



CUADERNOS DE FORMACIÓN

PATRIMONIO

MORTEROS PARA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO

MÓDULO 1 – MORTEROS DE CAL

“Los contenidos de este programa de formación son fruto de la experiencia de GRUPO PUMA, SL y de los ensayos técnicos realizados en sus laboratorios, llevados a cabo según su leal saber y entender, excluyéndose, por tanto, cualquier tipo de responsabilidad que pudiera derivarse de un uso distinto o inadecuado de dicha información, o por la omisión o ausencia de la diligencia debida en la persona o personas que hagan uso de estos cuadernos de formación. Las indicaciones verbales o escritas realizadas por GRUPO PUMA, SL no suponen ni conllevan garantía alguna sobre el producto o la aplicación, que debería ser específicamente otorgada para cada caso .

Asimismo, GRUPO PUMA, SL se reserva todos los derechos derivados del presente documento y prohíbe su reproducción total o parcial, su tratamiento informático, así como la transmisión por cualquier otro medio o método de dichos contenidos sin su permiso previo y por escrito.”

ÍNDICE

MÓDULO 1 - REHABILITACIÓN CON CAL	4
1. INTRODUCCIÓN.	4
2. LA CAL	5
2.1 CONOCIMIENTO DEL MATERIAL.....	5
2.2 NORMATIVA	6
2.3 TIPOS DE CAL.....	6
2.4 COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LA CAL	7
3. MORTEROS.....	10
3.1 CONOCIMIENTO DEL MATERIAL.....	10
3.2 NORMATIVA	10
3.3 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE CAL.....	11
4. EJECUCIÓN DE LOS MORTEROS DE CAL HIDRÁULICA NATURAL.....	16
4.1 REVESTIMIENTOS	18
4.2 ALBANILERÍA	20
4.3 TRATAMIENTO DE HUMEDADES.....	21
5. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN EN PATRIMONIO.....	23
5.1 REHABILITACIÓN DE FACHADA CON ENLUCIDOS Y SILLARES DE PIEDRA	23
ALBAÑILERÍA, REVESTIMIENTOS Y RESTAURACIONES.....	23
EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA OBRA.	23
LIMPIEZA Y REPOSICIÓN PARCIAL DE JUNTAS.	24
RECUPERACIÓN DE VOLUMEN EN FÁBRICA DE SILLERÍA.....	25
5.2 REHABILITACIÓN DE MUROS CON HUMEDADES	27
6. PAISAJE EXTERIOR.....	29
BIBLIOGRAFÍA	31

MÓDULO 1 - REHABILITACIÓN CON CAL

1. INTRODUCCIÓN.

El objetivo de toda intervención es la conservación del bien inmueble ya sea con sus características originales o mejoradas, lo que implica, en su caso, la restauración de sus valores históricos o artísticos; su rehabilitación, para recuperar, mejorar o variar su funcionalidad; y finalmente, su reparación global o puntual. [1]

Los edificios presentan unas características que le son propias que pueden ir modificándose con el paso del tiempo.

El mortero de restauración es el que se utiliza para la reparación del patrimonio arquitectónica. [2]

Restaurar y conservar son obligaciones del presente para hacer llegar los bienes a las generaciones futuras en estado de reconocimiento, compresión y uso, evitando su deterioro y limitando sus lesiones o daños.

En este curso hablaremos de la rehabilitación del patrimonio utilizando uno de los materiales más antiguos conocidos, y que en la actualidad continúa utilizándose de forma general, la cal.

Profundizaremos en la naturaleza de la cal, en su normativa y su tipología, entrando con detalle a diferenciar los tipos y sus características.

De la mano de la cal y una vez dominada la terminología, aprenderemos sobre los morteros que la incluyen en su composición. Qué características hay que buscar en ellos, la normativa que les aplica y las propiedades que hacen de estos morteros unos materiales muy adecuados para su empleo en la rehabilitación del patrimonio.

Un mortero es una mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, de áridos, de agua y, a veces, de aditivos y/o adiciones, en él intervienen muchas variables. [2], de ahí la existencia de muchos tipos, sabiendo esto ya no sorprende que tengamos que conocer sus componentes y las variables de estos para poder definirlos.

A su vez el término cal engloba a varios materiales todos con una propiedad común: que su composición es mayoritariamente óxido o hidróxido de calcio, pero con alguna característica que las diferencia.

Así tenemos: Cal aérea, apagada o hidróxido, Cal Cálcica, Cal Dolomítica, Cal Hidráulica, Cal Hidráulica Natural, Cal Viva u Óxido de Calcio, Cal Formulada...

2. LA CAL

2.1 CONOCIMIENTO DEL MATERIAL

La piedra caliza es la materia prima de donde se obtiene la cal, está compuesta por carbonato cálcico y carbonato magnésico o dolomítico en diferentes proporciones.

Por calcinación a 900°C el carbonato de calcio se descompone para formar óxido de calcio y el carbonato magnésico forma óxido de magnesio, el cual retarda la re-carbonatación del óxido cálcico durante el endurecimiento de la cal. Por ello, deben distinguirse las cales de composición cálcica o dolomítica según el porcentaje de magnesio que éstas contienen.



Según la naturaleza de las cales, se establece una segunda clasificación diferenciando las cales aéreas de las hidráulicas.

Se denominan cales aéreas aquellas que están constituidas principalmente por óxido o hidróxido cálcico y que tiene la propiedad de endurecerse mediante el contacto con el dióxido de carbono del aire. Se denominan cales hidráulicas aquellas que se obtienen de la calcinación de calizas que contienen además sílice y alúmina, las cuales confieren al aglomerante hidráulicidad.

La diferencia entre las primeras y las segundas radica en su contenido en elementos arcillosos, los cuales dan a las cales la capacidad de endurecer en contacto con el agua.

2.2 NORMATIVA

La norma española para las cales de construcción, [3] recoge las definiciones, especificaciones y criterios de conformidad para la preparación del conglomerante de los morteros para por ejemplo, albañilería, revoco y enlucido.

En ella se recogen los distintos tipos de cales admitidos en el mercado, sus características, así como los criterios relativos a los requisitos esenciales de la directiva de productos de construcción de la Unión Europea. Según esta norma, se describen a continuación los tipos de cal admitidos.

2.3 TIPOS DE CAL

CAL AÉREA

Se denominan como Aéreas debido a que tienen la propiedad de endurecer por la acción del dióxido de carbono presente en el aire.

- CL - CALES CÁLCICAS.

Son cales constituidas principalmente por óxido de calcio y/o hidróxido de calcio sin ninguna adición hidráulica ni puzolánica

Según el contenido total en óxidos (según su riqueza), se clasifican en los tipos CL90, CL80 o CL70

- DL - CALES DOLOMÍTICAS son también cales aéreas constituidas principalmente por óxido de calcio y magnesio y/o hidróxido de calcio y magnesio sin ninguna adición hidráulica ni puzolánica

Según el contenido total en óxidos (según su riqueza), se clasifican en los tipos DL 90-30, DL 90-5, DL 85-30 y DL 80-5.

Ambas pueden presentarse en forma de Cal Viva (Q) o en forma de Cal Hidratada en polvo (S), en pasta (S PL) o en suspensión o lechada de cal (S ML)

CAL CON PROPIEDADES HIDRÁULICAS

Poseen propiedades hidráulicas porque además de endurecer por la acción del dióxido de carbono del aire, fraguan cuando entran en contacto con el agua.

- NHL – CALES HIDRÁULICAS NATURALES

La cal hidráulica natural es una cal con propiedades hidráulicas producida por la calcinación de calizas más o menos arcillosas o silíceas con reducción a polvo mediante apagado con o sin molienda. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua y por reacción con el dióxido de carbono del aire.

Las propiedades hidráulicas son el resultado exclusivo de la composición química especial de la materia prima natural.

Según su riqueza en óxidos se clasifican en NHL 2, NHL 3,5 y NHL 5.

- FL - CALES FORMULADAS

Es una cal con propiedades hidráulicas constituida principalmente por cal aérea (CL) y/o cal hidráulica natural (NHL), con material hidráulico y/o puzolánico añadido.

Según su riqueza se clasifican en FL A, FL B Y FL C, y según su resistencia en 2,3,5 y 5.

- HL – CALES HIDRÁULICAS

Es un conglomerante constituido por cal y otros materiales como cemento, escorias de horno alto, cenizas volantes, filler calizo y otros materiales adecuados.

Se clasifican según su resistencia a compresión en HL 2, HL 3,5 y HL 5.

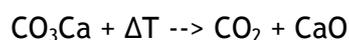
Sorprende la cantidad de usos de la cal, a la construcción se dedica en España, un 10,8% de la producción, de la cual se destina solo un 30% a morteros y el resto para la estabilización de carreteras. (fuente ANCADE)

2.4 COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LA CAL

Hemos podido estudiar los distintos tipos de cal admitidos como válidos para la construcción de acuerdo a nuestra normativa. Según la clasificación vista podemos admitir dos grandes bloques diferenciados en cuanto a propiedades globales. La Cal Área y la Cal con propiedades Hidráulicas. [4] [5]

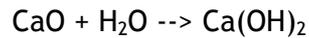
CAL AÉREA

La cal se encuentra en la naturaleza en forma de piedra caliza, que contiene principalmente carbonato cálcico CO_3Ca . Éste, sometido a un aumento de temperatura a unos 900°C teóricos, se descompone químicamente en óxido de cal, liberando a la atmósfera dióxido de carbono mediante una reacción endotérmica. Esta temperatura de calcinación dependerá también de la presión atmosférica a la que se encuentre la muestra y el contenido de CO_2 presente en el aire.



Obtenemos así el óxido de cal, también denominado cal viva. Se trata de un material dispuesto en terrones esponjosos de $0,5 \text{ kg/dm}^3$ de densidad aparente y unos $2,3 \text{ kg/dm}^3$ de densidad real. El óxido cálcico debe ser extinguido, apagado o matado,

añadiendo agua, obteniéndose así hidróxido cálcico mediante una reacción exotérmica que en contacto con tejidos orgánicos produce cauterizaciones.

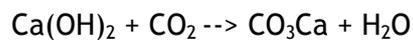


Se trata de una reacción exotérmica, donde el compuesto aumenta su temperatura típicamente por encima de los 100°C, evaporándose así parte del agua añadida.

Según la cantidad de agua aportada obtendremos cal aérea en polvo, en pasta o en lechada.

Aún podemos recordar en algunos casos el apagado de la cal que se hacía in situ en obra cuando el proceso industrial de hidratación del óxido no estaba desarrollado.

Una vez colocado el compuesto en obra, éste entra en contacto con el dióxido de carbono del ambiente, recarbonatándose y adquiriendo de nuevo la composición de carbonato cálcico.



Esta última reacción se produce muy lentamente. La velocidad de reacción depende de distintos factores como la humedad ambiente, la red porosa del compuesto, etc. Este proceso puede durar horas, días o incluso años. Además, el fraguado no se produce si el amasado está en contacto con el agua debido a la dificultad de acceso del CO₂. El fraguado también produce una disminución de volumen o retracción que debe tenerse en cuenta.

A estas reacciones se las llama **ciclo químico de la cal aérea** por ser un proceso en el cual el material de inicio y el resultado final son químicamente idénticos. Alguna de sus propiedades, en cambio, habrán variado durante este proceso.

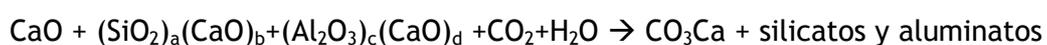
CAL HIDRÁULICA

Cuando la piedra caliza inicial contiene impurezas arcillosas en cantidades superiores al 5, 10 o 20% según los autores, las reacciones químicas que se producen varían respecto a las descritas anteriormente.

A una temperatura aproximada de 700°C se descomponen los silicatos que constituyen la arcilla obteniéndose así óxido de sílice (SiO₂).

A una temperatura que oscila entre los 850 y 900°C se descompone el carbonato cálcico (CO₃Ca).

Aumentando la temperatura de calcinación a partir de 1000°C se produciría una reacción entre estos componentes arcillosos y el carbonato cálcico. El proceso térmico deja libres moléculas de óxido de cal mientras que otras reaccionan con los elementos arcillosos, formándose así la denominada cal hidráulica.



Los coeficientes (a, b, c, d) no son constantes, ya que dependen de la proporción de arcillas así como de la composición de éstas en cada caso.

La cal hidráulica tiene la propiedad de fraguar a mayor velocidad que la cal aérea, además de poder hacerlo en contacto con el agua. A esta propiedad, tal como se ha comentado con anterioridad, se la llama hidraulicidad.

Podemos estudiar las diferencias entre los tiempos de fraguado o de endurecimiento de la cal aérea, de la cal hidráulica y del cemento, de forma aproximada y siempre dependiendo del tipo.

	Inicio Fraguado (h)	Final Fraguado (h)
Cal Aérea	24	4320 (6 meses)
Cal Hidráulica	1 a 4	30
Cemento	2	7

3. MORTEROS

3.1 CONOCIMIENTO DEL MATERIAL

Los morteros industriales son aquellos que se han dosificado, mezclado y, en su caso, amasado con agua en una fábrica y suministrado al lugar de construcción. [2]

Actualmente los morteros secos industriales han desarrollado una alta tecnología que permite satisfacer las exigencias del proyectista y constructor tanto en puesta en obra como en sus requerimientos constructivos bajo una alta fiabilidad. Son los morteros con mayor carga tecnológica, enfocada a lograr la garantía de calidad que requiere su utilización.

3.2 NORMATIVA

La Norma que regula las características que debe tener un mortero para albañilería, se encuentran recogidas en la norma UNE EN 998. La norma se divide en dos partes:

- UNE EN 998-1: Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para Revoco y Enlucido.
- UNE EN 998-2: Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.

En ambas normas se basa el Reglamento Europeo de los Productos de Construcción para establecer los requisitos para el marcado CE que permite la comercialización de los productos en el mercado europeo.

En la primera parte de la norma se recogen las propiedades, características y definiciones de aquellos morteros empleados para la formación de fábricas de albañilería. Con esta designación se incluyen todos los elementos mampuestos habituales susceptibles de tomar esta denominación. Es decir, abarca las fábricas realizadas con ladrillos y bloques, en sus diferentes materiales (cerámicos, silíceo-calcáreos, hormigón).

En la segunda parte encontramos las definiciones y especificaciones para los morteros que se aplican o sitúan sobre la superficie externa de otro elemento o sistema constructivo, con el fin de cubrirlo por razones funcionales o simplemente estéticas. [6] [7] [8] [9]

La denominación de los tipos de revestimiento de morteros es muy extensa y heterogénea. Puede atender: a los componentes del mortero; a su posición respecto al soporte; a la textura o relieve de su superficie; a la terminología local, etc. La Norma de referencia, no aclara este aspecto, opta por asociar los términos revoco y enlucido a la posición relativa del revestimiento.

Con todo, las Normas suponen una profunda revisión y marca la transición hacia los nuevos morteros de revestimiento: introduce un sistema de designaciones novedoso y eleva unas exigencias más consecuentes con la función de estos materiales.

3.3 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE CAL

Tal como hemos visto en el capítulo anterior, hay muchos tipos de cal y es lógico pensar que las propiedades de los morteros se verán afectadas según la tipología de la cal empleada.

Así distinguiremos entre los morteros de cal aérea que endurecen más lentamente por la acción del aire, de fuera hacia dentro, lo que los hace más vulnerables a las inclemencias meteorológicas y por ello tiene gran importancia el espesor en que se aplican y los morteros de cal hidráulica que ofrecen una buena solución aportando las propiedades de la cal a un mortero cuya forma de endurecer se adecúa mejor a las obras actuales y que permite también su endurecimiento en ambientes húmedos.

En este cuadro se ofrece un resumen de las propiedades de los morteros de cal aérea y de la cal hidráulica respecto a las propiedades de los morteros de cemento o de los formados de las mezclas de cemento y cal (mixtos o bastardos)

	Cemento	Mixto	Cal hidráulica	Cal aérea
Plasticidad	Media	Media-buena	Buena	Buena
Fraguado	Horas	Horas	Se seca	Se seca
Endurecimiento	Días	Días	Semanas	Meses
Sales solubles	Significativas (Sulfatos de Calcio, sodio y potasio)	Según % de cemento	Pocas	Pocas o nulas
Permeabilidad al vapor	Media	Media-alta	Alta	Alta
Adherencia	Buena	Buena	Buena	Buena
Resistencias mecánicas	Regulable	Regulable	Regulable con limitaciones	Baja

Lo cierto es que los morteros de cal en general, poseen una serie de cualidades que le son propias y que los hace adecuados para una tipología de obras concretas, esto es muy claro cuando elegimos estos morteros para su utilización en el mantenimiento y rehabilitación del patrimonio, tal como veremos.

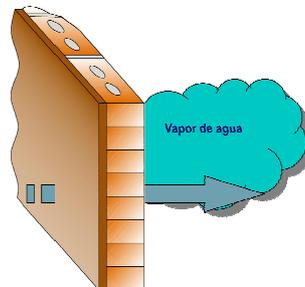
Hay muchos motivos que nos pueden llevar a elegir la cal en los materiales de construcción. Desde estéticos hasta técnicos. Nosotros hemos elegido cuatro de carácter fundamentalmente técnico, dejando al lado las no menos importantes razones estéticas (textura y color).

LA PERMEABILIDAD

Esta es una propiedad muy útil en rehabilitaciones, edificaciones en general donde los anchos muros sin cámara no impedían el paso del aire a su través. El colocar un

revestimiento que también es traspirable permite el paso del vapor sin crear barreras que formen bolsas abombadas por la humedad y desprendan las pinturas.

La permeabilidad al vapor de agua y los riesgos de condensación o de retención de humedad en los capilares de un muro por no respirar éste bien, es una cuestión de suficiente importancia y en la que conviene detenerse.



El vapor de agua en el aire ejerce una presión, denominada presión parcial de vapor de agua en el aire. Cuando se ponen en comunicación dos masas de aire que tienen diferentes presiones, a través de un muro, el vapor del aire se difunde desde donde hay más presión. La velocidad de difusión depende de la diferencia de presiones de vapor de agua y del ancho del muro así como de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) que tenga ese muro.

La tendencia moderna es hablar de la resistencia a la difusión de vapor de cada material, a través del factor μ . Éste indica para un mismo espesor, cuantas veces es más grande la resistencia a la difusión del vapor en relación con el aire.

En la tabla se indica de forma aproximada el coeficiente μ para el vapor de agua que tendrían diversos materiales.

Tipo de revestimiento en Morteros	Permeabilidad - μ Resistencia a la difusión de vapor
AIRE	1
MORTERO DE CAL	6
MORTERO MONOCAPA	10
MORTERO DE CEMENTO	20/25
PIEDRA CALIZA	25
PIEDRA GRANÍTICA	400
BARNIZ	3000

El bajo coeficiente de permeabilidad de la cal se debe a la forma en la que endurece y que es radicalmente distinta a la del cemento. La cal endurece al reaccionar con el aire que la carbonata, éste al ir penetrando en el mortero va creando canales que

permiten la transpiración del cerramiento. El cemento endurece al reaccionar con el agua.

Los morteros de cal proporcionan, a diferencia de otros conglomerantes hidráulicos como el cemento, una permeabilidad al aire que se adecúa en mayor medida a las exigencias de salubridad y protección frente al ruido exigidas por el Código Técnico de la Edificación en los Documentos Básicos HS-1, HS-3 y HR

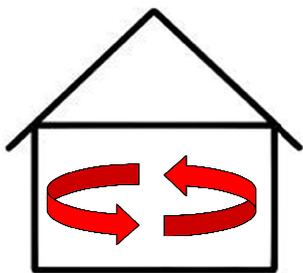
Si un revestimiento no es permeable, la resistencia al paso de vapor de agua puede producir graves patologías en interiores y exteriores de las edificaciones.

En las históricas suele ser causa del fracaso de las reposiciones de morteros en fachadas con materiales poco permeables, son edificaciones que debido al tipo de muros que presentan, suelen absorber agua del terreno por acción capilar. Esta humedad evapora por el muro hacia el exterior sin causar daño a no ser que tenga impedido el paso por un revestimiento impermeable que causa su desprendimiento al condensar el agua en su zona de encuentro con la fachada.

En edificaciones nuevas, la falta de aislamiento y no tener en cuenta una buena ventilación en las cámaras también produce patologías. En todas la viviendas en uso se genere vapor de agua en el interior (baños, cocinas, respiración..), las paredes del interior de la vivienda, sino se encuentran bien aisladas, se enfrían en función de la temperatura exterior, alcanzando fácilmente en ambientes húmedos la temperatura de rocío, es decir la temperatura necesaria para que el vapor del agua condense en forma de agua líquida, mojando las superficies y produciendo humedades que favorecen la caída de pinturas y la proliferación de mohos.

La cal, como hemos visto, es un material que colabora para que los muros, puedan transpirar con mayor facilidad, por ello el encalado y la aplicación de morteros de cal resulta ser un buen sustituto, en relación a los morteros de cemento, de las pinturas acrílicas o las pinturas plásticas, pues estas no siempre son adecuadas en todas las construcciones

Por otro lado, la elevada transpirabilidad que proporciona la cal mejora la habitabilidad del edificio, permite una renovación natural del aire interior, contribuyendo a unas condiciones de elevada salubridad y confort, disminuyendo el riesgo de condensaciones.



EL RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE

Para explicar esto solo hay que remitirse a la química y a las reacciones que ocurren desde que se extrae la materia prima para la producción de la cal (piedra caliza), hasta que la cal apagada aplicada en forma de mortero en la fachada vuelve de forma natural a su origen.



Es un material ecológico que retorna a su composición natural con el paso del tiempo.



LA ASEPSIA

La acción desinfectante de la cal es conocida desde antiguo, de ahí la técnica de encalado tan empleada desde hace años. Las propiedades antisépticas de la cal provienen de su elevado pH, de su alcalinidad.

Debido a esta razón, en algunos pueblos como por ejemplo en la zona sur de España, se tiene dentro de la tradición popular el encalar anualmente las paredes de las casas.

LA COMPATIBILIDAD

Los morteros de cal presentan bajas resistencias mecánicas, que lo hacen compatible con multitud de soportes. Además poseen una composición similar a los productos tradicionales, por lo que evita nuevas reacciones con consecuencias negativas

Hoy en día, los morteros de cal son utilizados por su estética y propiedades para la realización de revestimientos en obras nueva y para la rehabilitación y restauración arquitectónica debido a que presentan una mejor compatibilidad con los morteros antiguos.

En el caso del mantenimiento y la rehabilitación de edificios patrimoniales, merece una especial mención el mortero de Cal Hidráulica Natural NHL. Los morteros de cal hidráulica tienen mayor compatibilidad química, mecánica y estructural con los materiales y los métodos de construcción antiguos. Poseen además, a diferencia de los morteros de cal aérea, la propiedad de endurecer en ambientes húmedos. Esta propiedad es fundamental cuando tratamos de revestir muros con presencia de humedad en su interior. Además de permitir el revestimiento, provocaremos una capa porosa que facilitará la salida hacia el exterior de la humedad.

Los morteros para rehabilitación se formulan con resistencias mecánicas bajas para compatibilizarlo con los soportes habituales cuyas resistencias a compresión suelen ser escasas, rondando los 40 kg/cm².

Tienen mayor flexibilidad bajo determinadas condiciones mecánicas debido a su menor resistencia y mayor compatibilidad en su composición. A tener también en cuenta la posibilidad de auto-sellado de microfisuras por ciclos de disolución y reprecipitación de la calcita, que mantiene durante más tiempo la estabilidad estructural del edificio.

Como característica adicional tenemos la ausencia de sales solubles de la cal hidráulica (no contienen reguladores de fraguado como el cemento a base de sulfatos) evita la formación de compuestos perjudiciales que pueden afectar a la cohesión del mortero e incluso provocar su disgregación.

- Sulfatos → Etringita → Deterioro de la argamasa, ladrillos y piedras.
- Otras sales solubles → Cristalizaciones → Eflorescencias → Deterioros

La cal cumple el principio de la mínima intervención sobre obras patrimoniales, que recomienda no alterar los monumentos, y en caso de necesidad, emplear materiales y técnicas análogos a los empleados en la edificación original, salvaguardando así los valores intrínsecos y extrínsecos de la obra.

LA CONTRIBUCIÓN A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La técnica del encalado se utiliza frecuentemente en una gran parte de las zonas cálidas del planeta tierra, esta se utiliza porque debido a su color blanco, ayuda al reflejo de la radiación solar y permite que los muros puedan absorber una cantidad menor de energía calorífica, de modo que los interiores de las viviendas son más frescos.

Dejando a un lado el color. La conductividad de los elementos arquitectónicos aumenta al aumentar su densidad. La densidad de los morteros de cal es inferior a otro tipo de revestimientos y por tanto su conductividad menor.

La conductividad térmica de un mortero de cal hidráulica es de 0,87 w/mK, frente a la de mortero de cemento de 1,4, esto se traduce en que para obtener la misma resistencia térmica necesitamos un 60% más de espesor con un mortero de cemento que con uno de cal. Datos tomados de la norma europea EN1745 tabla A.12.

4. EJECUCIÓN DE LOS MORTEROS DE CAL HIDRÁULICA NATURAL

La intervención en un edificio comienza por un estudio de su historia y de los materiales, un buen diagnóstico de las patologías será el segundo paso que llevará al prescriptor a la selección de las técnicas y de los materiales.

Cada caso concreto deberá ir acompañado de un estudio específico del problema a abordar con objeto de lograr una adecuada reparación, de forma que se logren los mejores resultados en la conservación de las edificaciones, sean éstas de interés histórico o no. [1] [10]

Se hace necesario que las reparaciones se basen en un diagnóstico previo de los agentes que han causado el deterioro

- De origen físico: por capilaridad, por filtración, por condensación, por accidente, por depósito, por lavado diferencial, por alteración y pérdida de masa de la superficie.
- De origen mecánico: por fisuras, por desprendimientos.
- De origen químico: por eflorescencias, por organismos, por oxidación y corrosión o por erosión química.

Los criterios generales según la normativa serán:

- Delimitación de la lesión. Antes de llevar a cabo la actuación, se delimita la zona a intervenir, procurando que la actuación se ejecute en el espacio necesario y que se adecúe a los despieces y áreas del soporte original. Deben delimitarse las zonas a reparar, compartimentándolas mediante juntas de trabajo, juntas estructurales y de dilatación.



- Saneado y Limpieza. El picado del mortero se lleva cabo, si es necesario, hasta los bordes geométricos definidos anteriormente y limpiando el soporte

con la ayuda de medios manuales o mecánicos, procurando que no afecten a otros elementos de la superficie, que en todo caso deberían protegerse.

Previamente a la aplicación del nuevo mortero se lleva a cabo la limpieza del soporte, eliminando las partículas sueltas, polvo, sales, etc., así como aquellos organismos que puedan perjudicar una correcta puesta en obra del morteros por biodeterioro), siguiendo los requisitos y recomendaciones de limpieza de fachadas. También debe eliminarse todo tipo de sal derivadas de los arrastres por flujos de agua. En caso de aplicar una segunda capa sobre el morteros afectado, debe realizarse una limpieza previa del mismo, siguiendo las mismas pautas.



- Puesta en obra. Debe respetarse la proporcionalidad de agua de amasado, el tiempo prescrito y su tiempo de reposo, a fin de que actúen todos sus componentes siguiendo las recomendaciones del fabricante o de la dirección facultativa. Debe mantenerse la planimetría del revestimiento original.

En la selección de los materiales, se debe tener en cuenta el edificio, su estructura y su historia, los materiales, que sean compatibles y no produzcan por ataque físico ni químico, deterioros posteriores en el edificio.

Asegurar que la documentación obligatoria acompaña al suministro a la obra. Declaración de Prestaciones, Ficha de Seguridad.....

4.1 REVESTIMIENTOS

La norma UNE EN 998-1 [3] ya comentada en el apartado 3.2, designa a los morteros para revestimientos y acabados que normalmente encontramos para la conservación y la rehabilitación de edificios antiguos, según la siguiente nomenclatura:

GP para los morteros para revoco/enlucido para uso corriente

CR - para los morteros para revoco coloreados

R - Mortero para revoco/enlucido para renovación

Del mismo modo, establece una designación según sus propiedades una vez endurecido:

Propiedades	Categorías	Valores
Intervalo de resistencia a compresión a 28 días	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	≥ 6 N/mm ²
Absorción e agua por capilaridad	W0	No Especificado
	W1	$c \leq 0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
	W2	$c \leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Conductividad térmica	T1	≤ 0,1 W/m·K
	T2	≤ 0,2 W/m·K

Para asegurar una buena compatibilidad entre el soporte y los revestimientos es necesario ejecutar las siguientes acciones:

En primer lugar es necesario humedecer abundantemente los soportes hasta saturación y esperar a la desaparición del brillo superficial para aplicar un salpicado de agarre de un motero que servirá de base para regularizar espesores y succiones del soporte. Este mortero debe tener una granulometría de hasta unos 2 mm para conseguir dar el cuerpo suficiente. El conglomerante preferido será la cal aérea o la cal hidráulica natural.

El amasado de los morteros es conveniente realizarlo por medios mecánicos para facilitar el trabajo y asegurar la homogeneidad.

Sobre la capa de agarre, se aplicará una primera capa de forma regular con un espesor aproximado de 0,5 centímetros de espesor para evitar la aparición de fisuras en las capas posteriores. Curar el material aplicado las 24 horas después de la colocación. La superficie debe dejarse rugosa aunque se reglé su superficie para eliminar el exceso de mortero que se pudiera haber acumulado en algún punto.

Es conveniente utilizar regla de madera, al alisar y reglear con madera en lugar de utilizar una herramienta metálica, favorece la apertura de los poros en la superficie.

Al día siguiente humedecer previamente para la aplicación de la primera capa del mortero base, con espesores comprendidos entre los 0,5-1,5 cm, mediante paleteado o con máquina de proyector. Aunque el mortero admita mayores espesores se consiguen mejores resultados mediante superposición de capas de mortero hasta alcanzar el grueso deseado.

Extender el producto preferentemente con talocha de madera para proceder al relegado y posterior fratasado. Si son necesarios gruesos de aplicación superiores para salvar las diferencias de planeidad del soporte es preferible esperar al menos 48 horas para la aplicación entre capas para favorecer el oreado y facilitar la carbonatación, dejando una superficie rugosa para mejorar la adherencia entre las mismas.

La última capa se realizará pasadas al menos 24 horas, con un mortero de acabado más fino que el anterior y preferiblemente con una dosificación inferior de cal. Es importante humedecer el soporte el día anterior a la aplicación de esta última capa y 24 después.

Son recomendaciones generales las siguientes:

- No aplicar estos morteros por debajo de 5°C ni por encima de 30°C.
- No aplicar los revestimientos con riesgo de heladas, lluvias, fuertes vientos o sol directo.
- En condiciones climatológicas extremas (mucho viento o altas temperaturas) es obligatorio regar por aspersión suave el producto al día siguiente de su aplicación.
- El mortero nunca debe ser más resistente que el soporte
- La superposición de capas sobre el mortero húmedo asegura la buena adherencia y facilita la carbonatación.
- Hay que ajustar el agua de amasado evitando los excesos esperando que alcance la consistencia mediante el amasado (3-5 minutos). Nunca se debe añadir agua a un mortero ya amasado por el riesgo que existe de pérdida de resistencias y otras propiedades.
- Los morteros en general no deben aplicarse sobre restos de yesos o pinturas.

4.2 ALBANILERÍA

Cuando se trata de levantar o de reconstruir partes de muros o rellenar juntas entre ladrillos o piedras, se utilizan morteros de granulometría algo superior y clasificados por su resistencia ya que en esta aplicación cobra protagonismo esta propiedad.

La norma UNE EN 998-2 [12] clasifica como vimos antes los morteros para revestimiento según las siguientes designaciones:

Clase	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Resistencia a compresión N/mm ²	1	2,5	5	10	15	20	d
d es una resistencia a compresión mayor de 25 N/mm ² declarada por el fabricante.							

Los morteros se mezclan con agua de forma manual o mecánica hasta conseguir una consistencia homogénea y trabajable, levantando los muros de modo tradicional.

Al trabajar en rehabilitación hay que cuidar la limpieza de los soportes y de las piezas con las que se trabaje. En ocasiones habrá que proceder a la reconstrucción de volúmenes y a la reposición de piezas perdidas.



4.3 TRATAMIENTO DE HUMEDADES

La humedad que asciende por capilaridad desde el suelo afecta a los muros de construcción, sobre todo aquellas construcciones más antiguas de muros fabricados con sillares de piedra tomados con morteros de cal o anchos muros de ladrillo en contacto directo con los terrenos.

Muchos de estos muros, durante los últimos años, se han rehabilitado mediante el saneado con morteros de cemento y pinturas acrílicas.

Estas representaciones han causado la aparición de nuevas patologías asociadas al problema de humedad preexistente.

- Formación de sales expansivas por la creación del cemento con la cal de los morteros originales.
- Falta de transpiración al llegar la humedad a la cara interna de las pinturas acrílicas. Aumento de la presión y desprendimientos de la pintura por formación de bolsas de aire.



Como hemos ido viendo, los morteros de cal hidráulica natural, presentan una gran compatibilidad con este tipo de soportes. alguna de sus propiedades como la ausencia del cemento hace que sean muy compatibles.

Las resistencias mecánicas y la permeabilidad al vapor del agua son las otras dos características que hacen de los morteros de cal hidráulica natural, los más adecuados para este tratamiento tanto en interiores como en exteriores.

Se seleccionarán morteros entonces de cal hidráulica natural, macro porosos, porógenos o de saneamiento, estos morteros tienen favorecida su porosidad, de forma que al fraguar crean una red de canales internos que favorecen la evaporación del agua retenida en el muro y previene la aparición de sales.

Para sanear muros con humedad ascendente por capilaridad el paso previo es retirar el revoco a sanear al menos 50 centímetros por encima de la marca de humedad. Tras este paso, hay que realizar una buena limpieza del soporte que ha quedado al descubierto, retirando cualquier resto de polvo, eflorescencias o

partículas sueltas, eliminando por completo cualquier parte falta de cohesión o poco resistente. Las partes que necesiten ser reconstruidas, es preferible que se ejecuten también con morteros cuyo conglomerante sea la cal hidráulica natural, de esta forma aseguramos la continuidad en la naturaleza y propiedades del muro. Siempre evitar el empleo de cemento.



Una vez limpio, lavar de nuevo ahora ya solo con agua hasta que el soporte se sature y esperar a que se absorba bien el agua, hasta la desaparición del brillo superficial, antes del siguiente paso.

Para el amasado del mortero macro poroso utilizaremos procedimientos mecánicos de forma preferente, manteniendo el amasado durante unos 5 minutos hasta una consistencia homogénea y trabajable.

Es buena práctica aplicar una primera capa de agarre de unos 0,5 centímetros de espesor salpicada sobre el soporte, dejando una terminación rugosa. Tras la aplicación de esta capa esperar hasta el día siguiente para aplicar la capa de mortero de saneamiento.

Para terminar el revestimiento utilizaremos siempre productos que permitan la transpiración que hemos favorecido. Se puede pintar utilizando pinturas de base silicato o revestir con morteros coloreados base cal hidráulica natural.

5. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN EN PATRIMONIO

La rehabilitación de edificios históricos, suele ser problemática, tanto por la dificultad en la selección de los productos más adecuados, como por las limitaciones que suelen imponer las normativas sobre la protección del patrimonio.

Los morteros de cal hidráulica natural dan solución a muchas de las necesidades que se presentan en este tipo de obras.

5.1 REHABILITACIÓN DE FACHADA CON ENLUCIDOS Y SILLARES DE PIEDRA

El estado de deterioro de la fachada, obliga a la realización de una actuación de reparación y rehabilitación de la misma.



ALBAÑILERÍA, REVESTIMIENTOS Y RESTAURACIONES.

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA OBRA.

El primer paso para realizar la prescripción de los morteros más adecuados es realizar una toma de muestras para la evaluación de:

- Grado de consolidación y resistencia de los soportes.
- Naturaleza
- Color



En cuanto a la composición de los morteros que se seleccionan para la prescripción, son varias las razones que llevan a seleccionar morteros de cal hidráulica natural:

- La compatibilidad mecánica con el soporte existente en cuanto a la similitud en las resistencias mecánicas.
- La compatibilidad química con el soporte que impedirá la formación de sales expansivas por reacción con compuestos no compatibles.
- La transpirabilidad de los productos ya endurecidos que permitirá el intercambio de humedad con la atmósfera.



LIMPIEZA Y REPOSICIÓN PARCIAL DE JUNTAS.

De retacado de juntas, en fábrica vista, realizado con mortero de cal y arena teñido en masa, previa eliminación de material disgregado y polvo por medio mecánicos, cepillos, escarpelo y ayuda de aspirador o aire comprimido a baja presión, humectación del soporte y aplicación de mortero con espátula.

La recomendación de mortero que se realiza para esta aplicación es MORCEM®CAL PIEDRA, mortero de llagueado y encintado de cal hidráulica natural. Se trata de un mortero para reparación y relleno de juntas en muros de ladrillo o piedra natural, apto para el uso en rehabilitación por su alta compatibilidad con sistemas tradicionales.

Se realiza una muestra sobre la fachada previa a la selección del color.



RECUPERACIÓN DE VOLUMEN EN FÁBRICA DE SILLERÍA.

De recuperación de volumen en fábrica de sillería de piedra caliza, en zonas que se indican en planos y en las que es necesario implantar prótesis mediante mortero a base de cemento hidráulico, arenas seleccionadas, aditivos y piedra caliza triturada, comprendiendo preparación del elemento a reparar y labrado de la prótesis de reintegración cromática de la superficie, realizada con pigmentos de primera calidad mediante veladuras en un tono más bajo que el original incluso de formación de jambas, dinteles, de andamios, medida la superficie ejecutada.

La recomendación de mortero que se realiza para esta aplicación es MORCEM®CAL BASE para la recuperación de volúmenes + MORCEM®CAL ACABADO para la realización de enlucidos. Ambos son morteros para revestimientos de cal hidráulica natural que se formulan en los colores necesarios mediante incorporación industrial controlada de los pigmentos, lo que asegura su homogeneidad y constancia en sus propiedades.

En las zonas donde se encuentren soportes pobres o disgregados, será necesario la colocación de una malla embebida en la capa base de mortero que aporte la sujeción necesaria del revestimiento sobre el soporte.



OTRAS ACTUACIONES

Además de estas actuaciones pueden ser necesarias otras complementarias correspondientes a la restauración completa de una fachada.

- Consolidación previa de los soportes más deteriorados.
- Hidrofugación final con tratamiento aplicado por impregnación.
- Tratamiento fungicidas.
- Otros tratamientos prescritos por la dirección facultativa y la restauradora encargada del proyecto en cuanto al empleo de los morteros para la recuperación de volúmenes superiores a los 2 cm.



5.2 REHABILITACIÓN DE MUROS CON HUMEDADES

En edificios rurales, antiguos cortijos, edificios históricos y otras edificaciones antiguas, es frecuente encontrar muros de gran anchura con problemas de humedad por ascensión capilar desde el subsuelo que provoca patologías en los revestimientos de dichos muros.

La naturaleza porosa de la mayoría de los materiales de construcción, crea una red interna capilar que permite la ascensión de la humedad que se ve favorecida en ocasiones por los agentes atmosféricos.



Parar la humedad impidiendo su paso, ha sido una actuación frecuente para reparar esta patología. En muchas de estas rehabilitaciones, esconder el problema ha hecho que aparezca de nuevo en niveles superiores anteriormente no afectados.



La solución más eficaz es hacer que los muros sean capaces por si solos de eliminar la humedad presente, en ocasiones será necesario además establecer medidas barrera.

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA OBRA

Del mismo modo que en el caso anterior, será necesario establecer en primer lugar el grado de consolidación y resistencia de los soportes realizando una limpieza y una retirada de las partes sueltas hasta encontrar un soporte sano.

Es necesario en cualquier caso, retirar el revoco a sanear al menos cincuenta centímetros por encima de la marca de humedad. Limpiar después el soporte y las zonas afectadas por sales, eliminando las zonas faltas de cohesión o poco resistentes.

Los rellenos y reparaciones se realizan con Mortero de Cal Hidráulica Natural evitando el empleo de cemento.

Para realizar la capa de saneamiento, utilizar un Mortero de Saneamiento, tipo Morcem®Cal Porógeno.



Estos morteros tienen favorecida la red capilar y ocluyen espacios en su interior donde pueden depositar sales, impidiendo de esa forma el afloramiento de las mismas a la superficie.





Se debe aplicar una primera capa de agarre de forma regular, con un espesor aproximado de medio centímetro, dejando una terminación rugosa. Después del primer endurecimiento, se aplica el mortero porógeno por capas de unos dos centímetros cada una, hasta obtener un espesor final de entre dos y cuatro.

Para decorar la superficie hay que utilizar o morteros coloreados o pinturas traspirables, base silicato, que no impidan el paso de vapor de agua a su través.



6. PAISAJE EXTERIOR.

El entorno es la parte final de toda rehabilitación, que proporciona esplendor a la ejecución de la obra y permite unos accesos adecuados. La estabilización de los pavimentos exteriores debe servir de continuación y remate a la rehabilitación realizadas



Es importante realizar estos tratamientos con productos naturales, ecológicos, con aspecto natural que den al pavimento un aspecto acorde al entorno y no produzcan impacto visual.



Los pavimentos estabilizados con Cal Hidráulica Natural y mezcla de áridos seleccionados y tratado de forma natural que le confieran unas propiedades adecuadas y constantes.

Los pavimentos naturales deben tener las siguientes características:

- Que estén formulados con productos naturales.
- Que sean dosificados en fábrica con el consiguiente control de calidad sobre sus propiedades finales
- Aspecto natural e integración con el entorno
- Debe ser permeable para que no genere charcos, barro ni polvo y evite la escorrentía superficial y la erosión que produce.
- Debe evitar el crecimiento de hierbas para asegurar su durabilidad
- Debe permitir la formación de pendientes para asegurar la evacuación de las aguas pluviales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR, *UNE 41805-1 IN - Conservación y Rehabilitación de edificios, Generalidades.*
- [2] AENOR, «UNE-EN 41807 IN - Reparación de Revocos de Morteros,» AENOR, Madrid, 2012.
- [3] AENOR, *UNE-EN 998-1 - Morteros para Albañilería.*
- [4] AENOR, *UNE-EN 459-1 - Cales para la Construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterio de conformidad.*, Madrid: AENOR, 2011.
- [5] P. F. ORÚS, *Materiales de Construcción*, Madrid: DOSSAT, 1985.
- [6] A. Pérez, «FICAL - Forum Ibérico de la Cal,» [En línea]. Available: http://fical.org/index.php?option=com_content&view=article&id=45:tipos-de-cal&catid=6:tipos-de-cal&Itemid=276. [Último acceso: 2014].
- [7] O. Rodríguez-Mora, *Morteros Guía General*, Madrid: AFAM, 2003.
- [8] O. Rodríguez-Mora, *Morteros para fábricas*, Madrid: AFAM, 2004.
- [9] P. B. A. L. E. N. Ó. R. M. D. T. D. V. Igone Azkárate, *Morteros Especiales*, Madrid: AFAM, 2005.
- [10] P. B. R. C. J. A. L. D. M. M. P. M. E. N. Á. d. I. P. F. R. Ó. R. M. J. R. A. T. Igone Azkárate, *Morteros de Revestimiento*, Madrid: AFAM, 2006.
- [11] E. S. C. M. M. F. M. S.-d.-R. M. Corroto, «Reparación de revocos de morteros. Nuevos documentos normativos de AENOR,» *Informes de la Construcción*, pp. 141-151, 2012.
- [12] AENOR, *998-2 - Especificaciones de los morteros para albañilería, parte 2 - Morteros para albañilería*, Madrid: Aenor, 2004.
- [13] AENOR, *UNE- EN 13914-1 - Diseño, preparación y aplicación del revoco y del enlucido, parte 1 - Revoco de exteriores*, Madrid: AENOR, 2006.
- [14] AENOR, *UNE 41805-10 IN - Estudio Patológico del edificio. Fachadas No Estructurales.*