

CUADERNOS DE FORMACIÓN

OBRA CIVIL – Módulo 1

MORTEROS PARA LA REPARACIÓN Y PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN

“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 - REPARACIÓN Y PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN.....	5
1. INTRODUCCIÓN	5
2. EL HORMIGON	6
3. INTRODUCCION A LA NORMATIVA.....	7
3.1. Evaluación de las condiciones de la estructura	8
3.2. Identificación de las causas del deterioro	8
3.3. Definición de los objetivos de reparación y protección aceptada por los propietarios de la estructura de hormigón.	8
3.4. Selección de los métodos y principios más adecuados para la protección y la reparación	9
3.5. Definición de las propiedades de los productos y de los sistemas.	10
3.6. Especificación de los requisitos de mantenimiento.	10
4. LA DURABILIDAD DEL HORMIGON	11
4.1. Proceso de Corrosión	12
4.1.1 Corrosión generalizada	13
4.1.2. Corrosión localizada.....	15
5. TRATAMIENTO DEL HORMIGON.....	20
5.1. Objetivo de los Procesos de Reparacion y Proteccion	20
5.2. Procedimiento de Ejecución Reparación del Hormigón.....	20
5.2.1. Inspección y Diagnóstico.	20
5.2.2. Operaciones previas: tratamiento del soporte y armadura.	20
5.2.3. Aplicación del mortero de reparación.	26
5.3. ESQUEMA REPARACIÓN HORMIGÓN:.....	27
6. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS DE REPARACIÓN:.....	29
7. CURADO	31
8. PROTECCIÓN FINAL DEL HORMIGÓN	31
8.1. Procedimiento de ejecución protección del hormigón.....	31
8.2. Procedimiento de ejecución protección de armaduras mediante inhibidores de corrosión migratorios.....	33

MÓDULO 1 - REPARACIÓN Y PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN

1. INTRODUCCIÓN

Es frecuente remontar los antecedentes del hormigón armado hasta el romano “opus caementicium” así como situar el momento de su invención en patentes de las jardineras prefabricadas de Joseph Monier (1867) o en la barca de Louis Lambot (1849). Pero en realidad el nacimiento de esta técnica se produce de forma paulatina y simultánea en muchos lugares, cuando el desarrollo tecnológico del cemento y de los modos de la puesta en obra lo permitieron.

Con frecuencia se ha considerado al hormigón armado como un material “eterno”; ya que el hormigón aporta una protección de tipo químico hacia el acero, por su alta alcalinidad y supone una barrera física que aísla a la armadura de la atmósfera. Sin embargo, no es menos evidente el crecimiento número de estructuras que muestran corrosión de su armadura, con las graves consecuencias económicas y sociales que su reparación supone.

Cuando el hormigón se ve afectado por defectos físicos, químicos o mecánicos es necesario realizar intervenciones específicas que ayudan a mantener la funcionalidad del elemento o estructura, por lo que es necesario una adecuada intervención y reparación, así como prever el mantenimiento.

Este documento se presenta técnicas para la reparación y protección de estructuras de hormigón; técnicas que tienen como objetivo recuperar la integridad estructural de la estructura. Se da a conocer una metodología que permite seleccionar el método de reparación más adecuado en cada caso; con el objeto de ofrecer una protección adicional a la estructura frente a los agresivos externos, como son diferentes recubrimientos para el hormigón y el acero, protecciones mediante el uso de inhibidores de corrosión, protecciones superficiales mediante impregnaciones hidrofóbicas, impregnaciones o bien recubrimientos de cierto espesor.

2. EL HORMIGÓN

Los componentes clásicos y fundamentales del hormigón son, el cemento, los áridos, aditivos que mejoran sus prestaciones finales y de puesta en obra y el agua debidamente dosificada.

El hormigón es hoy día el material de construcción más importante y utilizado con mayor frecuencia en obra civil y edificación.

Podemos encontrar dos tipos de hormigón:

TIPOS de HORMIGÓN	
HORMIGÓN EN MASA	Es el hormigón que <u>no contiene en su interior armaduras</u> de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión.
HORMIGÓN ARMADO (HA)	Es el hormigón que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el hormigón más habitual.

El hormigón debe su excepcional importancia al acero, con el que puede combinarse ventajosamente, dando lugar al hormigón armado. Esta solidez de la construcción, demostrada mediante cálculo no queda garantizada solamente en el momento de la construcción de la obra, sino también durante la totalidad de su vida normal. Si bien en la práctica, si existen agentes patógenos conducen según su importancia a unos defectos que se presentan tarde o temprano conocidos comúnmente con el nombre de daños. Los daños pueden aparecer en la superficie del hormigón pero también puede presentarse en su interior, ocultos tras una superficie intacta.

Una reparación de daños no elimina los agentes que los ha causado. Es preciso tomar medidas que eviten su acción actuando sobre las mismas causas. En la mayoría de los casos, se consigue esto mediante una protección suplementaria de la superficie del hormigón.

3. INTRODUCCION A LA NORMATIVA

La protección y la reparación de estructuras de hormigón requiere un trabajo de proyecto complejo. Esta norma define los principios para la protección y reparación de las estructuras de hormigón que han sufrido o pueden sufrir daños o deterioro e incluye una guía sobre la selección de los productos y sistemas más apropiados para acometer la intervención. (NORMA UNE EN 1504).

La norma consta de 10 documentos.

Con estos documentos se definen los productos para la protección y reparación de estructuras de hormigón.

“Productos y Sistemas para la Protección y Reparación de Estructuras de Hormigón”.

UNE - EN 1504 - 1	Definiciones
UNE - EN 1504 - 2	Sistemas de protección superficial para el hormigón
UNE - EN 1504 - 3	Reparación estructural y no estructural
UNE - EN 1504 - 4	Adhesión estructural
UNE - EN 1504 - 5	Productos y sistemas para inyección del hormigón
UNE - EN 1504 - 6	Anclaje de armaduras de acero
UNE - EN 1504 - 7	Protección contra la corrosión de armaduras
UNE - EN 1504 - 8	Control de calidad y evaluación de conformidad
UNE - EN 1504 - 9	Principios generales para el uso de productos y sistemas
UNE - EN 1504 - 10	Aplicación “in situ” de los productos y sistemas y control de calidad de los trabajos.

Las fases principales en el proceso de reparación y protección según Norma Europea UNE - EN - 1504 son:

1. Evaluación del estado de la estructura.
2. Identificación de las causas del deterioro.
3. Decidir los objetivos de reparación y protección conjuntamente con los propietarios.
4. Selección de los métodos y principios más adecuados para la protección y la reparación.
5. Definición de las propiedades de los productos y de los sistemas.
6. Especificación de los requisitos de mantenimiento.

3.1. Evaluación de las condiciones de la estructura

La reparación correcta de una estructura comienza por una evaluación correcta de su estado, y por una identificación de las causas de la degradación.

La evaluación debe ser realizada por personal cualificado.

Analizar:

- Estado de la estructura.
- Exposición pasada, presente y futura.

3.2. Identificación de las causas del deterioro

El deterioro diferentes causas de las causas del deterioro pueden ser :

- Mecánicas: sobrecargas, asentamientos, impactos, etc ...
- Químicas: agentes agresivos, reacción AAR, etc ...
- Físicas: hielo - deshielo, efecto térmico, erosión, retracción, etc
- Daños por fuego
- Corrosión debido a
 - o Carbonatación
 - o Ataque por cloruros
 - o Corrientes Vagabundas
- Defectos de diseño de la estructura.

3.3. Definición de los objetivos de reparación y protección aceptada por los propietarios de la estructura de hormigón.

Posibles actuaciones a llevar a cabo:

- No llevar a cabo ninguna acción; No actuar.
- Recalculo de la capacidad estructural; Actuar sobre el foco agresor.

- Prevenir o reducir el deterioro de la estructura; situación más común.
- Mejora, refuerzo o limpieza total o parcial de la estructura; situación más común.
- Demolición parcial o total de la estructura; situación más común.

3.4. Selección de los métodos y principios más adecuados para la protección y la reparación

Para cumplir con los futuros requerimientos del propietario, se seleccionan los principios para la reparación y la protección; y posteriormente el mejor método.

La parte 3 de la norma hace referencia a la reparación estructural y no estructural.

Cubre aquellos morteros y hormigones de reparación que puedan ser utilizados conjuntamente con otros productos:

- Para restaurar o sustituir hormigón defectuoso o contaminado.
- Para proteger la armadura.

Principio 3	Restauración de hormigón	Método 3.1.	Aplicación manual del mortero
		Método 3.2.	Relleno con hormigón y mortero
		Método 3.3.	Proyección de hormigón y mortero
Principio 4	Refuerzo Estructural	Método 4.4.	Adición de mortero u hormigón
Principio 7	Conservación o restauración del pasivado	Método 7.1.	Incremento recubrimiento de armadura con mortero u hormigón
		Método 7.2.	Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado

Cada principio incorpora varios métodos y cada método corresponde a la aplicación de un material.

Los métodos para la reparación y protección de estructuras se detallan en el documento EN 1504 - parte 9 y están agrupadas en 11 principios;

a. Principios relacionados con los defectos del hormigón:

- Protección contra los agentes ambientales.
- Control de la humedad.
- Reparación del Hormigón.
- Refuerzo estructural.
- Resistencias al ataque físico.
- Resistencia a los productos químicos.

b. Principios relacionados con los defectos del armado:

- Conservación o Resistencia del pasivado.
- Incremento de la Resistividad.
- Control catódico.
- Protección Catódica.
- Control de Áreas Anódicas.

3.5. Definición de las propiedades de los productos y de los sistemas.

La selección de los Principios y Métodos para la Reparación y la Protección y las prestaciones requeridas de los productos se definen en la norma UNE - EN 1504 - Capítulos 2 a 7.

2. Protección Superficial del Hormigón.
3. Reparación Estructural y No Estructural.
4. Adhesión Estructural.
5. Inyección del hormigón.
6. Anclaje de barras de armado.
7. Protección de armaduras frente a corrosión.

Las condiciones y limitaciones de aplicación para cada tipos de material se recogen en la parte 10 de la UNE - EN - 1504.

3.6. Especificación de los requisitos de mantenimiento.

Se deben definir los trabajos de mantenimientos futuros:

- Vida esperada y tipo de deterioro de los materiales de reparación.
- Periodos de inspección: si/no, quien y cuando ...
- Definición de si hace falta algún control de corrosión.

Los registros completos de todos los materiales utilizados se deberían tener disponibles, para posibles trabajos futuros, al final de cada proyecto.

4. LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

Un hormigón es durable, cuando resiste en grado satisfactorio, los defectos de las condiciones del entorno a los que ha sido expuesto, tales, entre otros, como el desgaste y las condiciones atmosféricas y físico-químicas.

La condición que siempre se exige a las construcciones, independientemente de su importancia, es que cumplan el cometido al cual se las destina durante un período de tiempo dado. Esta condición lleva implícita la inalterabilidad de las cualidades o por lo menos la limitada variación de ellas frente a las condiciones ambientales de servicio. Y precisamente esa permanencia en el tiempo constituye la cualidad de durable.

Definición de durabilidad según EHE-08: “La durabilidad del hormigón como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo las armaduras”

La durabilidad del hormigón armado es el resultado natural de la doble acción protectora que el hormigón ejerce sobre el acero: por una parte, el recubrimiento supone una barrera física, por otra, la elevada alcalinidad del hormigón desarrolla sobre el acero una capa pasivante que lo mantiene inalterado por el tiempo indefinido.

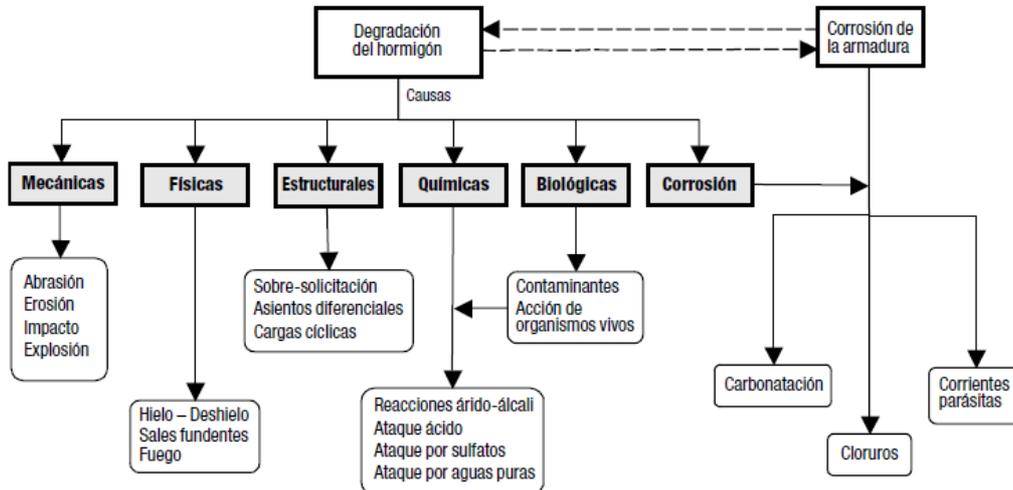
El hormigón es un material poroso, pese a su apariencia de material denso y pétreo. Para asegurarse una micro-estructura lo más compacta posible, evitando que resulte muy permeable a líquidos y gases, se deben cumplir algunos requisitos de dosificación (contenido mínimo de cemento y máxima relación agua cemento) teniendo especial cuidado en la puesta en obra y el curado del hormigón, para garantizar que la estructura mantenga las prestaciones básicas de servicio (funcionalidad, estética y seguridad) durante la vida útil estimada en proyecto, según se indica en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

El exceso de agua de amasado genera una gran porosidad abierta en el interior del hormigón constituyendo el camino de entrada a los agentes exteriores.

La presencia de agua o humedad es el principal factor de los diferentes tipos de deterioro, a excepción del mecánico. Además, la penetración en el hormigón de los gases ácidos como el CO₂ o el SO₂, o la penetración de agentes altamente corrosivos (tipo cloruros...) pueden acabar produciendo corrosión en las armaduras y consecuentemente graves problemas estructurales.

C - Las causas de la degradación del hormigón

Las causas de la degradación pueden dividirse en seis grandes familias:



4.1. Proceso de Corrosión

La causa más importante del deterioro de las estructuras de hormigón es la corrosión de armaduras. En la atmósfera, el fenómeno se caracteriza por la aparición de manchas de óxido, fisuras y desprendimiento del recubrimiento de hormigón.

La corrosión afecta a tres características del hormigón armado:

- Características mecánicas del acero al disminuir su sección.
- Características mecánicas del hormigón que rodea a la armadura, debido a la fisuración del recubrimiento por efecto de la expansión de los óxidos que se generan por corrosión.
- Pérdida de adherencia entre el hormigón y el acero, como consecuencia de las dos anteriores.

Podemos considerar dos tipos de corrosión: generalizada y localizada.

4.1.1 Corrosión generalizada

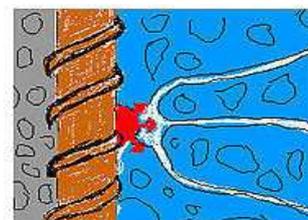
Carbonatación del hormigón; es decir; la reacción del dióxido de carbono de la atmósfera con sustancias alcalinas de la matriz de los poros produciendo un descenso de pH provocando la desprotección del acero.



SE HA INICIADO LA CARBONATACIÓN (ZONA AZUL) PERO EL HORMIGÓN QUE RODEA LA ARMADURA CONTINÚA SIENDO ALCALINO (PH > 12,5) Y POR TANTO EL HIERRO ESTÁ PASIVO



EL FRENTE DE CARBONATACIÓN SIGUE AVANZANDO Y CON MÁS INTENSIDAD A TRAVÉS DE LAS FISURAS O CAPILARES QUE LLEGAN A LA ARMADURA. EN ESE PUNTO EL PH ES INFERIOR A 9 Y EL HIERRO ESTÁ DESPASIVADO



ES SUFICIENTE LA PRESENCIA DE AGUA Y OXÍGENO PARA QUE ESE PUNTO SE "PONGA FE0" $FE + O$ EL HIERRO AL OXIDARSE SE HINCHA Y PROVOCA LA ROTURA DEL HORMIGÓN

Avance Carbonatación



Test de Fenofaleína; probeta laboratorio expuesta ambiente carbonatación.



Hormigón Carbonatado (zona coloreada - hormigón sano)

Cuando el cemento se mezcla con el agua sus distintos componentes se hidratan formando un conglomerado sólido, constituido por las fases hidratadas del cemento y una fase acuosa que proviene del exceso de agua de amasado necesaria para la mezcla adecuada de todos sus componentes. El hormigón resulta pues un sólido compacto y denso, pero poroso. La red de poros permite que el hormigón presente una cierta permeabilidad a los líquidos y los gases. Así, aunque el recubrimiento de las armaduras supone una barrera física, ésta es permeable en cierta medida y permite el acceso de elementos agresivos hasta el acero.

La alcalinidad inicial del hormigón, de un valor de pH comprendido entre 12,6 y 14, proporciona una protección al acero frente a la corrosión.

Un descenso del valor del pH del hormigón implicará una desprotección de las armaduras y podrán comenzar procesos de corrosión.

Una de las causas más conocidas y habituales de la disminución del pH es la carbonatación que se produce cuando reacciona el anhídrido carbónico (CO₂), abundante en la atmósfera, con el óxido cálcico del hormigón para formar carbonato cálcico.

El ensayo que se realiza, con el fin de evaluar el hormigón carbonatado es pulverizar una zona de hormigón con fenolftaleína al 1% en etanol, observándose las zonas que mantienen todavía el pH alcalino.

La velocidad de avance de la carbonatación es un proceso lento que se atenúa con el tiempo, ajustando sea una ley parabólica del tipo:

$$X = K (t)^{-1/2}$$

Siendo:

- X = profundidad carbonatada
- t = tiempo
- K = constante, que depende de la calidad del hormigón y de las condiciones ambientales a que está sometido.

Una vez obtenida la K se podrá predecir el comportamiento futuro de la carbonatación siempre que no varíen las condiciones ambientales.

4.1.2. Corrosión localizada

La presencia de iones despasivantes; esencialmente cloruros, superando un determinado umbral crítico, necesario para romper localmente las capas pasivantes. Estos cloruros tienen la propiedad de destruir de forma puntual la capa pasivante, lo que puede provocar una corrosión conocida con el nombre de "por picaduras". Estos cráteres son el ánodo de la pila de corrosión, por lo que progresan en profundidad, pudiendo llegar a producir la rotura puntual de las barras. Como regla general, se considera que cantidades del orden de 0,05 % a 0,1% de cloruros son suficientes para favorecer la corrosión de las armaduras.



Ambiente Marinos



Presencia de iones cloruros (ambientes marinos)

En las siguientes tablas se definen los principios y los métodos de Reparación de acuerdo con la Parte 9 de la UNE - EN - 1504.

1. Tabla relativa a los defectos del hormigón.

Principio N °	Definición del principio	Métodos basados en el principio
Principio 1 [PI]	Protección contra la penetración Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos, como el agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos y biológicos.	1.1 Impregnación Aplicación de productos líquidos que penetran en el hormigón y obstruyen el sistema de poros.
		1.2 Revestimiento superficial con, o sin, capacidad de puenteo de fisuras
		1.3 Fisuras con vendaje local
		1.4 Relleno de fisuras
		1.5 Continuidad de las fisuras a través de las juntas
		1.6 Levantamiento de paneles exteriores
		1.7 Aplicación de membranas
Principio 2 [MC]	Control de humedad Ajuste y mantenimiento del contenido de humedad en el hormigón dentro de un intervalo de valores especificado.	2.1 Impregnación hidrófoba (hidrorrepelente)
		2.2 Revestimiento superficial
		2.3 Protección o sobrerrevestimiento
		2.4 Tratamiento electroquímico Aplicación de una diferencia de potencial entre partes del hormigón para ayudar o evitar el paso del agua a través del hormigón. (No para el hormigón armado sin evaluación del riesgo de inducción a la corrosión).
Principio 3 [CR]	Restauración del hormigón Restauración del hormigón original de un elemento de la estructura a la forma y función especificada originalmente	3.1 Aplicación de mortero a mano
		3.2 Relleno de hormigón
		3.3 Proyección de hormigón o mortero
		3.4 Reemplazo de elementos
Principio 4 [SS]	Refuerzo estructural Incremento o restauración de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón	4.1 Adición o reposición de las barras de acero estructural embebidas o exteriores
		4.2 Instalación de barras de unión en agujeros prefabricados en el hormigón
		4.3 Adhesión de chapas
		4.4 Adición de mortero
		4.5 Inyección de fisuras
		4.6 Relleno de fisuras, huecos o coqueras.
		4.7 Pretensado - (post - tensado)
Principio 5 [PR]	Resistencia al ataque físico Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico	5.1 Capas o revestimientos
		5.2 Impregnación
Principio 6 [RC]	Resistencia a los productos químicos Incremento de la resistencia de la superficie del hormigón al deterioro por ataque químico.	6.1 Capas o revestimientos
		6.2 Impregnación

2. Tabla relativa a los defectos de la corrosión de la armadura.

Principio N°	Definición	Métodos basados en el principio
Principio 7 [RP]	Conservación o restauración del pasivado Creación de las condiciones químicas en las que la superficie de la armadura se mantenga o retorne a las condiciones del pasivado	7.1 Incremento del recubrimiento de la armadura con mortero
		7.2 Reemplazo del hormigón contaminado
		7.3 Realcalinización electroquímica del hormigón carbonatado
		7.4 Realcalinización del hormigón carbonatado por difusión
		7.5 Extracción electroquímica de cloruros.
Principio 8 [RP]	Incremento de la resistividad Incremento de la resistividad eléctrica del hormigón	8.1 Limitación del contenido de humedad por tratamiento superficiales, revestimientos o protecciones
Principio 9 [RP]	Control catódico Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente catódicas de la armadura hagan imposible alcanzar una reacción anódica.	9.1 Limitación del contenido en oxígeno (en el cátodo) por saturación o revestimiento superficial
Principio 10 [RP]	Protección catódica	10.1 Aplicación de un potencial eléctrico.
Principio 11 [RP]	Control de áreas anódicas Creación de condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible una reacción de corrosión.	11.1 Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos
		11.2 Pintado de la armadura con revestimientos de barrera
		11.3 Aplicación de inhibidores de corrosión

Cuando una estructura ha sido evaluada y se conocen las causas del deterioro y el alcance del daño, se plantea su reparación, para ello se siguen las normas UNE - EN - 1504 “Productos y Sistemas para la Protección y Reparación de estructuras de Hormigón”. En éstas normas se sugiere que una vez definida la opción de reparación, previo diagnóstico; en la segunda fase se determina el principio de reparación y finalmente hay que seleccionar el método de reparación.

Estrategia a seguir en una reparación

- Causas del daño y grado de daño.
- Agresividad del medio.
- Consecuencias del daño y detalles estructurales.
- Tiempo para realizar la reparación y su coste.
- Disponibilidad de la técnica y materiales necesarios.

A continuación se detallarán los métodos más habituales en los trabajos destinados a la reparación y protección del hormigón.

5. TRATAMIENTO DEL HORMIGÓN

La siguiente descripción de los trabajos es aplicable a elementos de hormigón que hayan perdido su integridad estructural y/o geométrica, ya sea por causas físicas o químicas (definidas anteriormente), y ello les impida cumplir el cometido para el que fueron diseñados.

Es decir, será aplicable a pilares, vigas, losas... que por diversos motivos (sobrecarga, ataques químicos, humedad, defectos de hormigonado...) hayan perdido, en parte, sus características originales.

5.1. Objetivo de los Procesos de Reparación y Protección

El objetivo de una reparación de hormigón es devolver a éste último su geometría inicial y sobre todo, su capacidad estructural, eliminando el hormigón en mal estado y sustituyéndolo por un mortero de reparación cuyas características técnicas sean perfectamente compatibles con la naturaleza del hormigón a intervenir, y con la protección extendemos el uso del elemento construido, resultando en la mayoría de los casos que agotar su vida útil y reconstruir.

5.2. Procedimiento de Ejecución Reparación del Hormigón

5.2.1. Inspección y Diagnóstico.

Antes de cualquier intervención ha de hacerse un diagnóstico, que consiste en analizar el estado actual de la estructura, previa inspección, toma de datos y análisis de los mismos. En general incluye la evaluación de la capacidad residual así como las necesidades de actuación y urgencia. En caso de la existencia de daños, debe determinarse la naturaleza, alcance y causa más probable de los mismos.

El reconocimiento previo tiene por objeto evaluar el trabajo a realizar, tomar decisiones en función de la gravedad de los daños (riesgo de hundimiento, apuntalar la estructura, desalojo de los ocupantes...) y realizar algunos ensayos sencillos sobre los materiales (carbonatación de hormigón, presencia de cloruros...) incluso tomar varias muestras para ensayo en laboratorio.

Para mayor detalle se recomienda consultar el Pliego de Condiciones de Reparación Estructural.

5.2.2. Operaciones previas: tratamiento del soporte y armadura.

Como operaciones previas se entienden todas aquellas tareas orientadas a la eliminación del hormigón deteriorado, esto es, aquel que no presente una capacidad mecánica o estabilidad en consonancia con la resistencia que debiera

aportar la propia estructura. Del mismo modo, se debe preparar la superficie de contacto para las próximas operaciones de reparación y/o rehabilitación de hormigón ya que, de no ser así, se puede desvirtuar la calidad tanto de los materiales como de la ejecución posterior.

a) Preparación de la superficie.

Con carácter general, todo material dañado o disgregado debe ser retirado hasta la obtención de un paramento consistente, para lo cual debe ser convenientemente tratado, de modo que el conjunto formado por el material de reparación junto con el soporte se comporte como el bloque monolítico que era inicialmente a efectos de resistencia estructural.

A la hora de decidir un método de preparación de la superficie se ha de tener en cuenta el material elegido para la reparación, el grado de rugosidad necesario, la posibilidad o no de crear polvo, la accesibilidad de medios mecánicos o manuales... A tal efecto son de aplicación distintos métodos:

- **Picado mecánico, mediante pistoleta eléctrica o neumática.** Su mayor virtud es la de poder seleccionar y delimitar con sencillez las zonas de trabajo; en su defecto, el rendimiento es bajo, no apropiado para hormigones duros o grandes superficies a tratar. El picado mecánico transmite vibración sobre los armados, lo que, en muchas ocasiones, no hace sino provocar un aumento de la fisuración del recubrimiento de hormigón.



- **Chorro de arena.** Se proyecta arena de sílice mediante compresor de aire comprimido de gran caudal. Por ello, su acción es abrasiva, limando superficialmente la superficie hasta la profundidad buscada. Por su forma de actuar es indicado para hormigones blandos o muy deteriorados. Permite acometer conjuntamente la eliminación de hormigón y limpieza de las armaduras. La principal desventaja es la gran cantidad de polvo generado, que puede ser paliada en cierta medida mediante la sustitución del producto abrasivo empleado.



- **Picado mediante hidrodemolición.** Versátil para hormigones duros, permite realizar picados con cierta precisión. Su mayor aportación consiste en la forma de eliminación del mortero, que no se realiza por «golpeo», sino por «arrancamiento» de los áridos superficiales al introducirse el agua a alta presión por los intersticios. Por tanto, realiza una «preselección» entre el hormigón de escasa resistencia y el fuertemente adherido. Por otra parte, al no tener efecto abrasivo no hay posibilidad de desgaste de las armaduras.



Armadura expuesta tras la hidrodemolición

En cuanto a la profundidad del hormigón a eliminar, se recomienda que se elimine todo el hormigón de las zonas donde estén presentes manchas de óxido, fisuraciones, o delaminaciones. Estas operaciones deberán extenderse hasta donde se tenga la certeza de encontrar zonas sanas y al menos 50 mm o más desde la marca de corrosión, en el sentido longitudinal de la barra. Las consideraciones estructurales pueden limitar la cantidad de hormigón a levantar y la limpieza que puede efectuarse. Un mapa de potencial puede ser una ayuda para detectar la corrosión.

En donde existan armaduras, se eliminará el hormigón unos 2 cm por detrás de estas para permitir su limpieza y que el material de reparación envuelva perfectamente a las barras.

La eliminación de material se podrá realizar mediante medios mecánicos (martillo de agujas) mediante medios manuales (picado manual con puntero).



Armadura Descubierta

b) Evaluación y limpieza de la armadura.

Posteriormente a la eliminación del mortero deteriorado se procederá a la evaluación de la armadura y su correspondiente limpieza según norma.

“Las armaduras se limpiarán mediante medios mecánicos o manuales hasta la eliminación total del óxido. En función del grado de oxidación y de la extensión variará la forma de reparación. Si la corrosión presenta una pérdida de sección significativa se deberá proceder al solape de armaduras

con una unión por solape simple o doble, unión por empalme con barras o con empalme angular o bien por soldadura a tope en “V” o en “K”.

Resulta imprescindible tener en cuenta la pérdida de sección que puedan experimentar los armados tras dicha limpieza; en caso de pérdidas sustanciales de sección (a partir de un 10% para la mayoría de los autores), conviene suplir mediante aporte o sustitución de corrugado dicha merma.

En función del método de protección de la armadura, se deberá utilizar un método de limpieza u otro. Por ejemplo, cuando la armadura se deba proteger por el método 11.2 (ver tabla “Defectos causados por la corrosión de la armadura” del punto 2 del presente documento, Introducción de la norma) ésta se debe limpiar hasta grado de desoxidación Sa21/2 (“limpieza decapado muy completo”), cuando la armadura se deba proteger por el método 11.1 y cualquiera de los restantes métodos (excepto el 11.2), ésta se debe limpiar hasta grado de desoxidación Sa2 (“limpieza decapado completo”).



Armadura Corroída



Tipo de desoxidación Sa2

c) Protección de la armadura.

Tras la limpieza de los elementos y zonas a reparar se procederá a la protección de armaduras mediante un control de áreas anódicas, con su posterior aplicación de los distintos morteros de reparación.

Para conseguir una buena pasivación de las armaduras y protegerlas de futuros ataques químicos se puede utilizar los siguientes productos:

Producto	Definición	Características	Apariencia
Protección de la armadura con revestimientos que contienen pigmentos activos	Imprimación monocomponente en base cemento y resinas sintéticas	Producto con excelentes propiedades inhibidoras de la corrosión ya que instaura un ambiente de elevado pH que bloquea el mecanismo de oxidación, contiene aditivos inhibidores para la protección del acero y está modificado con polímeros para incrementar la adhesión al acero	Polvo Gris
Protección de la armadura con revestimientos barrera/	Imprimación en base epoxi	Protección de las armaduras frente a la corrosión mediante protección catódica, especialmente por barrera de vapor.	Resinas Epoxi

d) Aplicación de la imprimación y/o puente de unión.

Previo a la aplicación del mortero de reparación que proceda, será conveniente aplicar una capa de imprimación o puente de unión, de modo que la adherencia entre el hormigón existente y el mortero de reparación sea óptima. Para conseguir tal fin se pueden utilizar los siguientes productos:



Aplicador Pasivador en Base Cemento

Producto	Definición	Características	Apariencia
Adhesivo Estructural	Imprimación/puente de unión bi-componente epoxi	Excelente adherencia y consolidación del soporte, apto para soportes nuevos, viejos, secos y con cierta humedad. Adhesión para hormigón nuevo con hormigón antiguo.	Bi-componente

5.2.3. Aplicación del mortero de reparación.

Toda la sección de hormigón eliminada a lo largo de la reparación se tiene que recomponer para recuperar la estructura original y proteger de nuevo la armadura. Los morteros de reparación que se empleen deben tener una buena adherencia, baja retracción, resistencia adecuada, módulo elástico y resistencia a las condiciones del entorno, altas resistencias a la carbonatación y frenar la penetración de cloruros.

El soporte sobre el que se actúe deberá estar sano, limpio, exento de grasas, aceites, polvo y partes mal adheridas. Debe ser estructuralmente sólido; con una resistencia a tracción entre 1,2 y 1,5 N/mm², según norma.

Según la técnica de ejecución, se podrá elegir entre 2 tipos de morteros de reparación de hormigón:

- Morteros tixotrópicos de reparación estructural
- Morteros fluidos de reparación estructural

Los morteros tixotrópicos de reparación estructural son morteros que no precisan encofrados para su aplicación, debido a su consistencia. Su ejecución suele llevarse a cabo mediante llana o paleta, y suelen aplicarse en superficies pequeñas cuya reconstrucción manual no sea muy costosa. La elección de este tipo de mortero vendrá marcada en función del espesor de capa a reparar, la resistencia a compresión necesaria y los tiempos de fraguado.

Los morteros fluidos de reparación son morteros fluidos, autocompactantes de altas resistencias y retracción compensada, para reparación por vertido o

bombeo en zonas donde se requiera una reconstrucción casi integral del hormigón o en zonas de difícil acceso en las que no se pueda trabajar con morteros tixotrópicos.



Reparación Mediante Mortero Tixotrópico



Reparación Mediante Morteros Fluidos

5.3. ESQUEMA REPARACIÓN HORMIGÓN:

Paso 1 - Detección de la Patología



Paso 2 - Descubrimiento de la Armadura corroida



Paso 3 - Limpieza y Pasivado de la Armadura



Paso 4 - Recomposición con Mortero de Reparación



6. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS DE REPARACIÓN:

De acuerdo a la norma EN 1504 los morteros de reparación de hormigón se clasifican de la siguiente manera:

R1: morteros para trabajos no estructurales, de inferior categoría.

R2: morteros para trabajos no estructurales, de superior categoría.

R3: morteros para trabajos estructurales, de inferior categoría.

R4: morteros para trabajos estructurales, de superior categoría.

Las prestaciones de los morteros van subiendo, desde los R1 hasta los R4, que son los de mayores características.

Las características que se utilizan para realizar la clasificación de los morteros de la manera antes señalada es la siguiente:

- Resistencia a compresión: conforme los productos tengan más resistencia a la compresión, su calidad, normalmente, será mejor. La resistencia a compresión no es sólo una propiedad que en sí es importante para los morteros de reparación, sino que es indicativa, indirectamente, de otras cualidades. Cuando más resistente sea un mortero, normalmente será más compacto, más impermeable, etc ...
- Contenido de iones cloruro: evidentemente la posible existencia de estos iones en los morteros de reparación significaría que podrían inducir la corrosión en las armaduras. Por eso es importante controlar su contenido.
- Retracción/Expansión controladas: tanto la retracción como la expansión de los morteros significan grietas y posible desprendimiento de estos, con lo que la reparación perdería durabilidad o directamente quedaría arruinada. Por eso es necesario poner un límite a ambas características.
- Resistencia a la carbonatación: puesto que una de las causas de la corrosión de las armaduras es la carbonatación, es necesario que los morteros de reparación tengan buena resistencia ante ellas, para que protejan el acero durante más tiempo.
- Compatibilidad térmica: esta propiedad es importante para que no se introduzcan esfuerzos de cizallamiento entre el mortero de reparación y

el hormigón original cuando haya cambios de temperatura, por eso es muy importante que los morteros de reparación tengan unos coeficientes de dilatación térmica lo más parecidos.

- Módulo de elasticidad: cuanto mayor módulo de elasticidad tenga el mortero de reparación, de una mayor manera será capaz de absorber los esfuerzos que se introduzcan posteriormente a la reparación. Por eso, cuanto mayor sea el módulo de elasticidad, de mayor calidad es el mortero, desde el punto de vista de las prestaciones mecánicas.
- Absorción capilar: cuanto menor sea la absorción capilar que tenga un mortero, mayor impermeabilidad a los líquidos tendrá. Y esto es importante puesto que la durabilidad de una reparación está relacionada de una forma muy directa con la impermeabilidad, al ser, normalmente el agua unos de los factores desencadenantes del deterioro del hormigón y de las armaduras.

7. CURADO

En cuanto a recomendaciones de curado, se ha de evitar la desecación excesiva tapando la superficie mediante arpilleras húmedas o plásticos durante su curado.

Proteger de la lluvia, el sol y las heladas durante las primeras 24 horas después de la aplicación de los morteros de reparación. Se ha de evitar una desecación excesivamente rápida por altas temperaturas, fuerte viento, etc...

8. PROTECCIÓN FINAL DEL HORMIGÓN

8.1. Procedimiento de ejecución protección del hormigón

La durabilidad de la reparación se puede ver comprometida por los agentes atmosféricos externos (por ejemplo: carbonatación, ataque por cloruros, agentes químicos...).

Es por ello, que ciertas obras requerirán de una protección superficial del hormigón frente a agentes externos. La aplicación de impregnaciones hidrófugas, impregnaciones y revestimientos constituye el método más común para la protección de paramentos de hormigón frente a la acción de los agentes agresivos más comunes responsables de la iniciación de los procesos de corrosión del hormigón armado, que son el dióxido de carbono y los cloruros.

La norma EN 1504 trata las impregnaciones hidrófugas, impregnaciones y revestimientos continuos en la parte 2, “Sistemas de protección de superficies de hormigón”, es donde se especifican los requisitos que deben cumplir dichos productos para ser considerados como tal.

La clasificación realizada en la EN 1504 parte 2 define de maneras cara tres tipos de productos y sistemas de protección del hormigón según su espesor y continuidad:

- Impregnación hidrofóbica.
- Impregnación
- Revestimiento

a) Impregnaciones hidrófobas (H)

Estas son tratamiento del hormigón para la obtención de una superficie hidrórepelente, en la que los poros y los capilares se recubren internamente pero no se rellenan. No se forma ninguna película continua sobre el hormigón y no se cambia apenas el aspecto del mismo. Generalmente estos tratamientos están basados en silanos o siloxanos.



Representación esquemática de una Impregnación Hidrófoba

b) Impregnaciones (I)

Estas son tratamientos del hormigón para reducir su porosidad y reforzar la superficie en la que los poros se llenen total o parcialmente. La película que forman es fina y discontinua. Generalmente estos tratamientos son a base de polímeros orgánicos.



Representación esquemática de una Impregnación

c) Revestimientos (C)

Son tratamientos destinados a formar una capa protectora continua sobre la superficie del hormigón. De espesores típicamente entre 0.1 y 5 mm. Generalmente estos tratamientos son a base de polímeros orgánicos (acrílicos, epoxi, poliuretano, etc....) polímeros orgánicos con cemento o productos cementosos modificados con dispersión de polímeros.



Representación esquemática de un Revestimiento

8.2. Procedimiento de ejecución protección de armaduras mediante inhibidores de corrosión migratorios.

Los inhibidores de corrosión son sustancias químicas que cuando se adicionan a un ambiente a proteger en cantidades relativamente pequeñas, disminuyen eficazmente la velocidad de corrosión.

La aplicación de inhibidores de corrosión a estructuras en servicio como parte de un proceso de reparación y protección ofrece beneficios en términos de reducir costes y evitar los inconvenientes de una reparación convencional.

Los inhibidores empleados para la protección y reparación se aplican simplemente sobre la superficie del hormigón, tienen que penetrar a través de los poros del hormigón y alcanzar la armadura en concentración suficiente con el fin de ser eficaces. Los inhibidores no deben lixiviarse del hormigón y deben ser químicamente estables para el futuro comportamiento de la estructura en servicio.

El uso de inhibidores “migratorios” o de “aplicación en superficie”, como se les suele conocer, presenta la limitación de cómo hacer la aplicación y asegurar la

penetrabilidad a nivel de la armadura para garantizar que se alcance la concentración específica necesaria en la superficie de la misma para protegerla, reducir la velocidad de corrosión y mantener la protección en el tiempo.

Pueden usarse en distintas circunstancias:

- Como protección adicional aplicada en la superficie de estructuras nuevas cuando los requisitos de durabilidad no puedan ser alcanzados (por errores de diseño, composición, colocación del hormigón o curado del hormigón).
- Como protección adicional cuando la evaluación de la estructura ha sugerido que serían necesarios métodos de protección para restaurar la durabilidad.
- Como una opción de reparación cuando ya ha comenzado la corrosión de las armaduras pero no se requiere una reparación estructural.
- Como complemento a un sistema de reparación tradicional, como capas anti-corrosión para armaduras y como un componente de los morteros de reparación, reduciendo el riesgo de corrosión en las interfases entre material nuevo y antiguo hasta las que puede difundir y protegerlas.