altura constante. Es interesante comprobar si el empleo del árido reciclado que influye en la porosidad final del mortero actúa en detrimento de la impermeabilización al agua de lluvia.

Esta absorción de agua provoca a su vez una disminución en la resistencia eléctrica del material que puede ser medida mediante el paso de una corriente eléctrica. Esta propiedad permite medir el contenido en humedad a tiempo real que existe en el mortero conforme se está realizando en ensayo de penetración al agua de lluvia. Para llevar a cabo estas medidas se ha empleado un sensor de humedad de Arduino tipo HL-69 que permite cuantificar a una determinada profundidad la cantidad de agua que penetra, de tal forma, que, si se considera el 0% de humedad en el instante en que comienza el ensayo, se puede obtener el contenido final de humedad para cada tipología de mortero monitorizado y su progresión en el tiempo.

### 2.4. PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

La permeabilidad al vapor de agua es una propiedad intrínseca de cada material y que se encuentra relacionada con el grado de difusión del vapor de agua a través de su interior por el sistema poroso. Los morteros que van a formar parte de un cerramiento deben permitir una cierta transpiración con el objetivo de evitar humedades producidas por condensación [14].

La expresión empleada para el cálculo de la permeabilidad al vapor de agua es:

$$Permeabilidad = \left( \frac{1}{A \cdot \Delta p \cdot \left( \frac{\partial G}{\partial t} \right) - R_A} \right) \cdot e \quad [kg/m \cdot s \cdot Pa] \quad (5)$$

donde A es el área de la embocadura del recinto de ensayo en m<sup>2</sup>, Δp es la diferencia de presión del vapor de agua entre el aire ambiente y la disolución salina en Pa, ∂G/∂t es el flujo de vapor de agua en kg · s, R<sub>A</sub> es la resistencia a la difusión del vapor de agua de la lámina de aire que existe entre la probeta y la disolución salina en m<sup>2</sup> · s · Pa/kg y e es el espesor de mortero en m.

Test	Contenido en finos (%)	Módulo de finura (%)	Friabilidad (%)	Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Real (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua (%)
Norma	UNE-EN 933-1	UNE-EN 13139	UNE-EN 83115	UNE-EN 1097-3	UNE-EN 1097-6	UNE-EN 1097-6
AN	2,61	4,32	22,61	1540	2440	0,94
ARH	3,55	4,20	24,01	1315	2060	5,96
ARCer	4,52	4,65	24,75	1215	2100	7,12
ARM	4,05	4,37	24,60	1200	2040	6,40

\* La forma de las partículas de los áridos reciclados según norma UNE-EN 933-1 [8] ha sido "no relevante"

Tabla 1: Caracterización de los áridos empleados

Tipo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SiO <sub>2</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	I.Loss (%)
ARH	6,98	10,67	1,22	2,16	0,54	68,2	0,022	0,15	-	0,10	0,22	9,50
ARCer	10,30	16,90	2,85	2,36	1,79	43,5	-	0,37	4,32	0,12	0,82	16,50
ARM	6,18	11,40	1,22	2,17	0,61	67,5	0,024	0,17	-	0,08	0,35	9,50

Tabla 2: Fluorescencia de rayos X.

Tipología	Relación	Densidad Aparente (kg/l)	Densidad Real (kg/l)	Compacidad (%)	Coefficiente de absorción (kg/m <sup>2</sup> · min <sup>0.5</sup> )
Mortero Árido Natural	1:3	2,04	2,30	88,69	0,55
	1:4	1,95	2,25	86,66	0,60
Morteros con Árido Reciclado de Hormigón	1:3	1,84	2,35	78,29	0,65
	1:4	1,77	2,26	78,31	0,75
Morteros con Árido Reciclado Cerámico	1:3	1,77	2,20	80,45	0,64
	1:4	1,71	2,20	77,72	0,82
Morteros con Árido Reciclado Mixto	1:3	1,80	2,36	76,27	0,65
	1:4	1,76	2,26	77,87	0,78

Tabla 3: Densidades y compacidad de los morteros empleados

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS Y MATERIALES EMPLEADOS

Los resultados de la caracterización física y química tanto de los áridos reciclados como del árido natural se ha realizado siguiendo las pautas de la normativa UNE-EN 13139:2002 tal y como se muestra en la Tabla 1 [15].

Como se puede apreciar en la Tabla 1, la densidad de los áridos reciclados es menor en todos los casos que la del árido natural. Mientras que los valores de absorción de agua para los áridos reciclados son muy superiores a las arenas naturales debido entre otros factores a la cantidad de cemento adherida al árido tras el proceso de molienda. Esta característica supone el principal problema para el uso de este tipo de áridos debido a la gran cantidad de demanda de agua de amasado. Además, también se ha obtenido la curva granulométrica de los áridos empleados en esta investigación acorde a la norma UNE-EN 13139 [15]. Los resultados indican una granulometría continua para los dos tipos de áridos reciclados empleados, por lo que se consideran válidos para su uso en morteros de albañilería.

Para completar el análisis de los tres tipos de árido reciclado empleados en este trabajo se llevó a cabo un estudio mediante fluorescencia de rayos X, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de fluorescencia de rayos X muestran para los áridos reciclados un elevado contenido en SiO<sub>2</sub> (dióxido de silicio) seguido de un elevado porcentaje de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de aluminio) y CaO (óxido de calcio).

Antes de comenzar los ensayos de humedades se determinaron las densidades según la norma UNE-EN 1015-10 y la compacidad de los morteros [16]. Como se puede apreciar en la Tabla 3, la densidad aparente de los morteros elaborados con árido natural es superior a su homóloga para los áridos reciclados. Además, la compacidad de los morteros tradicionales también es superior a la de los morteros que incorporan áridos reciclados, siendo el volumen de poros superior en estos últimos.

### 3.2. COEFICIENTES DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Una vez estudiadas las densidades y porosidad de los morteros empleados, se determinó el coeficiente de absorción de agua por capilaridad siguiendo las pautas de la norma UNE-EN 1015-8 [12], tal y como se muestra en la Tabla 3.

Como se puede ver en dicha tabla el coeficiente de absorción de agua por capilaridad es superior en los morteros elaborados con áridos reciclados, debido precisamente a la mayor absorción que presentan estos áridos. Por el mismo motivo, las dosificaciones con relación cemento-árido 1:4, poseen un mayor coeficiente de absorción de agua por capilaridad que las dosificaciones elaboradas con relación 1:3, siendo los morteros elaborados con árido reciclado proveniente de residuos cerámicos los que presentan valores mayores de absorción y por lo tanto una mayor altura alcanzada en dicho ensayo.

### 3.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA Y MONITORIZACIÓN CON ARDUINO

Los resultados obtenidos para el ensayo tubo Karsten en distintas dosificaciones se muestran en las Figuras 1(a) y 1(b). Los resultados derivados de la medición del contenido de humedad se muestran en las Figuras 2(a) y 2(b).

Como se puede observar en las Figuras 1(a) y 1(b), la mayor penetración del agua de lluvia se produce en los morteros elaborados con árido reciclado cerámico, y obteniendo valores muy cercanos

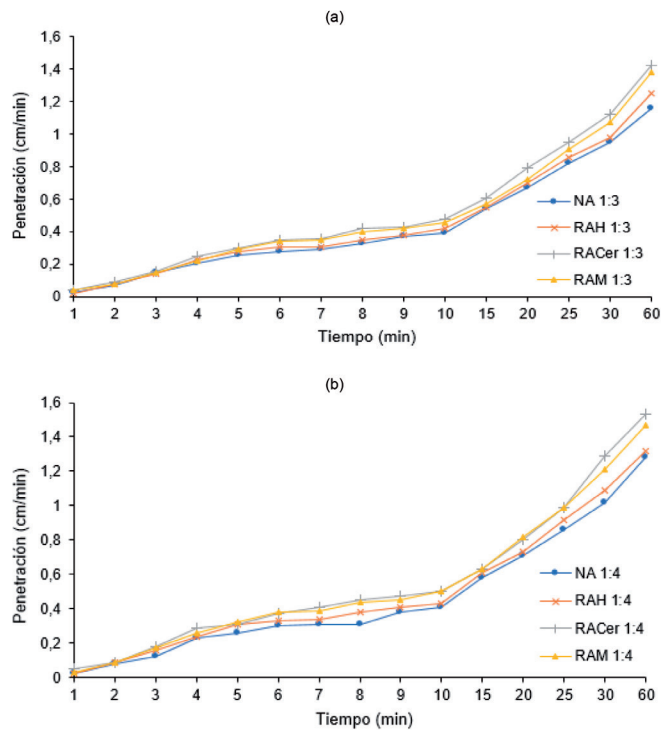


Figura 1: Ensayo de penetración al agua de lluvia para morteros con dosificación (a) 1:3 y (b) 1:4

a éste se encuentran los morteros elaborados con árido mixto. En cualquier caso, la penetración siempre es mayor en los morteros fabricados con áridos reciclados que en los morteros tradicionales, siendo superior cuando la relación es 1:4.

Un análisis similar se deriva de las Figuras 2(a) y 2(b), donde el contenido en humedad vuelve a ser superior en el caso de los morteros reciclados de árido cerámico con valores próximos al 16% para dosificaciones 1:4, siendo prácticamente el doble del valor obtenido para el mortero tradicional. Estos resultados obtenidos son derivados de la mayor absorción presente en los áridos

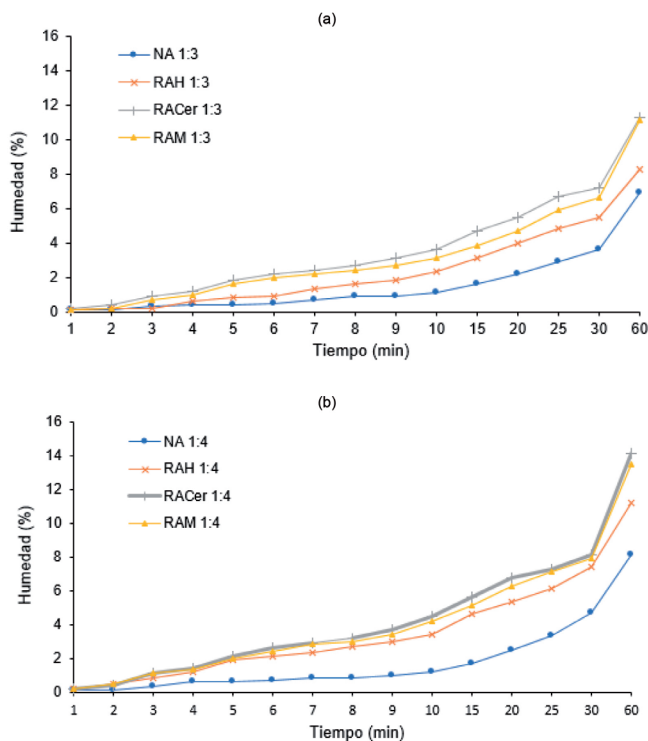


Figura 2(a): Determinación del contenido de humedad, dosificaciones (a) 1:3 y (b) 1:4.

reciclados, característica que provoca la mayor diferencia entre los morteros tradicionales y los elaborados con árido reciclado, de acuerdo con los resultados obtenidos [17-18].

En la Figura 3 se muestra la termografía de una de las placas correspondiente al mortero elaborado con árido mixto antes y después del ensayo, donde se puede apreciar la difusión del agua en su interior debido a la presión de la columna de agua y la porosidad del material.

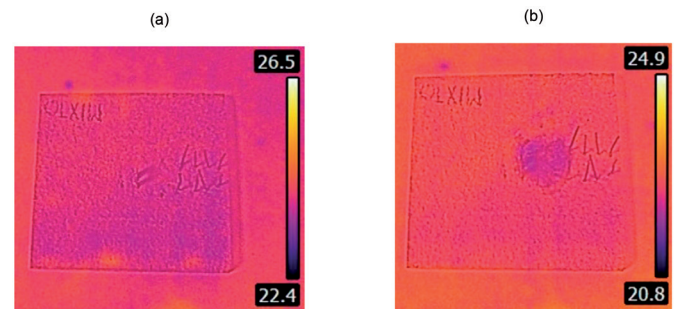


Figura 3: (a) Placa antes de ensayo Karsten. (b): Placa después de ensayo Karsten

### 3.3. ENSAYO DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

En la Tabla 4 se recogen los resultados del ensayo de permeabilidad al vapor de agua realizado según norma UNE-EN 1015-19 [19].

Como se puede observar en la Tabla 4, los valores de permeabilidad al vapor de agua para las amasadas que contienen árido reciclado son mayores respecto a las amasadas elaboradas con árido natural, teniendo la relación 1:3 menor permeabilidad que la 1:4. Esta característica es debida a la mayor compacidad y menor porosidad en las amasadas más ricas en cemento [20]. De entre todos, el árido reciclado de hormigón es el que mayor permeabilidad de vapor de agua ha tenido en dicho ensayo.

Esta mayor permeabilidad al vapor de agua presente en los morteros que incorporan árido reciclado facilitará la evacuación de agua condensada en su interior cuando las condiciones ambientales de presión y temperatura sean favorables. Así pues, dichos morteros evitarán con mayor efectividad la aparición de humedades en la lámina interior del muro de cerramiento que esté elaborado con ellos.

### 3.4. ENSAYOS MECÁNICOS

De cara a completar el estudio y caracterización de los morteros elaborados con árido reciclado se realizaron los ensayos de

Tipología	Resultado (kg/m · s · Pa)	Tipología	Resultado (kg/m · s · Pa)
M – NA – 1:3	2,82 x 10 <sup>-12</sup>	M – NA – 1:4	2,40 x 10 <sup>-12</sup>
M – RAH – 1:3	5,03 x 10 <sup>-12</sup>	M – RAH – 1:4	5,65 x 10 <sup>-12</sup>
M – RACer – 1:3	4,30 x 10 <sup>-12</sup>	M – RACer – 1:4	4,80 x 10 <sup>-12</sup>
M – RAM – 1:3	4,02 x 10 <sup>-12</sup>	M – RAM – 1:4	4,19 x 10 <sup>-12</sup>

Tabla 4: Ensayo de permeabilidad al vapor de agua

Ensayo (MPa)	Tipología de mortero							
	M – NA		M – RAH		M – RACer		M – RAM	
	1:3	1:4	1:3	1:4	1:3	1:4	1:3	1:4
Flexión	5,12	3,88	4,77	3,55	4,25	3,12	4,55	3,22
Compresión	20,65	14,22	17,82	9,95	14,21	9,23	14,33	9,20

Tabla 5. Resultados de los ensayos de flexión y compresión

flexión y compresión a 7 y 28 días de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-11 [21]. Las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con árido reciclado son en términos generales inferiores que las de sus homólogos elaborados con árido natural como se puede ver en la Tabla 5.

Así pues, se encontró que el mejor valor en cuanto a compresión o flexión se obtuvo en el mortero elaborado con árido natural, esto es debido a las propiedades de los áridos reciclados que requieren de una mayor demanda en la cantidad de agua de amasado y como consecuencia de ello, las capacidades mecánicas de los morteros elaborados con este tipo de áridos presentan unas pérdidas de resistencia de hasta el 20% en el caso de la flexión y un 35% para la compresión. Las amasadas que mejor comportamiento mecánico han ofrecido son las elaboradas con árido reciclado de hormigón debido a sus mejores propiedades mecánicas en comparación con el árido cerámico y mixto.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha analizado la influencia de la penetración del agua en los morteros de albañilería. Para ello se ha trabajado con dos dosificaciones y cuatro tipos de mortero, uno elaborado con árido natural y otros tres elaborados con árido reciclado. De la caracterización fisicoquímica se obtiene que áridos reciclados tienen una menor densidad y una mayor absorción que los áridos tradicionales siendo estas las principales diferencias entre ambos tipos de áridos. Así pues, los morteros tradicionales tienen una mayor densidad y una mayor compacidad, lo que se traduce en una menor porosidad que los morteros elaborados con árido reciclado.

Por otro lado, los coeficientes de absorción de agua por capilaridad obtenidos muestran un mayor ascenso por capilaridad en los morteros que incorporan áridos reciclados, siendo los morteros elaborados con reciclado cerámico los que presentan mayor absorción capilar. De la misma forma, esta tipología de morteros también presentan una mayor facilidad a la penetración al agua de lluvia y de la monitorización realizada a tiempo real mediante Arduino, se ha obtenido que los morteros elaborados con áridos reciclados cerámicos y áridos reciclados mixtos son los que mayores valores de penetración en el ensayo de tubo Karsten presentan. Ambos ensayos guardan relación con los soportes teóricos siendo mayor la difusión del agua en las superficies porosas que se generan en las dosificaciones con relación 1:4.

Por último, se ha evaluado la permeabilidad al vapor de agua, que es mayor para el caso de los morteros elaborados con árido reciclado frente a los morteros tradicionales obteniéndose los valores más elevados para el caso del árido reciclado de hormigón. Este hecho facilitará la evacuación del agua condensada intersticialmente y presentará un mejor comportamiento frente a la aparición de humedades en la lámina interior del muro.

La cantidad de árido empleado para cada amasada también resulta un parámetro fundamental para el entendimiento de los resultados obtenidos, siendo las dosificaciones 1:4 las que presentan una mayor facilidad a la penetración del agua en los diferentes ensayos realizados.

En términos de compresión y flexión, el comportamiento mecánico de los morteros elaborados con árido reciclado es inferior a los morteros de referencia. Sin embargo, los resultados obtenidos cumplen los requisitos de la normativa de referencia permitiendo un buen desempeño de ambas tipologías de amasadas tanto en trabajos de albañilería como en morteros para revocos y enlucidos.

#### REFERENCIAS

- [1] González Fraile, E. (2012). Galerías de ventilación para desecar las humedades en los zócalos de los monumentos. Papeles del Partal. Revista de Restauración Monumental, 5: 189-206.
- [2] Saiz, M. González, M. Fernández, F. Rodríguez, A. (2016). Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. Journal of Cleaner Production, 118, pp. 162-169, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.059>
- [3] Martín, M. Zamorano, M. Ruiz-Moyano, A. Valverde, I. (2011). Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Concrete Code EHE-08. Construction and Building Materials, 25, pp. 742-748. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.012>
- [4] García, S. López, L. Collado, A. (2012). Hygrothermal inspection to determine the "evaporation intensity factor (Fi)" in heritage buildings. Informes de la Construcción, 64, 69-78, <https://doi.org/10.3989/ic.11.073>
- [5] Gil, M.T. Lasheras, F. (2017). Ventilated air cavities for the control of rising damp in historical buildings. Functional analysis. Informes de la Construcción, 69, 548, octubre-diciembre, <https://doi.org/10.3989/id.55476>
- [6] Morón, C. Saiz, P. Ferrández, D. García-Fuentevilla, L. (2017). New System of Shrinkage Measurement through Cement Mortars Drying. Sensors, 17(3), 522, <https://doi.org/10.3390/s17030522>
- [7] UNE-EN 197-1. Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. 2000.
- [8] UNE-EN 933-1. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution e Sieving method. 2012.
- [9] UNE-EN 196-1. Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength. 2005
- [10] UNE-EN 1015-2. Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. 1998.
- [11] García Morales, S. (1995). Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.
- [12] UNE-EN 1015-18. Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. 2003.
- [13] RILEM. (1980). Water absorption under low pressure. Pipe method. Test nº II. 4, Tentative Recommendations. París.
- [14] Saiz Martínez, P. (2015). Utilización de arenas procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.
- [15] UNE-EN 13139. Aggregates for mortar. 2002.