



Universidad
de Navarra



**Tradición, versatilidad e innovación
en la cal: un material de excelencia**

VI Jornadas FICAL

Pamplona, 28-30 de mayo de 2018

Libro de Actas



Universidad
de Navarra



Tradición, versatilidad e innovación en la cal: un material de excelencia

VI Jornadas FICAL

Fórum Ibérico de la Cal

Libro de Actas

Livro de Atas

Editores:

José Ignacio Álvarez Galindo
José María Fernández Álvarez
Íñigo Navarro Blasco
Adrián Durán Benito
Rafael Sirera Bejarano

VI Jornadas FICAL – Fórum Ibérico de la Cal

Pamplona, 28-30 de mayo de 2018

La Organización de estas Jornadas se enmarca dentro de las actividades del Proyecto “Optimización de nuevos morteros de restauración de cal mediante combinaciones de aditivos y adiciones minerales puzolánicas” financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) con la signatura MAT2015-70728-P, y han contado con el patrocinio de Grupo Puma, Heidelberg Cement, Saint-Astier, Lhoist, Ancade, Gordillos y Unicmall.

Grupo de investigación MIMED

Departamento de Química

Facultad de Ciencias

<https://www.unav.edu/en/web/heritage-materials-environment/home>

mimed@unav.edu



© Servicio de Publicaciones

Universidad de Navarra

www.unav.edu

ISBN: 978-84-8081-604-5

URL: <http://hdl.handle.net/10171/52333>

Cubierta: Castillo de Marcilla, Navarra, restaurado por Institución Príncipe de Viana, que ha cedido la foto ©.

ÍNDICE

Presentación.....	1
La cal en arquitectura.....	5
Cal y arquitectura tradicional gallega.....	7
La cal en el patio tradicional canario.....	19
Revestimentos com base em cal em monumentos de interesse histórico e patrimonial: Exemplos do repositório DB-HERITAGE.....	27
La cal como elemento bioclimático en la arquitectura tradicional canaria	39
Aplicaciones diversas de la cal	51
Cales aéreas especiales para morteros: el ejemplo de morteros de relleno para túneles	53
Propiedades de la cal en pasta obtenida a partir del tratamiento de fosfoyesos de la industria de fertilizantes	64
Hormigones de cal: nuevos “viejos” materiales	76
Aplicaciones de la cal en la ingeniería civil	87
Características de los morteros de cal.....	97
Comportamiento de fábricas de piedra tomada con mortero de cal	99
A avaliação do comportamento hídrico de argamassas com base em cal: O efeito dos agregados na capacidade de proteção	106
Incidencia de los valores de consistencia de los morteros de cal de elaboración artesanal en su comportamiento en estado endurecido	118
Análise experimental do fluxo de humidade em argamassas de cal aérea	129
Características de materiales con base cal	141
Estudo de revestimentos à base de cal: uma abordagem integrada	143
Caracterización de los morteros históricos del puente de Trillo (Guadalajara) ...	166
Estuques Maneiristas de uma Igreja de Lisboa: Caracterização Material e Técnica	177
Metodología simplificada de identificación mediante MOP de las cales hidráulicas y los cementos naturales.....	188

Desafios atuais na análise e na replicabilidade de argamassas históricas à base de cal aérea	200
Cal en restauración / Nanocales y aditivos	213
Aditivos de origen natural: su influencia en la reactividad y propiedades de morteros de cal aérea e hidráulica	215
Estudio del comportamiento en estado endurecido de morteros de cal aérea con metacaolín y superplastificantes	228
Protocolos de intervención en la restauración del Edificio catalogado del Puerto de Barcelona	241
Morteros de relleno con base cal con adición puzolánica y diversos aditivos.....	251
Efecto del disolvente en la síntesis de nanocal	263
Cal como sustrato para incorporación de agentes fotocatalíticos	268
Hornos de cal.....	281
Tres hornos de cal en la isla de Gran Canaria. Tipologías y funcionamiento	283

Incidencia de los valores de consistencia de los morteros de cal de elaboración artesanal en su comportamiento en estado endurecido

Esther Ontiveros Ortega⁽¹⁾, Reyes Rodríguez García⁽²⁾, Ana González Serrano⁽³⁾

(1) Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Sevilla. España. esther.ontiveros@juntadeandalucia.es

(2) Departamento Construcciones Arquitectónicas I. ETSA. Sevilla. España. rgarcia@us.es

(3) Departamento Construcciones Arquitectónicas I. ETSA. Sevilla. España. gserrano@us.es

Resumen

La restauración de Bienes Culturales está demandado actualmente productos adecuados para su conservación. Los morteros de cal resultan ser uno de los materiales más adecuados, en base a su uso tradicional y su funcionalidad actual en restauración. Por otra parte la recuperación de las actividades de construcción tradicionales es uno de los aspectos de mayor interés para el diseño de estos productos, junto con su control de calidad. Las investigaciones de estos materiales han sido abundantes en las últimas décadas, aunque es necesario orientar los avances hacia aspectos que permitan correlacionar comportamientos macroscópicos, mucho de ellos recogidos en la normativa actualmente en vigor, con los procesos que tienen lugar a escala microscópica. Este trabajo se ha centrado fundamentalmente en la incidencia de los valores de consistencia de los morteros de cal tradicional en el comportamiento final del mortero y la importancia de su comportamiento como fluido. La plasticidad de los morteros de cal está relacionada con los valores de consistencia que adquiere el mortero en estado fresco y son muchos los factores que inciden según la bibliografía científica; se señala la importancia de las propiedades de la cal, que viene dada por la agregación o dispersión de las nanopartículas de portlandita en la suspensión acuosa y por otra parte por la granulometría de los agregados y composición entre otros. En este trabajo se pone de manifiesto la importancia de las dosificaciones, incidiendo especialmente en el contenido en agua de amasado.

Palabras clave: Cal; Mortero; Consistencia; Normas; Conservación; Patrimonio; Porosidad; Porosimetría de mercurio.

Introducción

La plasticidad de las pastas en estado fresco define la manejabilidad o trabajabilidad de los morteros en general, que viene dada por la consistencia de las mezclas. Los valores de consistencia se determinan mediante La mesa de sacudidas, según norma UNE-EN 1015-3:2000/A1, que establece tres tipos de consistencia: consistencia seca para valores mayores de 140 mm, consistencia plástica para valores entre 140 y 200 mm y finalmente blanda o fluida para valores mayores de 200mm (Olmo-Rodríguez, 1994). Para morteros de cal se aconseja valores entre 125-130 mm (Lawrence et al., 2006), 140 mm (Paiva et al., 2006), de 134 a 155 mm (Maravelaki et al., 2005), 140-200 mm (Jornet et al., 2010). Para morteros históricos algunos autores recomienda una consistencia de 170 mm (Lanas et al., 2004).

La plasticidad de la cal es una propiedad muy valorada y ha sido ampliamente estudiada (Rodríguez Navarro et al., 1998, Mascolo et al. 2010, Ruiz Agudo & Rodríguez Navarro 2010). Estos valores dependen del tipo de cal utilizada (Lawrence & Walter, 2008), que viene definida por las propiedades físicas de los cristales de portlandita, como tamaño de las partículas, (Rodríguez Navarro et al., 2005, Hansen et al., 2008, Klein et al., 2010) o carga eléctrica (potencial Z) (Arizzi et al., 2012, Ontiveros et al., 2017) y la energía superficial que adquieren las partículas de cal en suspensión tras su apagado (Ontiveros et al., 2017). Se destacan otros aspectos de intereres como el contenido en agua (Ashurst & Ashurs, 1989), relación cal/agua y tipo de agregados (composición y granulometría).

El contenido en agua de los morteros controla la porosidad total y distribución del tamaño de poro (Cazalla, 2000, Lanas & Álvarez, 2003). Se ha establecido una relación entre la densidad del mortero fresco y la capacidad de retención de agua de las pastas frescas, para menores densidades mayor retención de agua (Izaguirre, Lanas et al., 2009). Estos aspectos son de interés ya que tienen un papel esencial en su comportamiento en obra, al ser responsables de sus resistencias mecánicas, comportamiento hidrico y carbonatación o endurecimiento de los morteros de cal (Martys & Ferraris, 1997, Fernandes et al., 2005; Izaguirre, et al., 2009).

La densidad de los morteros en estado fresco es otro parámetro de interés; un mayor empaquetamiento de los agregados define unos valores mayores de consistencia, donde la granulometría de los agregados juega un papel importante. En una granulometría no continua el agua se introduce en los huecos y reducen la fluidez de la pasta y por otra parte si los agregados son mas redondeados (mayor área superficial) la fluidez aumenta porque reduce el rozamiento (Arizzi, 2012). Se ha constatado que el conglomerante es el principal factor responsable de la porosidad del mortero, sin incluir los agregados más porosos (Lanas & Álvarez, 2003, Lanas et al., 2004).

Todos estos aspectos inciden en la porosidad abierta y distribución del tamaño de poro que presenta el mortero (Arandigoyen & Álvarez, 2007) y tienen un efecto importante en el proceso de carbonatación o endurecimiento (Van Balen & Germert, 1994). En base a las investigaciones realizadas hasta el momento, se constata que la consistencia que presentan las pastas frescas es una propiedad macroscópica de interés; ya que nos puede dar información sobre el comportamiento que posteriormente tendrá del mortero, además de ser un aspecto fácilmente controlable en obra.

Con esta finalidad se ha llevado a cabo un estudio comparativo entre dos tipos de morteros predosificados de cal aérea de elaboración artesanal, en pasta (mSPL) para su aplicación en revocos (B) y enlucidos (F). Se han determinado el contenido en agua, densidad y consistencia de las pastas fresca y posteriormente se han controlado sus propiedades físicas sobre probetas normalizadas para ensayos en estado endurecido, durante un periodo de curado de 180 días: densidad, porosidad abierta y distribución del tamaño de poro. Ha sido objetivo de este trabajo poner de manifiesto como inciden los valores de consistencia de las pastas frescas en el comportamiento de los morteros endurecido.

Material y métodos

Materias primas utilizadas para la elaboración de los morteros

Se han analizado dos tipos de morteros, comercializados como productos pre-dosificados, elaborados con cal áerea en pasta CL-90S PL, (denominados mSPL). En función de su aplicación en obra, el fabricante ha diferenciado mortero Base, para su aplicación como revoco (B), y mortero fino, para su aplicación como enlucido (F). Las denominaciones de los morteros estudiados según el tipo de cal son: mSPLB y mSPLF.

La cal utilizada en la elaboración de estos morteros es de producción artesanal. Se trata de cales procedentes de la Comarca Morón de la Frontera, Sevilla (Spain) que comercializan estos productos en la actualidad con la denominación Gordillo's Cal de Morón, Sevilla, (España) (ver Figura 1). Su entorno, rico en recursos naturales, cuenta con las materias primas adecuadas para generar productos de calidad.



Figura. 1. Horno de producción artesanal, Morón de la Frontera, Sevilla.

Los datos de composición mineralógica de los morteros analizados (obtenida por difracción de rayos X, difractómetro D8I-90, Bruker) indican que en el mortero para revoco (mSPLB) los agregados son mayoritariamente de calcita y cuarzo y en el mortero para enlucido (mSPLF) mayoritariamente dolomíticos. Es de señalar el aporte de cal en el mSPLF en torno al 9%, y de 14% para mSPLB (14%). Las dosificaciones en peso: cal/agregados están en torno al 1:3 para mSPLF y una dosificación 1:2.5 para el mSPLB.

La distribución granulométrica de los agregados se muestra en la Figura 2, el tamaño máximo de grano en el mSPLF está en un rango < 1mm y para los SPLB < 2mm. Se señala el mSPLB con mayor porcentaje de partículas de tamaño comprendido entre 1-2 mm (30 %), lo que indica una granulometría menos continua.

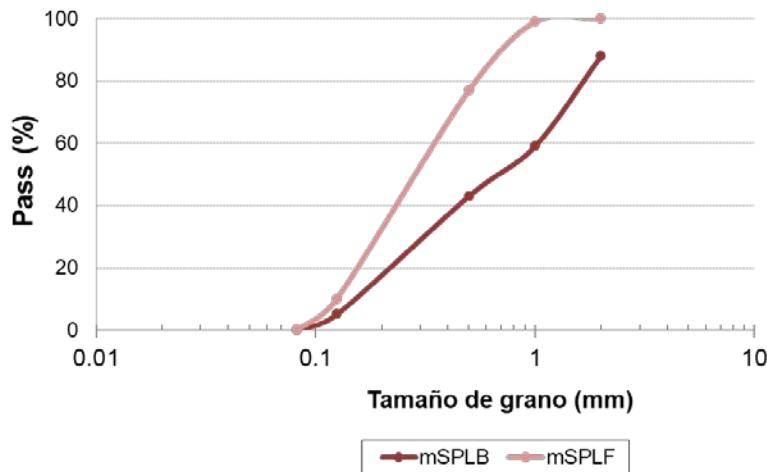


Figura 2. Granulometrías de los agregados utilizados en la elaboración de los morteros.

Procedimiento de elaboración de las probetas de ensayo

Los morteros utilizados en la fase experimental se preparan según las recomendaciones indicadas por el fabricante, el dato de cantidad de agua dosificada se muestra en la Tabla 1. Las probetas prismáticas ensayadas se elaboraron según las normas UNE-EN 1015-2/A1 y UNE-EN 1015-11/A1.

Los morteros se homogenizan con una batidora manual y a las pastas obtenidas se les determinó la consistencia de la masa fresca según la norma UNE-EN 1015-3/A1 y la densidad aparente de la mezcla según la norma UNE-EN 1015-6/A1. Los datos obtenidos se muestran también en la Tabla 1. Las probetas permanecieron en los moldes 5 días a 20°C y una HR de 95% y 2 días fuera del molde. Posteriormente se dejaron curar en el laboratorio a 20°C y una HR de 65%.

Los valores medios de consistencia se encuentran en el rango de valores establecido por la UNE-EN 1015-2/A1 y UNE-EN 1015-6:1999/A1 (175 mm ± 10mm. En base a los resultados, la consistencia de los morteros sería plástica (entre 140 a 200 mm) de acuerdo con el porcentaje de agua preestablecido por el fabricante. Es de señalar los mSPL con una consistencia más fluida.

Tabla 1. Propiedades de las pastas frescas

Morteros	Contenido agua (%)	Consistencia (mm)	Densidad (g/cm³)
mSPLB	17,5	172,8	3,02
mSPLF	17,0	166,0	3,02

Ensayos y técnicas de control.

Para la planificación de la fase experimental se ha seleccionado una serie de ensayos de control, de tipo físico, como densidad aparente y porosidad abierta. El control se ha llevado a cabo sobre un total de 36 probetas por tipo y a distintos tiempos de curado: 28, 90 y 180 días. Igualmente

se ha determinado los valores de porosidad al mercurio, distribución del tamaño de poro y área superficial específica por porometría de mercurio a los 90 y 180 días.

Resultados

Densidad aparente y porosidad abierta

Los datos de densidad aparente y porosidad al agua a distintos tiempos de control se muestran en la Tabla 2. Estos datos indican que los morteros elaborados con granulometrías más finas son más densos. Sin embargo la evolución de la densidad con el tiempo no sigue la misma tendencia, en los mSPLF la densidad disminuye progresivamente a partir de los 28 días a diferencia mSPLB que experimenta una reducción significativa de densidad a partir de los 180 días.

Los datos de porosidad abierta van del 21,4 al 22,5%. Los morteros con más porosidad inicial son los de revoco mB, con granulometrías más gruesas y contenido en agregados silíceos (Arandigoyen et al., 2005). La porosidad se reduce con el tiempo de curado, siguiendo la misma tendencia que la densidad aparente.

Los valores del volumen medio de intrusión de mercurio a baja presión indican que a los 90 días el mSPLB es el más macroporoso, pero a los 180 días su porosidad se reduce de forma significativa. Tendencia opuesta sigue el mSPLF, que incrementan su macroporosidad de forma importante a los 180 días. Estos datos de macroporosidad explica los valores medios de área superficial específica obtenidos, menores valores para el mSPLF a los 180 días, reflejando, además de una mayor proporción de macroporos, un mayor tamaño de poro (ver Figura 3).

Tabla 2. Datos de densidad aparente y porosidad abierta en los distintos morteros.

Morteros	Tiempo (días)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad abierta (%)
mSPLB	28	1,77	22,5
	90	1,78	21,9
	180	1,73	21,4
mSPLF	28	1,84	21,8
	90	1,72	21,4
	180	1,73	21,4

Propiedades superficiales y distribución de tamaño de poro

Los datos de volumen de intrusión de Hg (que se puede correlacionar con al volumen de poros abiertos), área superficial específica y tamaño medio de poro de los distintos morteros a los 90 y 180 días se indican en la Tabla 3 y 4 respectivamente.

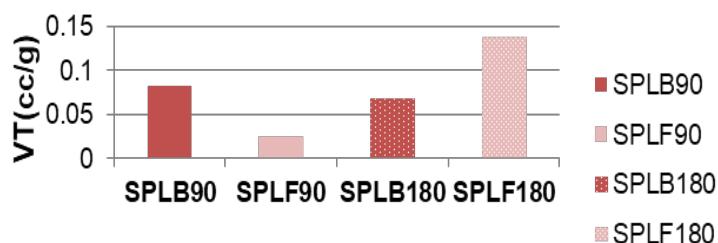
El espectro de porosidad medido está en el rango 6,5 a 0,005μm (dentro del dominio mayoritariamente macroporos y en menor proporción mesoporos según IUPAC y/o microporos según clasificación Choquette and Pray, 1970). En este trabajo se va a considerar poros

macroporos los de tamaño superior a 0,5 μm y microporos por debajo de este tamaño, en base al rango de poros establecido por esta técnica (a alta y alta presión).

Tabla 3. Propiedades físicas a los 90 y 180 días, obtenidas por porosimetría de Hg. V_T : Volumen medio de intrusión de Hg. AS_T : Área superficial media.

Morteros	Rango poro (μm)	V_T (cm^3/g)	DMP1 (μm)	AS_T (m^2/g)	DMP2 (μm)
SPLB90	6,5-0,5	0,0818	28	0,017	10,3
	0,5-0,0053	0,087	0,71	1,87	0,058
SPLF90	5,1– 0,5	0,024	87	0,0052	5,9
	4,21-0,0049	0,15	0,68	5,83	0,03
SPLB180	6,9-0,5	0,069	21,0	0,0161	10,1
	0,5-0,0053	0,088	0,93	4,16	0,00659
SPLF180	5,13-4,26	0,139	87,0	0,0086	5,9
	4,21-0,0049	0,14	1,19	7,15	0,00532

VT de macroporos



AS de macroporos

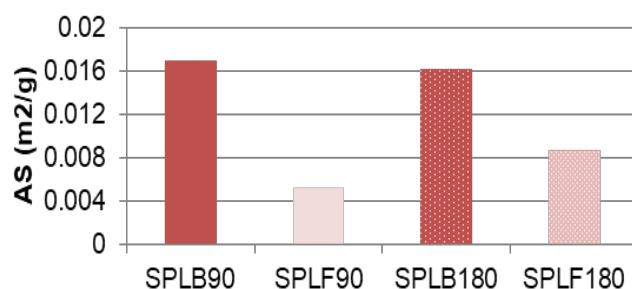


Figura. 3. Datos de volumen medio de intrusión de mercurio y área superficial específica media de los morteros a baja presión (90 y 180 días). VT: Volumen total de mercurio instruido. AS: Área Superficial específica.

En el rango de microporos, el mSPLF es el que presenta los valores más altos a los 90 días, con una sensible reducción de esta microporosidad a los 180 días. Por el contrario el mSPLB presenta valores más bajos que no se modifican de los 90 a 180 días. Estos datos también son coincidentes

con los valores de área superficial específica, mayor proporción de microporos para el mSPLF y una reducción sensible en el tamaño de poro con el tiempo (ver Figura 4).

Esto indica que la carbonatación de los morteros de cal en pasta se caracteriza por un incremento significativo en el contenido en macroporos y tamaño de poro (tamaño medio de poros de 87 μm) y una reducción sensible de la microporosidad y manteniendo el tamaño dominante de poro; características microtexturales observadas a los 90 días, como se puede ver en el mSPLF. Su estudio comparativo con el mSPLB indica que no sigue la misma evolución microtextural, el tamaño de poro se reduce con el tiempo (de 28 μm a los 90 días a 21 μm a los 180 días).

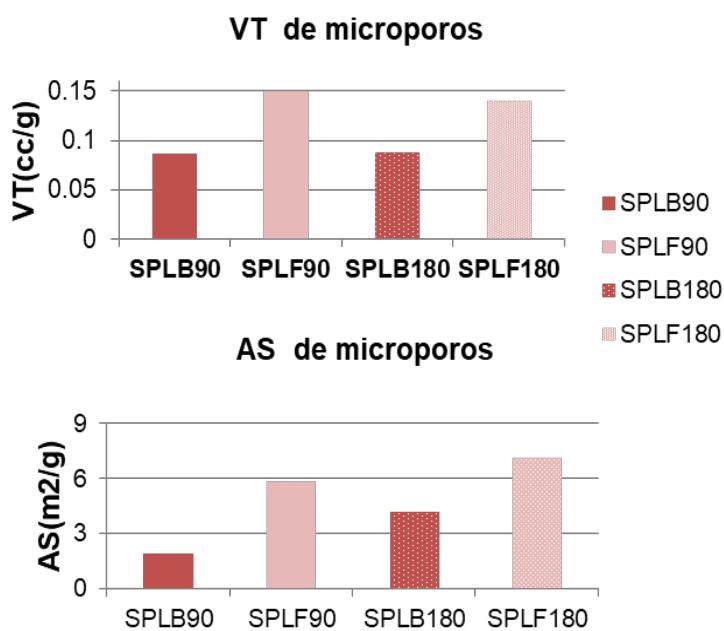


Figura. 4. Datos de volumen de mercurio instruido a alta presión y área superficial específica de los morteros a los 90 y 180 días. VT: Volumen total de mercurio instruido. AS: Área Superficial específica.

El espectro de porosidad del mSPLB y mSPLF se indica en la Figura 5 y 6 respectivamente. En base a los datos podemos decir que los morteros de cal en pasta siguen una tendencia bimodal, que viene definida por dos rangos de poro dominantes: un primer rango entre 0,1 y 5 μm y un segundo rango con poro de tamaño superior a 5 μm .

En el mSPLB este último rango viene definido por poros de tamaño comprendido entre 5 y 50 μm . La evolución que experimenta durante el tiempo de curado de los 90 a 180 días es mínima, con un incremento en el tamaño de poro de 1 a 5 μm y reducción en poros de tamaño mayor a 50 μm .

Se observa como la distribución del tamaño de los poros conserva la misma tendencia, con un escaso incremento de la porosidad a los 180 días. La tendencia es a un incremento en el rango de tamaños 0,5 μm y una reducción en rango <0,1 μm .

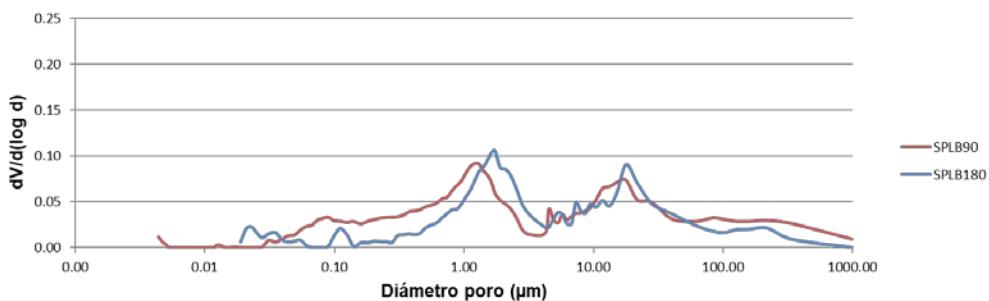


Figura 5. Distribución del tamaño de poro del mSPLB a 90 y 180 días de curado

La distribución del tamaño de poro del mSPLF se caracteriza por presentar un tamaño de poro predominante en torno a $5\mu\text{m}$ que aumenta a $7\mu\text{m}$ a los 180 días. Se destaca el rango de poros $0,1$ a $3\mu\text{m}$ que no se modifica con el tiempo y un incremento de poros $>100\mu\text{m}$. Se destaca la presencia de poros de tamaño $0,005\mu\text{m}$ a los 90 días y su desaparición a los 180 días, que se puede relacionar como porosidad intergranular entre partículas finas. Estos poros desaparecen a los 180 días debido al efecto de la interacción con el conglomerante primero, relleno y posterior cierre de poros por efecto de la carbonatación.

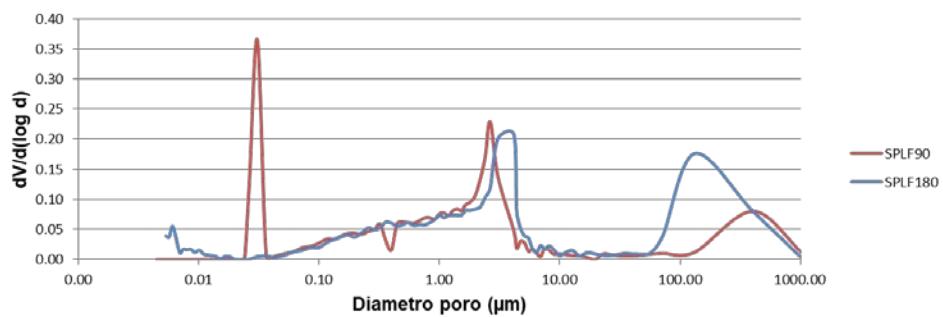


Figura 6. Distribución del tamaño de poro del SPLF a 90 y 180 días de curado

Discusión

El mortero mSPLB se caracteriza por una mayor dosificación en cal, una granulometría mas gruesa, distribución granulométrica mas discontinua y una consistencia en torno a 173mm. El resultado es una microtextura con una distribución de tamaño de tipo bimodal (propia de los morteros de cal en pasta) pero que no evoluciona de los 90 a 180 días hacia una mayor porosidad y mayor tamaño de poro como ocurre con el mSPLF.

El mortero mSPLF corresponde a un mortero de granulometría finas y continua, con unas dosificaciones que se adaptan a la relación 1:3 y valores de consistencia de 166mm. El resultado es un mortero con una distribución de tamaño de poro bimodal y que evoluciona microtexturalmente en el tiempo, hacia hacia poros de mayor tamaño con un rango predominante de $0,05$ a $3\mu\text{m}$, que no se modifica durante el proceso de carbonatación, e incremento de poros de mayor tamaño en el rango $0,5 \mu\text{m}$ y de 100 a $1000\mu\text{m}$. Esta microtextura porosa permite que en período de curado de 180 días el proceso de carbonatación sea progresivo y relativamente rápido.

Conclusiones

Este trabajo pone de manifiesto la calidad de los morteros de cal en pasta pero tambien la importancia del tipo de dosificación y su incidencia en la puesta en obra. El diseño de morteros de cal en pasta debe hacerse de forma controlada, dada su sensibilidad a modificaciones relacionadas con la dosificación en cal, agua y granulometría de los agregados. Estas dosificaciones inadecuadas se manifiestan por variaciones en la consistencia de las pasta preparadas para su aplicación, de utilidad para un control de calidad en obra. De igual manera se constata que valores de consistencia superiores a 170mm en morteros de cal en pasta pueden generar morteros que no carbonatan de forma adecuada por efecto del bloqueo de su sistema poroso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Grupo de investigación RNM349 de la Junta de Andalucía, proyecto: Normalización del uso de la cal para su aplicación en conservación de Bienes Culturales, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Junta de Andalucía. Agradecemos el apoyo a Gordillo's Cal de Morón SA y al Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universidad de Sevilla.

Bibliografía

- Arhurst & Arhurst (1989). *Mortars, plasters and renderings*, Southampto, Gower Technical Press edition de English Heritage Technical Handbook. Practical Building Conservation, vol.3.
- Arandigoyen M, Perez Bernal JL, Bello López MA, Alvarez JI (2005). *Lime-pastes with different kneading water: pore structure and capillary porosity*. Appl Surf Sci 252:1449–1459].
- M. Arandigoyen, J.I. Alvarez (2007). *Pore structure and mechanical properties of cement-lime mortars*. Cem. Concr. Res. 37 (5), 767-775.
- Arizzi A (2012). *Design of ready-to-use rendering mortars for use in restoration work*. ISBN: 978-84-15536-42-0, Ed. Copicentro Granada S.L., Granada, Spain.
- Arizzi, A., Hendrickx, R., Cultrone, G. and Van Balen, K. (2012). *Differences in the rheological properties of calcitic and dolomitic lime slurries: influence of particle characteristics and practical implications in lime-based mortar manufacturing*. Materiales de Construcción, 62(306) 231-250.
- Cazalla O (2002). *Morteros de cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico*. PhD Thesis, Universidad de Granada, Spain.
- Choquette, F. & Pray, LL. (1970). *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin, vol. 54, nº2, 207-250.
- Fernandes, V.; Silva, V.M. Ferreira, J.A. (2005). *Labrincha, Influence of the kneading water content in the behaviour of single-coat mortars*, Cem. Concr. Res., 35, 1900-1908.
- Hansen, E; Rodríguez-Navarro, C; and Van Balen, K. (2008). *Lime putties and mortars: insights into fundamental properties*. Studies in Conservation 53, no. 1 (2008), 9-23.

- Izaguirre, A.; Lanas, J y Álvarez" JI. (2009). *Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars*. Cement and Concrete, Research, Volume 39, Issue 11, November 2009, 1095-1104.
- Jornet, A.; Mosca, C.; Cacalle, G.; Correfog, G. (2010). *Comparasion betwwn traditional lime based and industrial, dry mortars*. 2 nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republi, 631-641.
- Klein, D.; Hogewoning, S; Schimdt, S.O.; Middendorf, B. (2010). *The influence of calcium hidroxide on the plasticity of lime putties*. En Válek, J.; Groot, C; Hughes, J.J eds, 211-218.
- Lana, J & Alvarez, J.I. (2003). *Masonry repair lime based mortars: factors affecting the mechanical behavior*. Cem. Concr. Res.33, 1867-1876
- Lanas, J, Perez Bernal, J.L, Bello López, M, A. and Álvarez Galindo, J,I (2004):*Mechanical Properties of Natural Hydraulic Lime-Based Mortars*. Cement & concrete composites. 2004. Vol. 34. Núm. 12, 2191-2201.
- Lawrence, R.M.H.; Walker, P. (2008). *The impact of the water/lime ratio on the structural characteriscs of lime mortars*, en D'AYALA, D. Fodde, E. eds, 885-889.
- Lawrence, R.M.H.; M Mays, T.J.; Walker, P.; Walker, P. (2006). *Determination of carbonation profiles in non-hidraulic lime mortars using thermogravimetric analysis*. Termochimica Acta, nº 444, 179-198.
- Martys, N.S. & Ferraris, C.F. (1997). *Capillary transport in mortars and concrete*, Cem. Concr. Res., 27 (5) 747-760.
- Mascolo, G. Mascolo, M.C. Vitale, A. (2010). *Microstructure evolution of lime putty upon ageing*. Journal of Crytal Growth, vol. 312, n 116-17, 2363-2368.
- Maravelaki-Kalaitzaki P, Bakolas A, Karatasios I, Kilikoglou V. *Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete*. Cem. Concr. Res. 2005; 35(8):1577-1586.
- Olmo Rodriguez, C (1994). *Los morteros. control de calidad*. Informes de la construcción, Vol. 46, nº 433, 57-73.
- Ontiveros Ortega E., Ontiveros Ortega A., Moleón Baca J. A., Ruiz Agudo E.M. *Electrokinetic and thermodynamic characterization of lime-water interface: physical and rheological properties of lime mortar*. Construction and Building Materials. 151, (2017), 809-818.
- Paiva, H; Ferreira, V.B; Labrincha, J.A. (2006). Effects of a water retaining agent on the rheological behavior of a single-coat render mortat., Cement and Concrete Research, nº 36, 1257-1262.
- Rodríguez-Navarro, C; Ruiz-Agudo, E; Ortega-Huertas, M and Hansen, E (2005). *Nanostructure and Irreversible Colloidal Behavior of Ca(OH)2: Implications in Cultural Heritage Conservation*. Langmuir 2005, 21, 10948-10957.
- Ruiz Agudo, E. Rodríguez Navarro, C. (2010) *Microstructure and rheology of lime putty*. Langmuir Vol. 26, pg. 3868-3877.
- UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).
- UNE-EN 1015-2:1999/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.

UNE-EN 1015-11:2000/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. . Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-10:2000 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.

UNE-EN 1015-3:2000/A1:2005 Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

UNE-EN 1015-6:1999/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.

Van Balen, K., D. Van Gemert, D. *Modelling lime mortar carbonation*, Mater. Struct., 27 (1994) 393-398.