

LA REVISTA

ARCOVE

Asociación para la Restauración y Conservación de Vidrieras de España

Nº 11 - abril 2026



ARCOVE
Asociación para la Restauración-Conservación de Vidrieras de España
www.arcove.org



ISSN: 2792-1743

Coordinación:

Sílvia Cañellas

Número 11

Abril 2026

Lugar de edición: Alicante

Entidad responsable: ARCOVE

Logotipo: Peke Toyas

Equipo técnico-científico:

Jonás Armas

Fernando Cortés

Núria Gil

Teresa Palomar

Paloma Somacarrera

ARCOVE no se identifica necesariamente con las opiniones y afirmaciones reflejadas en los distintos escritos publicados en esta revista y, por tanto, corre a cargo de los autores o las autoras, sean miembros o no de la asociación, la responsabilidad del contenido de sus textos y de las posibles reclamaciones por derechos de propiedad intelectual o de imagen.

Imagen de la cubierta y de la página final:

Detalle de la Vidriera de la Visitación de la Basílica de Nuestra Señora de la Caridad de El Cobre, Santiago de Cuba.

ARCOVE

Número
11

Índice

EDITORIAL.....	4
ENTRELUCES.....	5
LAS COMISIONES DE ARCOVE.....	10
CONVERSANDO con Patricia Berasaluce, por Sílvia CAÑELLAS.....	15
ARCOVIUM Histórico	
- Núria GIL FARRÉ <i>El vidriero Eugenio Robreño; de Barcelona a Caracas</i>	20
ARCOVIUM Técnico	
- Fernando CORTÉS PIZANO <i>El uso de morteros de cal en vidrieras y acristalamientos de protección</i>	37
ARCOVIUM Práctico	
- David Ernesto SÁNCHEZ PRIETO y Dasmián Omar SÁNCHEZ PRIETO <i>Restauración de dos vitrales de la Basílica de Nuestra Señora de la Caridad de El Cobre, Santiago de Cuba</i>	62
- RINCÓN DE ARCOVE - Nuevos socios.....	82
Beatriz Bauman.....	83
Rocío del Valle Mora Terán.....	84
Ana Belén Ortega Moreno.....	86
Julio Bernabé Miguel.....	87
RINCÓN DE ARCOVE - Fotografía, creación.....	89
- Ana Belén ORTEGA MORENO <i>Agar da de beber a Ismael (1563): reinterpretación contemporánea de rondel renacentista en vidrio pintado</i>	90
PASATIEMPOS.....	95
Lista de miembros de ARCOVE.....	97
RECORTES PUBLICITARIOS.....	101

ARCOVIUM: Técnico

El uso de morteros de cal en vidrieras y acristalamientos de protección

Resumen

Desde el origen del arte de la vidriera, los morteros de cal, por sus propiedades y características únicas, han sido y son un componente esencial para la fijación de los paneles a la mampostería del ventanal, sellándolos e impermeabilizándolos al paso del agua. El presente artículo trata sobre los morteros de cal tradicionales, sus componentes, aplicaciones, deterioro, eliminación y uso actual en la instalación de vidrieras.

Fernando Cortés Pizano,

Conservador y restaurador de
vidrieras y presidente de ARCOVE

Palabras clave:

vidrieras, morteros, cal,
arena, áridos, rejuntado,
sellantes

Keywords:

stained glass, lime, mortar,
sand, aggregates, pointing,
sealants

The use of lime mortars in stained glass and protective glazing

Summary

From the origins of the art of stained glass, lime mortars, due to their unique properties and characteristics, have been and continue to be an essential component for fixing the panels to the window masonry, while sealing and waterproofing against water penetration. This article discusses traditional lime mortars, their components, applications, deterioration, removal and current use in the installation of stained glass windows.

El uso de morteros de cal en vidrieras y acristalamientos de protección

Introducción

Durante siglos, los dos materiales principalmente utilizados para la fijación, sellado e impermeabilización de las vidrieras situadas en un ventanal de obra son los morteros y las masillas¹. El presente artículo se centra exclusivamente en el uso de los morteros tradicionales de cal en las vidrieras. Los morteros se utilizan tradicionalmente para sellar o rejuntar los paneles de las vidrieras en los ventanales de obra de un edificio, generalmente de piedra o ladrillo. El mortero se aplica a lo largo de todo el perímetro de los paneles, allí donde estos se insertan en el surco o canal labrado en el muro o aberturas del

1. Sobre el uso de masillas en las vidrieras ver: Cortés Pizano, F., “El uso de masillas en vidrieras”. ARCOVE La Revista número 9, abril de 2025, pp. 55-75.

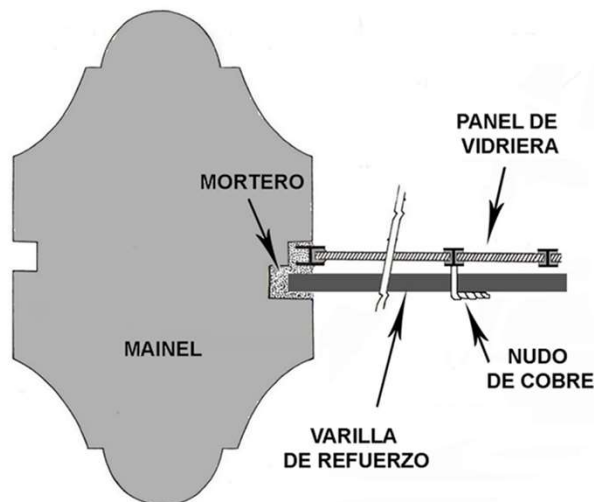


Fig. 1. Sistema tradicional de montaje de los paneles de vidriera y ubicación del mortero de sellado. Imagen: Fernando Cortés Pizano.

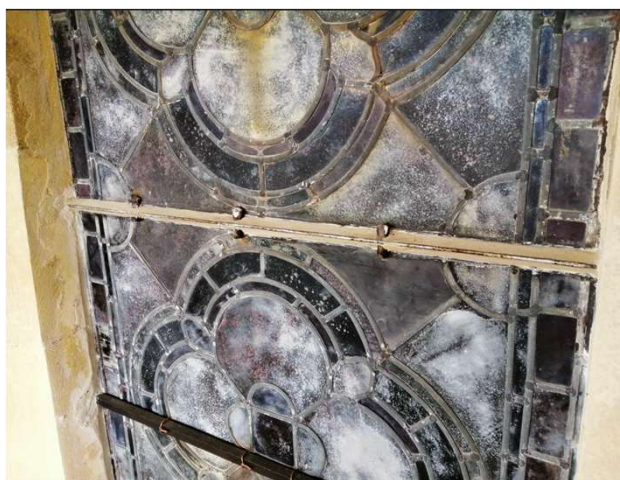


Fig. 2. Los dos materiales tradicionales de sellado de una vidriera: mortero (sobre ventanal de piedra o ladrillo) y masilla (sobre bastidores de metal o madera). Imagen: Fernando Cortés Pizano/Chapter of Canterbury Cathedral.

ventanal, como son los maineles o las tracerías y preferiblemente por ambas caras de panel. Una vez ha fraguado el mortero, su función es la de garantizar la sujeción de los paneles a la obra y la estanqueidad general de la vidriera (fig. 1 y 2).

1. Componentes principales de los morteros de cal

Por mortero entendemos un conglomerado constituido básicamente por un árido o agregado (arena), un ligante o conglomerante (cal, yeso o cemento), agua y, de forma opcional, algún aditivo, todo ello en proporciones adecuadas al trabajo que se vaya a realizar. Si bien los ingredientes mencionados son los más comunes para la elaboración de los morteros, es posible encontrar una

gran variedad de recetas y proporciones utilizadas por los vidrieros. Un buen mortero ha de permitir la permeabilidad del sustrato original y ser algo más blando que este para evitar su deterioro.

Los morteros de cemento, a pesar de haber sido ampliamente utilizados en vidrieras desde el siglo XIX, están totalmente desaconsejados para su uso en edificios históricos y, en particular, en vidrieras, de ahí que el presente artículo se centre exclusivamente en los morteros de cal². *El creciente reemplazo de los morteros de cemento por los de cal puede justificarse con los siguientes*

2. "...el cemento [...] presenta muchas más desventajas en su utilización para trabajos de restauración/rehabilitación, convirtiéndolo en un material muy poco aconsejable debido a: i) su alto contenido en sales; ii) la expansión que sufren los morteros de cemento, ya que su utilización puede deteriorar más la obra que se intenta restaurar que lo que lo estaba al inicio de dicha restauración; iii) las altas resistencias que puede ofrecer." Fuente: Lanás, J. y Álvarez, J.I. (2006), p. 2.

argumentos:

i) La cantidad de sales solubles aportada por el mortero de cal es mucho menor que la del cemento Portland. Esto evita daños importantes en el sistema conjunto piedra/mortero originados por ciclos de cristalización y/o hidratación.

ii) Los morteros de cal son más compatibles con los métodos de edificación y materiales antiguos desde los puntos de vista químico, estructural y mecánico.

iii) [...] compatibilidad tecnológica con los materiales antiguos, mayor en los morteros de cal que en los basados en cemento (con elevadas proporciones de conglomerante y de resistencia a la compresión).

iv) Los morteros de rejuntado de cal son capaces de mantener durante más tiempo

la estabilidad estructural de un edificio, pues en el caso de que se originen fracturas en el mortero, estas pueden subsanarse mediante un proceso de auto-sellado (relacionado con ciclos de disolución/reprecipitación de la calcita)³.

1.1. Áridos

Los áridos o agregados son cargas inertes que no reaccionan con el conglomerante y proporcionan texturas, acabados, grosor, estructura, elasticidad y volumen a la mezcla final. Los áridos son básicamente componentes silíceos, como las arenas de diferentes granulometrías. A menudo se utilizan también, de forma complementaria, otras cargas como polvo de piedra o de ladrillo refractario, marmolina, puzolana, etc., con la intención de alterar el color, la textura o propiedades del mortero. Generalmente

3. Fuente: Lanás, J. y Álvarez, J.I. (2006), p. 3.

es recomendable utilizar al menos dos tipos de arenas de diferentes granulometrías: una más fina y otra de grano algo más grueso, en proporción adecuada al trabajo que se vaya a realizar, para reducir la contracción del mortero, lograr una mayor consistencia, densidad y resistencia de este y un mejor agarre a la fábrica. Los tamaños de los áridos se clasifican, según su granulometría, en fino (< 1 mm), medio (entre 1 y 2 mm) y grueso (entre 2 y 5 mm)⁴.

Para la preparación de morteros de cal, generalmente es más fiable utilizar arena lavada y posteriormente secada. Si vamos a mezclar la arena y la cal por peso, es mejor usar arena seca, pero si usamos medidas por volumen, el hecho

4. Fuente: Esther Ontiveros Ortega, *Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: Metodología de estudio sobre morteros en edificios históricos (2ª parte). Morteros de intervención. Áridos*, en PH Boletín 39, pp. 81-95 (2002).

de que la arena contenga un cierto nivel de humedad natural no es tan relevante. En realidad, la humedad en la arena facilita una distribución más homogénea de la cal, mejora la trabajabilidad y aumenta la adhesión de la mezcla, permitiendo que la cal envuelva mejor las partículas de arena⁵.

1.2. Conglomerantes

Los conglomerantes o ligantes son aquellas sustancias que, finamente molidas, sirven, a través de una reacción química, para ligar o unir las diferentes partículas de la mezcla y garantizar la adherencia del mortero al sustrato sobre el que se va a aplicar. El conglomerante más recomendable en edificios históricos, y particularmente en las vidrieras,

5. Fuente: <https://www.celotech.com/es/news/how-to-make-mortar-stick-better/#:~:text=Las%20superficies%20secas%20dificultan%20la,mejora%20la%20adhesi%C3%B3n%20del%20mortero.>

está formado principalmente por cal (hidróxido de calcio). Por cal entendemos todo producto, sea cual fuere su composición y aspecto físico, que proceda de la calcinación de piedras calizas.

La cal se fabrica primero quemando tiza o piedra caliza para formar cal viva (óxido de calcio) y luego apagando la cal viva con agua (formando hidróxido de calcio). Esta cal puede ser usada inmediatamente, pasadas entre 24 y 48 horas o, preferiblemente, pasados unos meses, después de haberla dejado reposar. Si no hay arcilla presente en la piedra caliza o tiza, se dice que la cal resultante es «no hidráulica».

Existen dos tipos principales de morteros de cal según su mecanismo de fraguado: los morteros de cal hidráulica, que fraguan por hidrólisis (en contacto

con el agua), y los morteros de cal aérea (no hidráulica), que fraguan por carbonatación (absorbiendo dióxido de carbono del aire)⁶.

El proceso de carbonatación es mucho más lento que la reacción de hidrólisis. Las cales aéreas son aquellas que provienen de una caliza más pura y las cales hidráulicas las que lo hacen de calizas con impurezas naturales (aluminatos, silicatos, arcillas...)⁷.

6. *Fraguado, secado y curado de los morteros. Por fraguado entendemos el endurecimiento inicial de un mortero, cuando pierde plasticidad, proceso que comienza a las 2 horas y termina a las 8 horas; el secado es la evaporación del agua, lo cual puede durar varias semanas; y el curado es el proceso prolongado y crucial de mantener la humedad para que la cal desarrolle su resistencia máxima y durabilidad, lo cual puede llevar semanas o meses, permitiendo incluso la autocuración. El curado, el proceso más importante, mantiene el concreto húmedo para desarrollar resistencia durante al menos 7 días. Fuente: Fraguado, Curado y Secado <https://www.scribd.com/document/698927539/fraguado-curado-y-secado>*

7. *Tradicionalmente sólo existía la cal aérea. No fue hasta la llegada de la revolución industrial*

Tanto la cal hidráulica como la aérea pueden ser utilizadas para el trabajo en edificios históricos y en vidrieras y, en este sentido, es importante tener en cuenta que cada una de ellas presenta sus características y propiedades específicas y, por tanto, sus ventajas y desventajas. Generalmente, las cales hidráulicas se utilizan para trabajos de exterior, más expuestos o que soportan cargas debido a su resistencia y fraguan mejor en ambientes húmedos. Las cales aéreas, debido a la falta de propiedades hidráulicas, son más blandas, más transpirables y flexibles, lo que generalmente las hace ideales para interiores o para su uso en edificios históricos y fraguan mejor en ambientes secos. Dependiendo del uso que le queramos dar, puede ser más

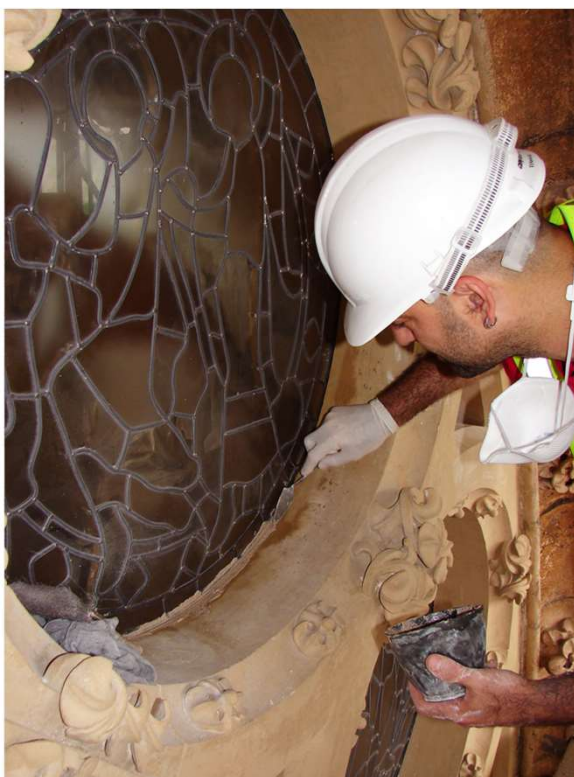
con los hornos de cocción a altas temperaturas (más de 1.500°C) que se consiguió calcinar el resto de impurezas de la roca caliza, consiguiendo la cal hidráulica. Fuente: <https://ecohabitar.org/cales-aereas/>.

recomendable el uso de la cal hidráulica natural NHL 2, que es parcialmente aérea, y es plástica como la aérea. En el apartado 2 veremos con mayor detalle las propiedades y características de estos dos tipos de cales.

1.3. Aditivos

A menudo se utilizan ciertos aditivos en los morteros con la finalidad de modificar sus propiedades, principalmente para alterar su color, acelerar su secado, aumentar su dureza o actuar como plastificantes. De los diferentes aditivos existentes, los más interesantes en nuestra profesión son probablemente aquellos destinados a alterar su color. El color final del mortero puede ser un factor muy importante a la hora de utilizarlo en un ventanal de ladrillo o de piedra con un tono particular. Un mortero demasiado blanco por el color de la cal puede

resultar excesivamente llamativo, por lo que es recomendable integrar el color del mortero al de la piedra o ladrillo en contacto con los paneles de la vidriera. Para ello se pueden utilizar tanto diferentes tipos de arenas como piedra o ladrillo triturado o molido (mejor que en polvo) (fig. 3).



Los pigmentos naturales son también frecuentemente utilizados como colorantes, en cuyo caso es preferible usar pigmentos de origen mineral y no orgánico, ya que son más resistentes al medio alcalino de la cal y no se degradan con los rayos UV. Estos pigmentos se han de usar con prudencia ya que, en ocasiones, tras su aplicación, pueden resultar excesivamente brillantes y su color puede verse alterado por la migración de partículas hacia la superficie o por causa de los agentes atmosféricos.



Fig. 3. Uso de arenas o pigmentos para alterar el color del mortero y adaptarlo al de la fábrica circundante. Imágen lado izquierdo: Mikel Bullen/Chapter of Lincoln Cathedral. Imágenes lado derecho: Holy Well Glass.

Según el tipo de arena que utilicemos, es posible alterar el color final del mortero, bien aumentando o reduciendo proporcionalmente su cantidad, o utilizando diferentes tipos de arenas. También es posible utilizar colorantes, como puzolanas o polvo de ladrillo rojo o amarillo, para integrar el color del mortero con el entorno del edificio. En todos estos casos y materiales, se han de realizar previamente distintas pruebas de color, teniendo en cuenta que, si bien el secado superficial del mortero ocurre entre 24 y 48 horas desde su aplicación, su color y tono definitivos no se manifiestan hasta pasadas una o dos semanas.

Tradicionalmente se ha añadido a los morteros una gran variedad de partículas o agregados porosos tales como polvo de piedra caliza o de ladrillo, conchas de mar trituradas o fibras de refuerzo, con el propósito de aumentar su flexibilidad,

elasticidad, durabilidad y resistencia a la tracción, permeabilidad y mejora del fraguado, a la vez que le confieren un color determinado.

El uso de piedra caliza triturada en morteros de cal, como árido fino de relleno, es utilizado a menudo para mejorar su resistencia mecánica, plasticidad, trabajabilidad y durabilidad, así como para alterar el color y la textura de la mezcla. En el caso de utilizar polvo de piedra, ha de hacerse en sustitución de una pequeña parte de los áridos y no de la cal. Hay que tener cuidado, sin embargo, con un uso excesivo de polvo de piedra en la mezcla, ya que este puede aumentar el riesgo de contracción, agrietamiento, fisuras y desprendimientos del mortero. Una proporción de polvo de piedra de 0.5 partes en un mortero de 3:1 (agregados:cal) es relativamente frecuente.

En el caso de las fibras, estas eran a menudo añadidas a los morteros para evitar el craquelado natural por encogimiento que se produce durante la evaporación del agua. Entre estas fibras podemos destacar las de pelo animal (caballo -mejor del cuerpo y no de la crin o la cola-, burro, buey, cabra, vaca, etc.), o las de origen vegetal, como la estopa, paja, cáñamo, lino, arpillera, etc. Entre los años treinta y ochenta del siglo XX fue relativamente común el añadido de fibras de amianto a los morteros. En caso de sospechar de su presencia hemos de extremar las precauciones durante la extracción de los paneles, mediante el uso de máscara respiratoria y equipo de protección facial y corporal. En la actualidad existen también fibras sintéticas como las de polipropileno que en ocasiones son añadidas a los morteros.

En el campo de las vidrieras, sin embargo, no es nada frecuente en la actualidad el añadido de fibras en los morteros de cal utilizados.

Por lo que respecta al uso de aditivos para acelerar la velocidad de secado (hidratación) del mortero y aumentar su durabilidad, en ocasiones se utilizan pequeñas cantidades de puzolana, cemento blanco o yeso. Sin embargo, los morteros que contengan cemento Portland, ya sea el gris o el blanco, no son nada recomendables en edificios históricos y menos todavía para rejuntar vidrieras, dada su poca permeabilidad, excesiva dureza y adhesión el vidrio y por tanto su difícil eliminación posterior. Otros aditivos aceleradores, como el formiato de calcio, cloruro de calcio o aditivos líquidos comerciales tampoco son usados en los morteros para vidrieras.

2. Cal hidráulica versus cal no hidráulica (aérea)

A la hora de elegir un mortero, necesitamos conocer su comportamiento y durabilidad. Dado que tanto la cal hidráulica como la no hidráulica pueden ser utilizadas en vidrieras, veremos a continuación las características y propiedades de ambas, con el fin de ayudarnos a elegir el mejor tipo de mortero para cada situación.

2.1. Cal aérea (no hidráulica)

Proceso de obtención

La piedra caliza pura o la tiza se queman en un horno para producir óxido de calcio, también conocido como cal viva. A continuación, se añade agua a la cal viva (apagado) para crear hidróxido de calcio.

Fraguado

La cal aérea endurece muy lentamente al absorber dióxido de carbono (CO_2) del aire, proceso conocido como *carbonatación*. Esta cal requiere condiciones atmosféricas específicas para fraguar, es más tolerante al movimiento y la expansión, lo que da lugar a una mayor contracción y agrietamiento que los morteros de cal hidráulica. Este tipo de cal puede adaptarse a la contracción y expansión naturales de los materiales sin romperse.

Tipos de cal no hidráulica

Existen principalmente dos tipos de morteros de cal no hidráulicos: el mortero de cal en pasta y el mortero de cal viva o caliente. Ambos endurecen por carbonatación, pero las propiedades de la cal caliente se ven influidas por el

calor y la unión más fina y estrecha que se produce entre la cal y la arena. La cal en pasta es el resultado de apagar o hidratar la cal viva y luego dejarla madurar durante meses o incluso años. La cal viva, por su parte, produce una mezcla más manejable que se puede utilizar inmediatamente, mientras aún está caliente.

Trabajabilidad

La cal aérea en pasta requiere un largo periodo de envejecimiento para alcanzar su característica consistencia suave y cremosa. La cal mezclada en caliente es un método inmediato para crear un mortero de alta calidad, mientras que la cal en pasta es un producto preapagado y madurado. La cal en pasta es frecuentemente utilizada en los morteros para vidrieras, dado que puede ser preparada semanas o meses antes de

su aplicación y tiene una vida útil prácticamente ilimitada, en contraste con la cal hidráulica, que ha de ser usada durante las horas siguientes a haber sido preparada.

Características

El mortero de cal aérea es más poroso, transpirable, suave y flexible que el mortero de cal hidráulica. Por lo general, se presenta en forma de pasta, en lugar de polvo seco, lo que le confiere una textura «grasa» y un mejor rendimiento tras una maduración adecuada. Los morteros de cal no hidráulicos tienen una peor resistencia al congelamiento y descongelamiento que los morteros de cal hidráulicos.

Conservación y vida útil

Una vez mezclada la cal con la arena, el mortero de cal aérea puede almacenarse y utilizarse durante un periodo

indefinido, siempre y cuando esté envasado y sellado herméticamente. Antes de su uso, el mortero ha de ser mezclado adecuadamente para recuperar su trabajabilidad.

Aplicaciones

Los morteros de cal aérea se utilizan para acabados interiores, yesos, enlucidos y edificios históricos, donde su flexibilidad puede adaptarse a movimientos estructurales sutiles.

2.2. Cal hidráulica

Proceso de obtención

La cal hidráulica es obtenida por calcinación de piedras calizas (CaCO_3) que contengan impurezas naturales (un 25% aproximadamente) tales como arcillas, aluminatos o silicatos, las cuales le otorgan una mayor resistencia. Tras el fraguado esta cal dará aluminatos, silicatos y ferratos de cal.

Fraguado.

Los morteros de cal hidráulica fraguan por hidrólisis (reacción química con el agua), formando silicatos y aluminatos de calcio (a partir de las impurezas de la piedra caliza) que permiten que fragüen tanto al aire como bajo el agua. Los morteros de cal hidráulica son menos tolerantes al movimiento y la expansión y fraguan más rápido que los morteros de cal no hidráulica, lo que da como resultado una menor contracción y agrietamiento que estos.

Tipos de cal hidráulica.

Existen principalmente tres tipos de cal hidráulica: la cal hidráulica natural (NHL), la cal hidráulica artificial (AHL) y la cal hidráulica formulada (FHL). La NHL obtiene sus propiedades hidráulicas de las arcillas naturales presentes en la piedra caliza, mientras que las cal AHL y

FHL se vuelven hidráulicas mediante la adición de materiales puzolánicos como cemento Portland, cenizas volantes o cenizas volcánicas durante el proceso de fabricación para mejorar el fraguado y la resistencia. De estas tres, es generalmente la NHL la más frecuente para su uso en vidrieras. Existen tres tipos de cal hidráulica natural: NHL 2, NHL 3.5 y NHL 5. Cada grado NHL indica su resistencia a la compresión en megapascuales (MPa) y los distintos grados de hidraulicidad (capacidad para fraguar bajo el agua), lo que significa que fraguan a diferentes velocidades y tienen diferentes resistencias. En el caso de optar por una cal hidráulica para la instalación de una vidriera, es preferible utilizar la NHL 2, con la cual se obtiene un mortero más blando o, en situaciones excepcionales, la NHL 3.5. La NHL 5 produce morteros

mucho más duros y no debería ser utilizada para el trabajo en vidrieras.

Características.

La cal hidráulica se presenta en forma de polvo seco y los morteros resultantes son más resistentes y duraderos, a la vez que menos porosos y transpirables que los morteros no hidráulicos.

Conservación y vida útil.

La cal hidráulica envasada puede tener una vida útil de unos 12 meses si se mantiene seca y sellada. Una vez abiertas, las bolsas deben utilizarse inmediatamente o volver a sellarse para que queden herméticas. Una vez mezclada la cal con agua, el mortero se puede trabajar durante varias horas o hasta uno o dos días, pero para obtener los mejores resultados debe utilizarse

dentro de las primeras horas. El mortero de cal hidráulica tiene una mejor resistencia al congelamiento y descongelamiento que el mortero de cal no hidráulica y, en este sentido, el NHL 3.5 es mejor que el NHL 2.

Aplicaciones.

Los morteros de cal hidráulica se utilizan en zonas exteriores o más expuestas o estructurales, donde se necesita un fraguado más rápido y una mayor resistencia, dureza y adherencia. Los morteros de cal hidráulica ganan resistencia gradualmente durante un período más largo y, a veces, tardan varios años en alcanzar su resistencia máxima.

TABLA COMPARATIVA

	MORTEROS HIDRÁULICOS	MORTEROS NO HIDRÁULICOS
También conocidos como	NHL (Mortero de cal hidráulica Natural)	Aéreo
Principales tipos	NHL 2, NHL 3.5 y NHL 5	Pasta de cal o mortero caliente
Mecanismo de fraguado	Hidrólisis (reacción con agua)	Carbonatación (reacción con CO ₂)
Velocidad de fraguado	Fraguado más rápido	Fraguado más lento
Tolerancia al movimiento	Menor tolerancia al movimiento	Mayor tolerancia al movimiento
Encogimiento y pérdida de volumen	Menor encogimiento y pérdida de volumen	Mayor encogimiento y pérdida de volumen
Agrietamiento durante el fraguado	Menor tendencia al agrietamiento	Mayor tendencia al agrietamiento
Porosidad	Menor porosidad	Mayor porosidad
Fuerza y resistencia mecánica	Más fuerte y resistente	Más blando y débil
Flexibilidad y rigidez	Menor flexibilidad y mayor rigidez	Mayor flexibilidad y elasticidad
Durabilidad	Mayor durabilidad	Menor durabilidad
Permeabilidad y transpirabilidad	Menor permeabilidad y transpirabilidad	Mayor permeabilidad y transpirabilidad
Resistencia a la congelación y descongelación durante el fraguado	Mejor resistencia a la congelación-descongelación	Peor resistencia a la congelación-descongelación
Forma de suministro	Polvo seco (es necesario añadir agua)	Pasta (no es necesario añadir agua)
Vida útil antes de ser abierto y mezclado	Entre 6 y 12 meses	Periodo indefinido (mientras esté bien sellado)
Vida útil una vez mezclado	24 horas máximo	Periodo indefinido (mientras esté bien sellado)
Causticidad (en su forma húmeda)	Ligeramente menos cáustico (pH 12)	Ligeramente más cáustico (pH 12.6)
Aplicación	Uso externo y en zonas más expuestas o estructurales	Acabados internos, enlucidos, enfoscados, rejuntados
Proporción recomendada de mezcla	3:1 o 3.5:1 (agregados/cal) + agua	3:1 o 3.5:1 (agregados/cal)

3. Proporciones y preparación de los morteros de cal

*Las propiedades del material [mortero] varían según la dosificación agua/arena/ligante, de la granulometría y composición del árido y del tipo de ligante*⁸. En líneas generales, la proporción de mezcla más común de los distintos componentes de un mortero de cal es de 3 partes de agregados y 1 parte de cal (3:1) en volumen⁹, más agua (generalmente entre el 8 y el 10 % del

8. Gisbert Aguilar, J., Mateos Royo, I., y Ander Somovilla de Miguel, I. (febrero de 2011), pp. 17.

9. Si bien, generalmente, las proporciones de uso de los distintos componentes de un mortero suelen expresarse en volumen y no en peso, esta elección no está libre de impresiones dada la gran variedad de parámetros presentes. En palabras de Rosell i Amigó, J.R.: "...el asunto de las dosificaciones no acaba en la discusión, peso, volumen, volumen aparente o porcentajes, ya que si no se especifica claramente qué componentes forman la mezcla, esta da unos resultados completamente distintos. Así la cal, por ejemplo, puede ser cal apagada en polvo (aérea o hidráulica) o cal en pasta, lo que conlleva diferencias en cuanto a densidades y, por lo tanto, en pesos y volúmenes. Evidentemente, esto complica suficientemente el asunto pero, si las características del árido tampoco se definen previamente, podemos encontrarnos con compacidades diversas debidas a las

volumen total), hasta obtener la consistencia adecuada. En este punto hemos de recordar que no es necesario añadir agua a los morteros no hidráulicos.

Estas proporciones pueden ser ligeramente alteradas en función del tipo de trabajo que vayamos a realizar. Así por ejemplo una mezcla de 4:1 producirá un mortero más blando, mientras que un 2:1 resultará en un mortero más duro. En este sentido, en construcción es frecuente usar proporciones de cal/arena respectivamente de 1:1 para enlucidos, 1:2 para revoques, 1:3 para muros de ladrillo y 1:4 para muros de mampostería.

Por lo que respecta a los áridos, es siempre recomendable, como ya hemos mencionado, usar agregados de diferentes tamaños, por ejemplo, un 25 % de arena blanda y un 75 % de arena gruesa.

distintas distribuciones granulométricas y a la forma de los áridos." Fuente: Rosell i Amigó, J.R. (2012), p. 12.

Siempre es posible aumentar o reducir ligeramente la cantidad de arena o de cal, siempre y cuando tengamos en cuenta que cuanto más elevada sea la cantidad de arena, en relación a la cal, más blando será el mortero, más tiempo tardará en secar, menos adherencia tendrá al muro y más fácil será por tanto la futura extracción de los paneles de la vidriera; por el contrario, cuanto más cal usemos, en relación a la arena, más duro será el mortero, más rápido secará y por lo tanto podrá agrietarse y cuartearse más fácilmente debido a su retracción o tendencia natural a contraerse durante el proceso de evaporación del agua.

Así, por ejemplo, para un primer relleno de surcos profundos en los ventanales de las vidrieras sería aconsejable una mayor cantidad de arena gruesa e incluso el uso de fragmentos de ladrillo o piedra como

material de relleno, mientras que para el rejuntado final sería preferible una mayor cantidad de arena fina. Para el rejuntado de vidrieras a fábrica se han de evitar los morteros que contienen exclusivamente agregados muy finos (entre 0,15 y 1,18 mm).

En cualquier caso, durante todo proceso de rejuntado de una vidriera, es importante mantener idénticas las proporciones de los diferentes componentes del mortero, así como mezclarlos muy bien para evitar posibles cambios de color, textura o dureza después del fraguado.

Como vimos más arriba, solo los morteros hidráulicos necesitan de agua para su endurecimiento y han de ser utilizados durante las siguientes horas a su preparación, mientras que los morteros aéreos endurecen por contacto con el aire y pueden conservarse durante meses. El agua utilizada ha de ser limpia, esto es sin

contenido de sales, aceites o materias orgánicas o muy mineralizadas. Se han de evitar las aguas demasiado puras o las aguas contaminadas. La consistencia de la masa de mortero ha de ser la adecuada para el trabajo que estemos realizando, ni demasiado líquida ni demasiado espesa, por lo que es importante ir añadiendo el agua poco a poco.

La velocidad de endurecimiento de un mortero de cal está directamente relacionada con varios factores, como el tipo de cal (aérea o hidráulica) y las condiciones ambientales (humedad, temperatura, viento, etc.). Como ya hemos visto, este proceso es más lento en el caso de la cal aérea que en la hidráulica. Cuanto más rápido se produce el proceso de secado, mayor es la posibilidad de formación de grietas. En este sentido, en un día muy caluroso, con el sol incidiendo directamente sobre la vidriera, el mortero secará

mucho más rápidamente que en un día frío y húmedo y trabajando en una zona resguardada y en la sombra. Igualmente, en días en los que las temperaturas puedan bajar de 0 °C, se ha de evitar el uso de morteros. Hemos de recordar que un mortero será siempre mejor cuanto más lento sea el proceso de secado y fraguado. Es importante por tanto intentar ralentizar este proceso para evitar la formación de grietas, bien hidratando regularmente la zona donde se ha aplicado el mortero o bien protegiéndolo mediante una tela arpillera húmeda o similar.

Si bien no es el objetivo de este artículo, es importante mencionar que, aparte de los morteros de cal, existen otros tipos de morteros que han sido utilizados para el trabajo en vidrieras a lo largo de la historia. Ya desde antiguo era frecuente el uso de los llamados morteros

bastardos (o mixtos), que son aquellos que utilizan, aparte de arena y agua, dos aglomerantes diferentes, como cal y yeso o, desde el siglo XIX, cemento y cal. Al menos desde el siglo XVIII existe constancia del uso de morteros naturales preparados con aceite de linaza, bien mezclado con arena o con carbonato de calcio natural (creta) y un secativo (generalmente con base de plomo). Asimismo, desde el siglo XIX fue muy frecuente el uso de morteros de cemento, los cuales, como ya hemos comentado, no deben ser utilizados en la restauración de edificios históricos por ser demasiado rígidos, impermeables y fuertes, lo que causa daños irreversibles en los materiales de la fábrica y de la vidriera, no transpiran, retienen humedad y alteran la estética original del edificio. Asimismo, a partir del siglo XX se han utilizado ocasionalmente otros materiales sintéticos alternativos como sustitutos de los morteros

tradicionales de cal, como las masillas de butilo, las siliconas, las espumas de poliuretano, elastómeros como el thiokol® (caucho de polisulfuro), etc. Algunos de estos últimos morteros sintéticos pueden ser más baratos y fáci-

les de aplicar con pistolas, pero dado el desconocimiento existente sobre su comportamiento a largo plazo (elasticidad, envejecimiento, atracción de humedad, reversibilidad, influencia sobre el vidrio y la piedra, etc.), desaconsejamos su uso.

Recomendaciones generales para la preparación de morteros de cal

- Antes de empezar a trabajar hay que asegurarse de utilizar los equipos de protección individual (EPI) adecuados: gafas herméticas, guantes impermeables (resistentes a álcalis), ropa de manga larga y mascarilla antipolvo.
- Mezclar todos los componentes en una cubeta o tablero de madera.
- Añadir primero la arena y el polvo de piedra y mezclarlos bien; al añadir la arena, mantener cada medida separada, de modo que se puedan contar y evitar errores.
- Añadir a continuación la cal y mezclar bien con los áridos.
- En el caso de los morteros hidráulicos, se añade el agua al final, poco a poco y mezclando bien todos los componentes hasta conseguir la consistencia adecuada, ni demasiado líquida ni demasiado espesa.
- Trabajar en pequeñas cantidades, ya que las cantidades mayores son más difíciles de mezclar (a menos que se trabaje con una mezcladora eléctrica) y hay más posibilidades de cometer errores.
- Es recomendable realizar pruebas con diferentes tipos y proporciones de arenas y dejarlas secar completamente para poder evaluar su tono color final, así como la posible retracción o pérdida de volumen al fraguar.
- Limpiar bien todos los recipientes y herramientas después de su uso.

4. Aplicación de los morteros de cal

Los morteros de cal utilizados para el rejuntado de los paneles de las vidrieras al muro, al igual que las masillas utilizadas entre el vidrio y los plomos, son materiales de sacrificio que sirven una función práctica muy clara y tienen una expectativa de vida limitada, y son por tanto eliminados y sustituidos con cada nuevo desmontaje de la vidriera. Al igual que sucede con las masillas, son muy escasos los estudios específicos existentes al respecto. En este sentido, el uso de morteros en vidrieras difiere sustancialmente de otros campos de la restauración, en el sentido que el mortero nuevo utilizado no ha de adaptarse en tono, color, composición o textura a un mortero anterior todavía presente. Los requisitos del nuevo mortero son sencillamente que cumpla de la mejor manera posible con la tarea asignada.

El proceso de aplicación del mortero para el rejuntado de los paneles es, a grandes rasgos, el descrito a continuación. El surco o canal de la piedra debe estar bien limpio de polvo y, especialmente, de restos de mortero antiguo antes de insertar en él los paneles de la vidriera. Una vez los paneles han sido introducidos en el surco, las varillas de refuerzo colocadas en su sitio y los nudos cerrados, es necesario asegurarse de que los paneles están totalmente fijos en su posición final y no se van a mover durante el proceso de rejuntado y fraguado del mortero (al menos durante las próximas 24 horas). De no ser así, hemos de fijarlos adecuadamente, insertando en el surco pequeñas cuñas de diversos materiales como lana de plomo, madera, plástico o incluso cinta de aluminio adhesiva. Es

muy recomendable, de ser posible, el rejuntar cada panel simultáneamente por ambas caras (una persona a cada lado de la vidriera), para así facilitar que el mortero fragüe a la misma velocidad por ambas caras (fig. 4).



51

Fig. 4. Operaciones previas al proceso de rejuntado de paneles de vidriera con mortero: fijar los paneles y las varillas de refuerzo mediante cuñas de lana de plomo, cinta de aluminio adhesiva, madera, plástico, etc. Imágenes lado izquierdo: Fernando Cortés Pizano. Imágenes lado derecho: Wikidata (superior) y Wikipedia (inferior).

Antes de empezar a rejuntar los paneles de la vidriera se debe proteger la base de la misma, así como el mobiliario circundante. A continuación, se ha de humedecer bien el surco de obra con agua, bien mediante un pulverizador o con una brocha, para así facilitar la adherencia del mortero a la piedra, ralentizar el proceso de secado y evitar que se cuartee. Como hemos comentado anteriormente, es muy importante que el proceso de secado se produzca de forma lenta, por lo que es necesario seguir humedeciendo el mortero de forma regular durante todo este proceso, e incluso una vez hemos concluido su aplicación. Dependiendo del tipo de cal, la humedad, la temperatura y el grosor de la aplicación, el fraguado o secado inicial de un mortero de cal tarda entre 24 y

72 horas, mientras que un fraguado completo puede durar varias semanas o incluso meses (fig. 5).

Una pequeña cantidad de mortero se decanta sobre una paleta de madera

con mango (conocida como esparavel) o en un cuenco de caucho, la cual se va reponiendo según se vaya usando. Para la aplicación del mortero se utilizan generalmente distintas herra-



Fig. 5. Operaciones previas al proceso de rejuntado con mortero de los paneles de una vidriera: proteger la base de la vidriera por ambas caras y humedecer con agua las zonas donde se va a aplicar el mortero. Imágenes: Fernando Cortés Pizano/Chapter of Canterbury Cathedral.

mientas, tales como espátulas de escayolista o paletas de albañil pequeñas (fig. 6 y 7).

En este punto es necesario recordar que los paneles de una vidriera se han de instalar siempre en orden descendente, esto es de arriba hacia abajo, mientras que el rejuntado con mortero de cada panel es aconsejable hacerlo en orden ascendente, para así facilitar que el mortero se vaya asentando por peso y gravedad sobre las zonas ya rellenadas (fig. 8).



Fig. 7. Herramientas utilizadas para el trabajo de aplicación y texturizado del mortero en vidrieras: paletines y espátulas para rejuntar; brochas y paletinas para alisar, dar textura y limpiar; Imagen: Fernando Cortés Pizano.

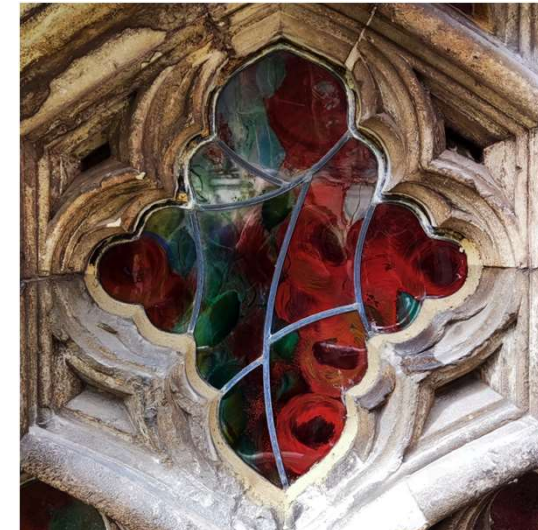


Fig. 8. Proceso de aplicación del mortero en un panel de vidriera, comenzando desde la parte inferior y avanzando hacia la parte superior. Imagen: Fernando Cortés Pizano/Chapter of Canterbury Cathedral.

Fig. 6. Herramientas y materiales utilizados para la depositar y sostener el mortero durante el proceso de rejuntado de una vidriera. Imágenes lado izquierdo: Fernando Cortés Pizano. Imágenes lado derecho: Holy Well Glass.

Es importante humedecer frecuentemente tanto el surco, antes de empezar a trabajar en una nueva sección, como el mortero, durante y después de haber rejuntado los paneles. Se comienza a apli-

car el mortero en el surco apretándolo, con la paletina hasta asegurarnos que rellena totalmente su interior, repitiendo esta operación cuantas veces sea necesario (fig. 9).

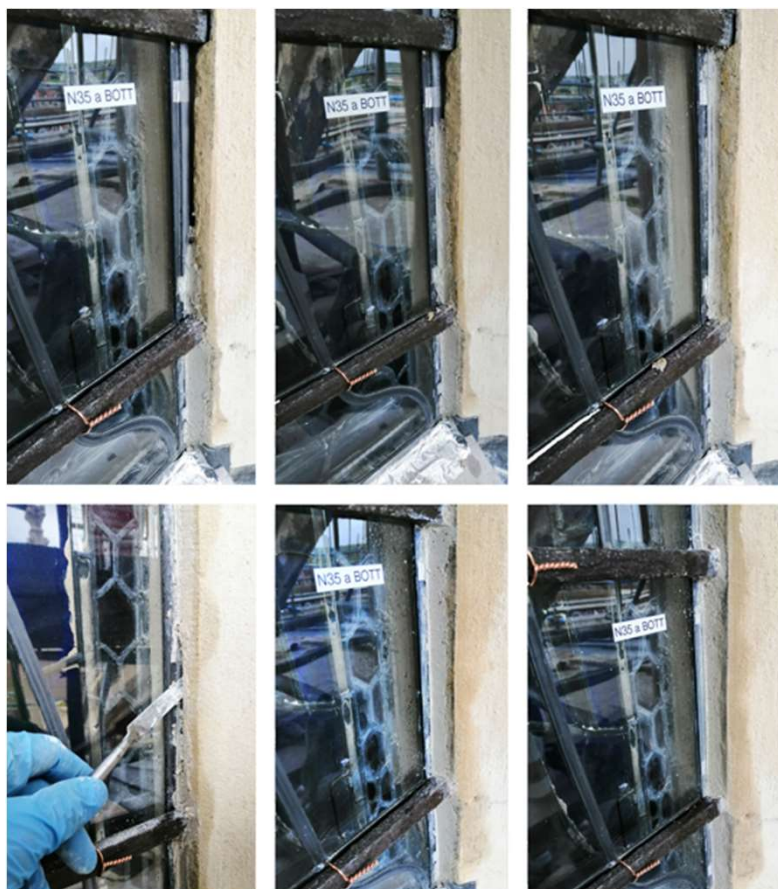


Fig. 9. Proceso de aplicación del mortero en un panel de vidriera, paso a paso. Imagen: Fernando Cortés Pizano/Chapter of Canterbury Cathedral.



Fig. 10. Proceso de aplicación del mortero en un panel de vidriera, evitando que sobresalga excesivamente del surco, rejuntando sobre plomo y evitando la creación de cuñas de mortero muy gruesas. Imagen: Fernando Cortés Pizano/Chapter of Canterbury Cathedral.

El mortero no debe ocultar las molduras de los maineles y tracerías, evitando desfigurar o alterar las formas arquitectónicas del ventanal. Asimismo, es preferible que no sobresalga excesivamente del surco -siempre es mejor recortarlo a ras con el mainel o muro-, rejuntando siempre sobre plomo y no sobre el vidrio y evitando la creación de cuñas de mortero muy gruesas¹⁰ (fig 10).

10. Tradicionalmente, los vidrieros rejuntaban los paneles de una vidriera cubriendo completa o parcialmente los llamados filetes o vidrios de sacrificio. Esta práctica, en principio, es correcta, si esa es la zona de la vidriera que queda introducida en el surco del ventanal. Sin embargo, hemos de tener en cuenta que el riesgo de fractura de estos vidrios perimetrales, cubiertos de mortero, es mucho mayor durante el desmontaje de la vidriera, de ahí que, de ser posible, es preferible rejuntar directamente sobre el plomo perimetral. En este sentido, en paneles de obra nueva o en paneles antiguos en los que hemos sustituido el plomo perimetral, es aconsejable optar por un plomo de al menos unos 12mm de ancho de ala.



Fig. 11. Materiales y herramientas usados para alisar y dar textura al mortero y limpiar la piedra. Foto superior: brochas y paletinas. Imagen: Fernando Cortés Pizano. Foto inferior: esponja humedecida. Imagen: Fernando Cortés Pizano/Chapter of Lincoln Cathedral.

El alisado y obtención de la textura final del mortero suele realizarse con la ayuda de brochas o esponjas humedecidas, bien por acción de frotado o picado (fig. 11).

Es importante asimismo aplicar el mortero de forma cuidadosa, evitando manchar el vidrio el plomo y sobre todo la piedra perimetral, ya que si endurece demasiado será difícil limpiarla. Por ello, durante el proceso de rejuntado es recomendable saber en qué momento hemos de dejar de aplicar mortero para empezar a eliminar el exceso de este y

limpiar bien los posibles restos que queden sobre el vidrio y la piedra, por ambas caras de la vidriera. Para ello usaremos diferentes herramientas, como brochas, paletinas y cepillos secos de diferentes durezas, punzón de madera, telas o papel, etc. (fig. 12).

En el caso frecuente de tener que realizar rellenos muy grandes en el surco de la vidriera o de reconstruir zonas perdidas, es recomendable su relleno inicial con pequeños trozos de ladrillo o piedra y, de ser posible, realizar esta operación en distintas jornadas,



Fig. 12. Operación final de limpieza del vidrio, plomo y piedra mediante brochas, pinceles y punzones de madera. Imágenes 1 y 3: Chapter of Canterbury Cathedral. Imagen 2: Mike Bullen/Chapter of Lincoln Cathedral.

ya que cuanto mayor sea la cantidad de mortero, mayor es la posibilidad de contracción y agrietamiento (fig.13).

Ya sea por ahorro de tiempo, por desconocimiento o por falta de medios (andamios o acceso por ambas caras del ventanal), a menudo las vidrieras se sellan con mortero por una sola cara, lo cual no es nada recomendable. Para poder rejuntar una vidriera adecuadamente por ambas caras es necesario disponer de medios de acceso por ambos lados de esta, lo que supone un incremento del tiempo y del coste del proyecto, el cual hemos de incluir en el presupuesto inicial. Esta es una operación absolutamente necesaria si queremos garantizar la adecuada fijación, sellado y estanqueidad de la vidriera.



Fig. 13. Vidriera del siglo XV, presbiterio de la catedral de Ávila. El rejuntado de los paneles se ha realizado de forma muy poco cuidadosa, creando una cuña excesivamente gruesa y que desfigura las formas de la arquitectura y de la vidriera. Imagen: Fernando Cortés Pizano.

Seguridad y protección en el trabajo con morteros de cal

La seguridad en el trabajo con morteros de cal es esencial, debido a su naturaleza cáustica, corrosiva y alcalina, capaz de causar irritación severa, quemaduras químicas en la piel y daños oculares graves. Es por tanto obligatorio usar equipos de protección individual (EPI): gafas herméticas, guantes impermeables (resistentes a álcalis), ropa de manga larga y mascarilla antipolvo. Con un pH de alrededor de 12.6, los morteros de cal aérea, en estado húmedo, son más cáusticos que los morteros de cal hidráulica, lo que puede provocar quemaduras químicas. La cal hidráulica, aunque sigue siendo alcalina, es ligeramente menos cáustica que la cal no hidráulica ya que su naturaleza más reactiva hace que se endurezca y fragüe más rápidamente mediante una reacción química con el agua, lo que reduce el tiempo en que se encuentra en un estado altamente cáustico. En caso de contacto de la cal con la piel, hay que enjuagar la zona repetidamente con agua y, en su defecto, utilizar ácidos suaves como vinagre o zumo de limón para neutralizar la quemadura. En caso de contacto con los ojos, hay que enjuagar repetidamente con agua y, de ser necesario, buscar ayuda médica.



5. Envejecimiento y deterioro de los morteros

Las causas del deterioro de los morteros de cal pueden ser tanto de origen físico-mecánico como químico. Entre los factores más decisivos en su durabilidad y vida útil podemos destacar el tipo y la calidad de los materiales utilizados, las proporciones de mezcla de estos y las condiciones climáticas durante y después de su aplicación. “Las principales causas del deterioro de los morteros de cal son la presencia de humedad y sales, un secado excesivamente rápido (deshidratación), la falta de flexibilidad y una mala preparación”¹¹.

11. Fuente: https://www.frsf.utn.edu.ar/images/C/ECOVI/Estudio_de_patrones_de_deterioro_de_r_evoques_de_cal_antiguos_en_ambientes_rurales_y_urbanos.pdf

Las principales patologías de carácter fisicoquímico son las eflorescencias en superficie debido a la cristalización de sales solubles, los fenómenos de carbonatación y sulfatación debido a las reacciones que se producen entre la cal y las condiciones del medioambiente y la presencia biológica.

“La cristalización de sales solubles en morteros de cal ocurre por la evaporación del agua que transporta sales disueltas (sulfatos, carbonatos), provocando su precipitación en forma sólida. Este fenómeno causa subeflorescencias internas que generan presión, fisuras y desintegración del material debido a la presión de cristalización y el hábito prismático acicular”¹².

12. Fuente: Jesús Espinosa Gaitán y Esther Ontiveros Ortega, *Caracterización de materiales y procesos de alteración*, en Revista ph Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico nº 69, febrero 2009, pp. 70-93.

Por lo que respecta a las condiciones climáticas, un caso concreto son las tensiones ocasionadas en los morteros como consecuencia de la alternancia de fases de heladas y desheladas, de hidratación y deshidratación o por los diferentes coeficientes de dilatación térmica de los diferentes materiales. En relación con el tipo y la calidad de los materiales utilizados, se ha de destacar la presencia de impurezas, el proceso de calcinación o almacenamiento, el exceso de aditivos, etc.

Las patologías físicas o mecánicas más comunes son la aparición de fracturas, cuarteamientos, desprendimiento y pérdida progresiva en forma pulverulenta, resultando en la separación del mortero de la piedra o del panel de la vidriera. Estos daños mencionados tienen como consecuencia un mayor movimiento y



flexibilidad de los paneles, lo que puede provocar su movimiento y pandeo y por tanto la fractura de vidrios, el desprendimiento de nudos y varillas y la entrada de agua de lluvia hacia el interior del edificio (fig. 14).

6. Extracción de paneles de vidriera recibidos con mortero

Para terminar este estudio sobre el uso de morteros en vidrieras, he creído necesario añadir unas palabras sobre el proceso de eliminación del mortero durante el desmontaje de la vidriera. La extracción de los paneles, indiferentemente de su sistema de montaje, se realiza siempre en orden ascendente, esto es, de abajo hacia arriba, para así evitar que el mortero, masilla o, en el peor de los casos, alguna herramienta u objeto,

58

Fig. 14. La pérdida gradual de adherencia del mortero puede ocasionar su desprendimiento, así como movimientos en el panel de la vidriera, rotura de nudos de sujeción de las varillas de refuerzo y consiguiente desprendimiento de estas, abombamiento de paneles, pérdida de vidrios, etc. Foto 1: Basílica dels Sants Màrtirs Just i Pastor (Barcelona). Foto 2: Cementerio de Poble Nou (Barcelona). Foto 3: Catedral de Ávila. Imágenes: Fernando Cortés Pizano.



pueda caer sobre los paneles situados en zonas inferiores. Durante todo este proceso, es siempre recomendable trabajar en pareja, esto es, una persona por la cara interior y otra por la cara exterior de la vidriera, si bien picando mortero en zonas diferentes del panel, para así evitar crear presión sobre el mismo.

Generalmente, el desmontaje de los paneles se realiza manualmente mediante el uso de un martillo y cinces de diferentes tipos, siendo los de carburo de tungsteno, con puntas de diferentes anchos, los más recomendables. A menudo se utilizan, asimismo, de forma complementaria, otras herramientas como espátulas de mango de madera y cuchilla corta, punzones de carpintero de punta de acero y mango de plástico, etc. (fig. 15).

Fig. 15. Foto superior: proceso tradicional de extracción de mortero mediante el uso de martillo y cincel. Imagen: Holy Well Glass. Foto inferior: herramientas habituales utilizadas para la extracción del mortero en vidrieras: martillos, macetas, cinces, espátulas de cuchilla corta y punzón de carpintero. Imagen: Fernando Cortés Pizano.

La diferencia entre una vidriera recibida con mortero de cal o de cemento es realmente importante, lo cual afectará al método de trabajo y a la duración del desmontaje. En una vidriera recibida con mortero de cemento o morteros excesivamente duros, el riesgo de fracturas en los vidrios perimetrales es elevado, por lo que hemos de extremar la precaución y actuar con sumo cuidado, permitiendo el tiempo suficiente para la extracción de cada panel. En estos casos, puede llegar a ser necesario el tener que usar una multiherramienta neumática con cuchilla oscilante.

13. Esta receta es solo una recomendación del autor para el rejuntado de vidrieras en obra, basada en años de pruebas y observaciones, pero sus componentes y proporciones pueden ser alterados ligeramente en función del tipo de trabajo realizado, como por ejemplo la inclusión, o no, de polvo de piedra o de tres tipos de arenas, así como sus proporciones. Esta receta es igualmente válida para morteros hidráulicos, añadiendo agua hasta lograr la textura requerida.

Materiales necesarios para la preparación de morteros de cal:

- Cal en polvo (hidráulica) o cal en pasta (no hidráulica)
- Polvo de piedra caliza
- Áridos (arenas de dos o tres tipos de grosores y coloración)
- Agua (en el caso de usar un mortero hidráulico)
- Un par de cubos de plástico para hacer las mezclas y un par de boles o cuencos de caucho (goma) para medir cada componente.
- Espátula o paleta para mezclar y remover los distintos componentes.
- Equipo de protección personal: gafas de seguridad, máscara respiratoria para polvo, guantes de nitrilo y delantal de plástico.

60

Receta estándar de mortero de cal aéreo en pasta ¹³

(3:1 - medidas por volumen)

- 1 parte de **pasta de cal**
- 1.5 partes de **arena gruesa**
- 0.5 partes de **arena media**
- 0.5 partes de **arena fina**
- 0.5 partes de **polvo de piedra**

Bibliografía

- ALEJANDRE SÁNCHEZ, F. J. *Historia, caracterización y restauración de morteros*. Editorial Universidad de Sevilla. Colección: Arquitectura, Textos de doctorado. Sevilla 2002.
- ÁLVAREZ GALINDO, J. I., MARTÍN PÉREZ, A., y GARCÍA CASADO, P., "Historia de los morteros". Boletín del IAPH, 13, pp. 52-59. (1995).
- ÁLVAREZ GALINDO, J. I., Caracterización de morteros en Monumentos Navarros. Tesis Doctoral, Universidad de Navarra (1997).
- ARGANO, S. y GUIXERAS, M. Cal aérea en pasta. Apuntes para su buen uso. Ediciones Joystuc. 2009.
- ASHURST, J., Mortars, plasters and renders in conservation. 2nd edn, Ecclesiastical Architects' and Surveyors' Association, (London). 2003.
- CAZALLA VÁZQUEZ, O., Morteros de cal: aplicación en el patrimonio histórico. Tesis doctoral por la Universidad de Granada. Departamento de Mineralogía y Petrología. 2002.
- COPSEY, N., Hot mixed lime and traditional mortars: a practical guide to their use in conservation and repair. The Crowood Press, Ramsbury, UK. 2019.
- DURANT, C., Slaked lime putty in stained glass installation, en Stained Glass, The Magazine of the British Society of the Master Glass Painters, Issue 2, 1997.
- FORSTER, A.M., How hydraulic lime binders work: hydraulicity for beginners and the hydraulic lime family. Love Your Building Publishing, Edinburgh. 2004.
- GÁRATE ROJAS, I. Artes de la cal. Segunda coedición corregida y aumentada. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (1995).
- GISBERT AGUILAR, J., MATEOS ROYO, I., y ANDER SOMOVILLA DE MIGUEL, I., Morteros de restauración (primera parte), en ZABAGLIA, revista del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Huesca (febrero de 2011), pp. 14-17.
- GISBERT AGUILAR, J., MATEOS ROYO, I., y ANDER SOMOVILLA DE MIGUEL, I., Morteros de restauración (segunda parte), en ZABAGLIA, revista del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Huesca (septiembre de 2011), pp. 10-15.
- LANAS GONZÁLEZ, J. y ÁLVAREZ GALINDO, J. I., Preparación y ensayos de morteros de cal de nueva factura para su empleo en restauración del patrimonio, en V Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio" (2006)
- LYNCH, G., The myth in the mix; the 1:3 ratio of lime to sand, en Building Conservation Directory 2007. Cathedral Communications, 2007.
- MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S. et alii, Behavior of repair lime mortars by wet deposition process, en Cem. Concr. Res. 28 (2) (1998) 221-229.
- MASSONS, L. et alii, Estudio de patrones de deterioro de revoques de cal antiguos en ambientes rurales y urbanos, en Actas del 6º Congreso Iberoamericano y XVI Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio". Noviembre de 2024, Luján, Argentina.
- MCAFEE, P., Lime works: using lime in traditional & new buildings. Building Limes Forum Ireland and Associated Editions, Dublin. 2009.
- PALOMO, A., et alii., Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research, en Engineering, Materials Science, Advanced Research Centre for cultural heritage interdisciplinary projects, Fifth Framework Programme Workshop, 2002.
- ROSELL AMIGÓ, J. R. Algunas consideraciones sobre la cal y sus morteros, en "II Jornadas FICAL: Barcelona, 2011". Barcelona: Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Grup de Recerca GICITED, 2012, p. 6-16.
- SCHOFIELD, J., Lime in building: a practical guide. 3rd edn, Black Dog Press, Crediton, UK. 1997.
- VV. AA., Guía práctica de la cal y el estuco, Editorial de los Oficios, León, 1998.
- VV. AA., Practical building conservation: mortars, renders and plasters. English Heritage. 2011. Ashgate Publishing, Farnham, UK.
- VV. AA., Preparation and use of lime mortars. Historic Scotland. Rev. edition, Technical Advice Note 1, Historic Scotland, Edinburgh. 2003.
- WINGATE, M., An Introduction to Building Limes. Society for the Protection of Ancient Buildings: Information Sheet 9, 1988.
- YOUNG, D., Mortars: materials, mixes and methods. A guide to repointing mortar joints in older buildings. Technical guide. Ed. Get it Write!, 2021.

Recursos en línea

Guide to the use of lime in historic buildings. New edition, Draft 2010 <https://www.centroidpm.com/heritage-management/guide-to-the-use-of-lime-in-historic-buildings/>

ARCOVE
Asociación para la Restauración-Conservación de Vidrieras de España
www.arcove.org



REDES SOCIALES DE ARCOVE

Facebook

Instagram

LinkedIn

YouTube



ARC  VE
