

## EL MORTERO DE REPARACIÓN MÁS ADECUADO

El hormigón es un material que se deteriora con el paso del tiempo y con el efecto de diversos agentes, como los factores meteorológicos. El mortero es un elemento muy común que se emplea para solventar problemas con el hormigón. Los morteros pueden tener diferentes funciones entre otras aportar estabilidad a una estructura que haya sido previamente montada, ya que funcionan como relleno.

### Patologías puede padecer el hormigón

En general, se puede distinguir entre defectos estructurales, físicos y químicos. Las sobrecargas, los impactos y las fisuras son los más comunes en el primer caso, aunque una explosión o un movimiento de tierra están catalogados dentro de este campo.

Los defectos físicos son el desgaste, la erosión, la retracción o los cambios bruscos de temperatura, ya que es un material con escasa tracción. Mientras que, dentro de las patologías químicas se incluyen las causas biológicas, la carbonatación, los ataques por ácidos y los ataques por sulfatos, entre otros. La reparación de los elementos estructurales componentes, sus conexiones y el sistema estructural en su conjunto deben ser diseñados de acuerdo con el criterio de restitución de capacidad resistente. En caso de refuerzo, este debe ser diseñado de acuerdo con el resultado y criterio establecido en el análisis estructural.

Para el caso de elementos no estructurales, el proyecto deberá considerar la estabilidad de éstos con el fin de preservar la seguridad y serviciabilidad de los recintos. Para lo anterior deberá considerar lo establecido en la normativa nacional vigente para este tipo de elementos.

El proyecto de reparación y/o refuerzo que incorpore nuevos elementos resistentes a la estructura deberá considerar la interacción de esta con el elemento adicionado, además deberá asegurar que el nuevo sistema estructural creado, ante cualquier sollicitación, sea capaz de transferir las cargas entre el elemento existente y el material o sistema de reparación.

La selección de los adhesivos utilizados en el proyecto de reparación y/o refuerzo deberá considerar, entre otros aspectos, la materialidad del sustrato y del elemento a adherir, tipo y duración de la carga, las condiciones climáticas de trabajo y a las que estará expuesto y el efecto que tendrá esto último en sus propiedades.

El proyecto de reparación y/o refuerzo deberá especificar la resistencia y capacidad máxima sobre la cual se determinó el uso del adhesivo en el proyecto.

Para la elección de los materiales a considerar en el diseño de reparación y/o refuerzo, el proyectista debe considerar a lo menos lo siguiente:

- Propiedades de los materiales de reparación
- Tipo de aplicación
- Adherencia

- Retracción
- Dilatación térmica
- Durabilidad
- Resistencia a la corrosión
- Métodos de instalación
- Requisitos de curado
- Compatibilidad con la estructura
- Condiciones medioambientales, entre otros

Los materiales de reparación y armaduras se deben seleccionar de tal manera que las características de cada material no afecten adversamente la durabilidad de los otros materiales.

### Características de los morteros de reparación

La diferente proporción de polímeros acrílicos o epoxídicos otorga a la mezcla distintas propiedades, mientras que su presentación puede darse en emulsión con dos componentes o en una unión con ligantes hidráulicos en forma de lechada. De acuerdo con sus prestaciones, se diferencia entre morteros de reparación no estructural, clasificados en R1 y R2, y morteros de reparación estructural, que se clasifican en R3 y R4. En los siguientes cuadros se muestran los requisitos que cumple cada uno:

Características	Clasificación	
	R2	R1
Resistencia a la Comprensión	> 10 MPa (2,175.57 PSI)	> 10 MPa (1,450.38 PSI)
Contenido en iones cloruro	< 0.05%	
Adhesión	> 0,8 MPa (1,160.3 PSI)	
Retracción/expansión (resistencia de unión después de ensayo)	> 0,8 MPa (1,160.3 PSI)	Ningún requisito
Resistencia a la carbonatación	Ningún requisito	
Módulo de elasticidad	Ningún requisito	
Compatibilidad térmica Parte 1: hielo/deshielo (50 ciclos)	> 0,8 MPa (1,160.3 PSI)	Inspección visual después de 50 ciclos
Compatibilidad térmica Parte 2: lluvia tormentosa (30 ciclos)	> 0,8 MPa (1,160.3 PSI)	Inspección visual después de 30 ciclos
Compatibilidad térmica Parte 3: ciclo seco (30 ciclos)	> 0,8 MPa (1,160.3 PSI)	Inspección visual después de 30 ciclos
Resistencia al deslizamiento	Clase I: > 40 unidades ensayadas en húmedo Clase II: > 40 unidades ensayo en seco Clase III: 55 unidades ensayo en húmedo	
Coefficiente de dilatación térmica	No se requiere si se han efectuado los ensayos 7, 8 o 9; en otro caso el valor declarado	
Absorción capilar	< 0,5 Kg m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup>	Ningún requisito

Los morteros de reparación estructural presentan una elevada capacidad de adherencia, altas capacidades mecánicas de compresión y flexotracción, y una elevada resistencia química para impedir que su exposición a la intemperie cause deterioro.

Características	Clasificación	
	R4	R3
Resistencia a la Compresión	> 54 MPa (6526.7 PSI)	> 25 MPa (3625.94 PSI)
Contenido en iones cloruro	< 0.05%	
Adhesión	> 2.0 MPa (290.075 PSI)	> 1.5 MPa (217.557 PSI)
Retracción/expansión (resistencia de unión después de ensayo)	> 2.0 MPa (290.075 PSI)	> 1.5 MPa (217.557 PSI)
Resistencia a la carbonatación	Hormigón de control MC (0.45)	
Módulo de elasticidad	> 2.0 MPa (290.075 PSI)	> 1.5 MPa (217.557 PSI)
Compatibilidad térmica (50 ciclos de hielo/deshielo - 30 ciclos de lluvia - 30 ciclos secos)	> 2.0 MPa (290.075 PSI)	> 1.5 MPa (217.557 PSI)
	Adherencia después de los ciclos	
Resistencia al deslizamiento	Clase I, II o III	
Coefficiente de dilatación térmica	Valor declarado (No se declara si hay compatibilidad térmica)	
Absorción capilar	< 0,5 Kg m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup>	

De acuerdo con el criterio de su composición, podemos hablar de:

**Mortero polimerizado:** fragua con una reacción de polimerización y cuenta en su composición tanto con áridos como con conglomerante polimérico.

**Morteros hidráulicos:** después de mezclarlos con agua, fraguan por hidratación. Se mezclan con áridos calibrados, aditivos y, en ocasiones, con otras adiciones.

**Mortero hidráulico polimerizado:** se utiliza por las propiedades específicas que presenta debido a las adiciones poliméricas que posee.

**Morteros hidráulicos con conglomerante polimérico reactivo:** se usa para su composición un componente a base de un polímero reactivo y un catalizador. En ocasiones incluyen adiciones.

El uso masivo de concreto como principal material de construcción hace indispensable conocer todas sus propiedades mecánicas para tener unos diseños acertados de los proyectos de reparación con mortero.

## Propiedades del hormigón

**Resistencia a la compresión.** Esfuerzo máximo que puede soportar el concreto bajo una carga de aplastamiento. Es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

**La resistencia a la flexión** es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el **Módulo de Rotura (MR)** en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%.

**Módulo de elasticidad.** Módulo de deformación longitudinal (o módulo de Young). Es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. Los materiales pueden llegar hasta cierta deformación máxima, es lo que se conoce como límite elástico. Si se sobrepasa este límite, la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Si el esfuerzo que incide sobre el material supera las fuerzas internas de cohesión, el material se fisura y termina por fallar. El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo, e influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura.

El hormigón no es un material verdaderamente elástico, pero el hormigón que ha endurecido por completo y se ha cargado en forma moderada tiene una curva de esfuerzo de compresión deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se hace por medio de la Norma Técnica ASTM C 469 y tiene como principio la aplicación de carga

estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.

**La retracción** es la disminución del volumen del concreto durante el proceso de fraguado del mismo, y se produce por la pérdida de agua (debida a evaporación) en la fase de fraguado y endurecimiento. Dicha pérdida de volumen genera tensiones internas de tracción que dan lugar a las fisuras de retracción.

El concreto se expande y contrae con los cambios de temperatura y de humedad. Al aumentar la temperatura o el contenido de humedad del concreto, se produce la expansión. Para estimar la expansión, multiplique la longitud en pulgadas x el número de grados de diferencia de temperatura prevista x 0.000055.

**El flujo plástico** y la contracción tienen un considerable impacto sobre el desempeño de las estructuras de concreto, provocando un incremento en las deformaciones y una redistribución de esfuerzos. El flujo plástico en el concreto representa un cambio dimensional en el elemento bajo la influencia de cargas sostenidas.

**Compatibilidad térmica** las variaciones de temperatura provocan en la masa de hormigón movimientos térmicos diferenciales que pueden amplificar su sistema interno de microfisuras. Por ello, en los hormigones que hayan de estar sometidos a variaciones importantes de temperatura, conviene escoger los materiales componentes de forma que su compatibilidad térmica sea la mayor posible.

**Absorción capilar.** Es el parámetro que caracteriza es la velocidad de ascensión capilar o sorptivity. es una propiedad hidráulica fácilmente mensurable, que caracteriza la tendencia de un material poroso a absorber y transmitir agua a través de su masa por succión capilar. Representa la porosidad efectiva al agua y por lo tanto a los agentes agresivos ambientales. Este parámetro representa el mecanismo de transporte que habitualmente se presenta en aquellas estructuras en las que el hormigón se encuentra sujeto a ciclos de humedecimiento y secado.

El porcentaje de porosidad efectiva de los hormigones está considerado una medida del grado de durabilidad de las estructuras frente a los agentes agresivos.

Las características de los primeros centímetros exteriores de las estructuras de hormigón (conocido como “cover concrete”) desempeñan un rol fundamental en la durabilidad de la armadura. El mortero de recubrimiento es el que se encuentra en contacto con el medio y por lo tanto, el que constituye la barrera de protección de la zona interna condicionando el ingreso de sustancias agresivas

que pueden degradar tanto al hormigón como a las armaduras.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS MORTEROS DE REPARACIÓN

Consiste en un material predosificado, de granulometría estudiada para determinados márgenes de espesor de recubrimiento. Presentan altas resistencias, así como adherencias importantes sobre los soportes a regenerar.

Las Resistencias mecánicas de los morteros destinados a reparaciones de hormigón deben atender fundamentalmente en su respuesta a las tensiones provocadas por pequeños movimientos diferenciales del soporte, tensiones generadas por cambios ambientales e impactos o agresiones externas. Distinguimos dos tipos de resistencias relacionadas con las sollicitaciones que deberá de soportar el mortero: compresión y tracción.

**La resistencia a compresión** nos proporciona una idea de la cohesión interna del mortero. Indica, así, su capacidad de soportar presiones sin disgregarse. La cohesión también se relaciona con el grado de estanqueidad que será capaz de alcanzar una vez dispuesto.

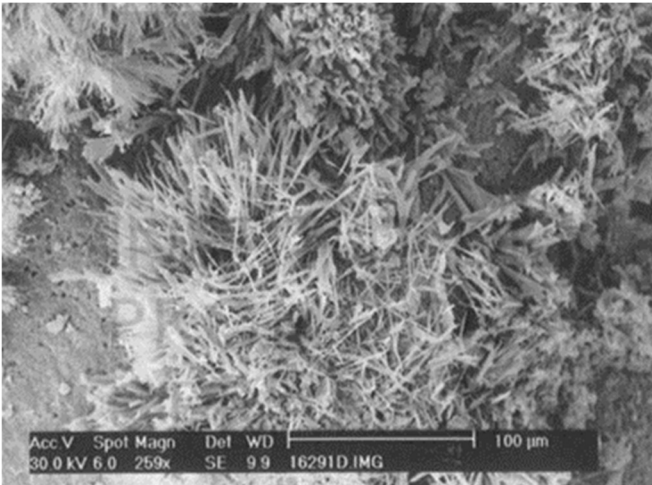
**La resistencia a tracción** nos proporciona información sobre la dificultad que oponen las partículas a separarse. Como en el resto de este tipo de materiales la resistencia a tracción es baja, por lo que debe asegurarse que el material no estará expuesto a estas sollicitaciones.

Estas resistencias mecánicas de los morteros de reparación no deben ser superiores a la de los soportes. El mortero debe ser lo suficientemente flexible para acompañar leves movimientos del soporte por causas térmicas o estructurales. Una excesiva rigidez provocaría la aparición de fisuras o agrietamientos.

**La adherencia** es la capacidad del mortero de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie del soporte. Es, posiblemente, la principal propiedad que se debe exigir al mortero pues de ella depende la estabilidad del recubrimiento. Una adherencia correcta impedirá que el mortero se desprege del soporte como consecuencia de sus variaciones dimensionales. En el mortero endurecido la adherencia depende fundamentalmente de la naturaleza de la superficie del soporte, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de los áridos empleado.

La adherencia de los materiales (morteros de reparación), tanto al hormigón, como a la barra de acero, en el parcheo que se realice. Si los morteros adhieren perfectamente, formarán parte resistente de la estructura, como el hormigón original, tal y como especifica el Código Estructural. Si los morteros se colocan de cualquier forma, con una mala adherencia, los parches realizados serán simplemente unos elementos postizos que no ayudan estructuralmente y tendremos suerte si no se caen.

La adhesión mecánica se produce por la trabazón que se crea en la hidratación del conglomerante (sea cal o cemento), al producirse silicato cálcico hidratado.



Los filamentos o agujas, tal como se puede apreciar en la imagen adjunta, actúan a corta distancia y confieren cohesión al mortero, enlazan y aglomeran los áridos presentes, son responsables de las características físicas del mortero una vez endurecido, y constituyen el anclaje a los poros y textura de las superficies con las que entran en contacto.

Al fenómeno de desarrollo de los filamentos se le llama hidratación y en la fase final de endurecimiento del mortero, una vez completada en su mayor parte la hidratación, se produce la trabazón de esos filamentos. Ese proceso explica las propiedades mecánicas de los morteros una vez endurecidos y también explica la rigidez de los mismos.

## RECUBRIMIENTOS

En el caso de las reparaciones y/o refuerzo que incluyan elementos de hormigón armado, los requisitos de recubrimiento de las armaduras deben estar de acuerdo con la normativa vigente o la que se adopte para el proyecto de reparación. Cuando el recubrimiento existente es insuficiente para proporcionar protección contra la corrosión, se debe proporcionar recubrimiento adicional o un medio alternativo de protección para mitigar la corrosión de las armaduras dentro del área de reparación. Al respecto, y en relación con el diseño de los elementos de hormigón armado y la normativa actual vigente, dependiendo del tipo de exposición al que vaya estar sujeto el elemento, en su condición de servicio se debe considerar lo estipulado en ACI 318 capítulo 4, referido a los requisitos de durabilidad del hormigón.

Para métodos y materiales alternativos, el proyectista puede especificar un recubrimiento equivalente el cual deberá proporcionar suficiente protección contra la corrosión e incendios.

## GRIETAS

El diseño de las reparaciones deberá considerar los efectos de las grietas en la durabilidad, rendimiento y vida útil de diseño esperados para el proyecto de reparación y/o refuerzo. La reparación de las grietas deberá ser evaluada y considerada en el diseño de reparación y considerar la posible pérdida de resistencia del elemento o modificación de su capacidad original.

## CORROSIÓN Y DETERIORO DE LAS ARMADURAS

Los materiales de reparación y/o refuerzo no deben contener componentes corrosivos para las armaduras en el área de reparación. Los áridos a emplear deben cumplir con los requisitos de la norma NCh 163.

Cuando se evalúa la durabilidad y la resistencia de un miembro estructural a largo plazo, se debe considerar que la corrosión de las armaduras se encapsula dentro de los nuevos materiales de reparación.

Las armaduras de acero existentes y las adicionadas deben ser protegidas de la corrosión y deterioro. Se debe considerar la corrosión galvánica entre materiales electroquímicamente diferentes.

Si se utilizan sistemas de protección electroquímicos para proteger el acero de refuerzo en las zonas de reparación, se deberá considerar la interacción de este sistema con los elementos reparados, con toda la estructura y el medioambiente.

## REVESTIMIENTOS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Si dentro de las obras de reparación y/o refuerzo se incluyen revestimientos y/o tratamientos superficiales, es importante considerar la influencia que tendrá la transmisión de humedad que se genera por este tipo de obras.

La selección de los tratamientos superficiales debe considerar las grietas existentes y su potencial de movimiento en la durabilidad del sistema de reparación, el tratamiento de superficie, y la vida de servicio esperada de la estructura

## Normas Aplicables

- Norma UNI EN 1504 Productos y sistemas para la protección y la reparación de las estructuras de hormigón
- American Concrete Institute, ACI 309R-05 Guide for Consolidation of Concrete.
- American Concrete Institute, ACI RAP-5, Field guide to concrete repair application procedures: Surface Repair Using Form-and- Pump Techniques.
- American Concrete Institute, ACI RAP-6, Field guide to concrete repair application procedures: Vertical and Overhead Spall Repair by Hand Application.
- Portland Cement Association, PCA R&D Serial No. 2951 Environmental Performance of Concrete.
- ICRI Guideline No. 310.1R-2008 : Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion.
- American Concrete Institute, ACI 546R Guía para la reparación del concreto.