Capítulo 9

Durabilidad de las estructuras de hormigón

Artículo 43 Estrategia de durabilidad en los elementos de hormigón

Además de lo indicado en el Artículo 11, el proyecto de los elementos de hormigón debe incluir las medidas necesarias para que se alcance la vida útil establecida por la propiedad, en función de las condiciones de agresividad ambiental a las que puedan estar sometidos. Para ello, el proyecto deberá incluir una estrategia de durabilidad de los elementos de hormigón según los criterios establecidos en este capítulo.

La agresividad a la que está sometida cada elemento de hormigón se identificará por el tipo de ambiente, de acuerdo con el apartado 27.1. En la memoria, se justificará la selección de las clases de exposición consideradas para la estructura. Asimismo, en los planos se reflejará el tipo de ambiente para el que se ha proyectado cada elemento.

En cualquier caso, el proyecto deberá definir formas y detalles estructurales que faciliten la evacuación del agua y sean eficaces frente a los posibles mecanismos de degradación del hormigón y corrosión del acero. Además, una buena calidad de la ejecución de la obra tiene una influencia decisiva para conseguir una estructura durable.

Las especificaciones relativas a la durabilidad deberán cumplirse en su totalidad durante la fase de ejecución. No se permite compensar los efectos derivados por el incumplimiento de alguna de ellas, salvo que se adopten las medidas adecuadas para corregirlo, a propuesta del constructor y previa autorización de la dirección facultativa.

En este artículo se recogen los criterios para el desarrollo de una estrategia de durabilidad en el proyecto de las estructuras de hormigón, que se desarrollará de acuerdo con las siguientes fases:

- identificación de la clase de exposición, según el apartado 27.1,
- selección de la forma estructural, según el apartado 43.1,
- prescripciones respecto a la calidad del hormigón, según el apartado 43.2,
- medidas específicas frente a la agresividad, según el apartado 43.3,
- medidas durante la fase de ejecución, según el apartado 43.4, y
- medidas durante la fase de uso, según el apartado 43.5.

43.1 Selección de la forma estructural

En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que, siendo compatibles con su comportamiento mecánico, también lo sean con la consecución de una durabilidad adecuada de la estructura.

Se evitará el empleo de diseños estructurales que sean especialmente sensibles frente a la acción del agua y, en la medida de lo posible, se reducirá al mínimo el contacto directo entre ésta y el hormigón.

Además, se diseñarán los detalles de proyecto necesarios para facilitar la rápida evacuación del agua, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje (imbornales, conducciones, etc.). Se deberán evitar cambios de planos de las superficies no horizontales que ralenticen la evacuación de agua.

Se evitará, en la medida de lo posible, la existencia de elementos de hormigón en contacto con aguas de escorrentía. Se dispondrán goterones para evitar que el agua discurra por las superficies verticales. En especial, se procurará evitar el paso de agua sobre las zonas de juntas y sellados.

Se deberán prever los sistemas adecuados para evitar la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua.

Cuando la estructura presente secciones con aligeramientos u oquedades internas, se procurará disponer los sistemas necesarios para su ventilación y drenaje. Se evitará especialmente la existencia de drenajes que puedan provocar contacto del elemento con agua con sales de deshielo.

Además, siempre que sea posible, el proyecto procurará minimizar el número de juntas y apoyos.

Salvo en obras de pequeña importancia, se deberá prever el acceso a todos los elementos de la estructura, estudiando la conveniencia de disponer sistemas específicos que faciliten la inspección y el mantenimiento durante la fase de servicio, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 15 de este Código. En particular, se preverá los sistemas para la sustitución de aparatos de juntas y apoyos, en su caso.

43.2 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón

Una estrategia enfocada a la durabilidad de una estructura debe conseguir una calidad adecuada del hormigón, en especial en las zonas más superficiales donde se pueden producir los procesos de deterioro del hormigón y el acceso de los agentes agresivos para las armaduras.

Se entiende por un hormigón de calidad adecuada, aquel en cuya elaboración se hayan cumplido íntegramente las siguientes condiciones:

- Fabricación con materiales componentes adecuados que satisfagan lo indicado en el Capítulo 8.
- Dosificación adecuada, según lo indicado en el punto 43.2.1, así como en el apartado 43.3.
- Puesta en obra correcta, según lo indicado en el Artículo 52.
- Curado del hormigón, según lo indicado en el apartado 52.5.
- Resistencia mecánica acorde con el comportamiento estructural esperado y congruente con los requisitos de durabilidad.
- Prestaciones conformes con los requisitos del apartado 43.3.

Se cuidará especialmente la selección del tipo de cemento en función de la agresividad a la que vaya a estar sometido el elemento estructural.

43.2.1 Requisitos mínimos de dosificación del hormigón

En función de la clase de exposición a la que vaya a estar sometido el elemento estructural, la dosificación del hormigón deberá cumplir los requisitos indicados en la tabla 43.2.1.a.

Tabla 43.2.1.a Contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																			
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Máxima relación agua/cemento	Masa	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0 45	0,50	0,50	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,45	0,45	0 45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,45	0,50	0,50	0,50
Contenido mínimo de cemento (kg/m^3)	Masa	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	300	275	300	275	300	325	300	300	300
	Armado	250	275	275	300	300	300	325	350	325	325	325	300	325	300	325	325	350	350	325	325	325
	Pretensado	275	300	300	300	300	300	325	350	325	325	325	300	325	300	325	325	350	350	325	325	325

Tabla 43.2.1.b Resistencia característica mínima esperada para el hormigón(*)

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																			
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Resistencia característica (N/mm^2)	Masa	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Armado	25	25	25	30	30	30	30	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Pretensado	25	25	25	30	30	30	35	35	35	35	35	30	30	30	30	30	35	35	30	30	30

(*) Resistencia característica mínima alcanzable para un hormigón fabricado con cemento de categoría resistente 32,5 R con un contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento, conformes a lo indicado en la tabla 43.2.1a.

Cuando el elemento estructural esté expuesto a más de una clase de exposición, a los efectos de aplicar la tabla 43.2.1.a, se procederá fijando para cada parámetro el criterio más exigente de entre los establecidos para cada clase.

Cuando la resistencia especificada en la tipificación del hormigón sea inferior a la resistencia mínima esperada (tabla 43.2.1.b) asociada a la clase de exposición considerada, prevalecerá esta última en la prescripción del hormigón por ser los condicionantes de durabilidad más restrictivos que los de resistencia.

En el caso particular de que se utilicen adiciones en la fabricación del hormigón, se podrá tener en cuenta su empleo a los efectos del cálculo del contenido de cemento y de la relación agua/cemento. A tales efectos, en la tabla 43.2.1.a se sustituirá el contenido de cemento C (kg/m³) por C+KF, así como la relación A/C por A/(C+KF) siendo F (kg/m³) el contenido de adición y K el coeficiente de eficacia de la misma.

Cuando se usen cenizas volantes o humo de sílice como adición al hormigón, los contenidos de cemento no podrán ser inferiores a 200, 250 o 275 kg/m^3, según se trate de hormigón en masa, armado o pretensado, respectivamente.

En el caso de las cenizas volantes, se tomará un valor de K no superior a 0,20 si se emplea un cemento CEM I 32,5, ni superior a 0,40 en el caso de cementos CEM I con otras categorías resistentes superiores. Para el humo de sílice, se tomará un valor de K no superior a 2, excepto en el caso de hormigones con relación agua/cemento mayor que 0,45 que vayan a estar sometidos a cualesquiera de las clases de exposición XF en cuyo caso para K se tomará un valor igual a 1. La dirección facultativa podrá admitir, bajo su responsabilidad, valores superiores del coeficiente de eficacia, pero no mayores de 0,65 para el caso de las cenizas volantes siempre que ello se deduzca como una estimación centrada en la mediana del valor característico real, definido como el cuantil del 5% de la distribución de valores de K. La estimación referida procederá de un estudio experimental que no solo tenga en cuenta la resistencia sino también el mecanismo de daño asociado al ambiente en el que va a estar ubicada la estructura.

Se debe tener en cuenta que los requisitos de máxima relación agua/cemento y contenido mínimo de cemento, recogidos en la tabla 43.2.1.a, condicionan unas características mecánicas mínimas en el hormigón. En este sentido, en la tabla 43.2.1.b se muestra, para cada clase de exposición, la resistencia característica mínima esperable de un hormigón fabricado con un cemento CEM I o CEM II de categoría resistente 32,5 R y áridos de una calidad normal.

43.3 Medidas frente a agresividades específicas

43.3.1 Protección de las armaduras frente a la corrosión

43.3.1.1 Criterios generales

En el caso de elementos estructurales sometidos a cualquiera de las clases XC, XS o XD, el autor del proyecto deberá incluir medidas específicas frente a la corrosión de las armaduras que consistirán en:

a) la adopción de los valores límites de dosificación del hormigón, de acuerdo con los criterios generales establecidos en el apartado 43.2.1,

b) los valores de recubrimientos, obtenidos de acuerdo con lo indicado en el artículo 44,

c) la adopción, en su caso, de medidas adicionales en el caso de armaduras activas, según, el apartado 43.3.1.2,

d) el uso, en su caso, de sistemas de protección superficial, según el apartado 43.3.1.3,

e) el uso, en su caso, de productos inhibidores de la corrosión, según el apartado 43.3.1.4,

f) el uso, en su caso, de armaduras con comportamiento mejorado frente a la corrosión, según los apartados 43.3.1.5 y 43.3.1.6,

g) el uso, en su caso, de sistemas de protección catódica, según el apartado 43.3.1.7.

43.3.1.2 Criterios adicionales de protección de las armaduras activas

En el caso de estructuras pretensadas, se prohíbe el uso de cualquier sustancia que catalice la absorción del hidrógeno por el acero.

Se prohíbe la utilización de empalmes o sujeciones con otros metales distintos del acero, así como la protección catódica.

Con carácter general, no se permitirá el uso de aceros protegidos por recubrimientos metálicos. La dirección facultativa podrá permitir su uso cuando exista un estudio experimental que avale su comportamiento como adecuado para el caso concreto de cada obra.

Asimismo, se adoptarán las precauciones necesarias para evitar que las armaduras activas, durante su almacenamiento, colocación, o después de colocadas en obra, experimenten daños, especialmente entalladuras o calentamientos locales, que puedan modificar sus características o dar lugar a que se inicie un proceso de corrosión.

43.3.1.3 Sistemas de protección superficial del hormigón

El autor del proyecto podrá prescribir un sistema de protección superficial (conforme al apartado 39.4) enfocado a cualquiera de los siguientes métodos de actuación frente a la corrosión:

a) impidiendo que se den las condiciones electroquímicas necesarias (presencia de oxígeno y agua), por lo que se impide el proceso corrosivo, o

b) dificultando el ingreso de sustancia agresivas (anhídrido carbónico, iones cloruro, etc.) de forma que se ralentice el desarrollo de la corrosión.

El autor del proyecto podrá tener en cuenta el efecto del empleo de los sistemas adicionales de protección superficial, en términos de “espesor equivalente” de recubrimiento en función de la agresividad existente en cada caso.

La dirección facultativa valorará tanto el “espesor equivalente” como el efecto producido por el uso del sistema de protección superficial, a los que se refieren los párrafos anteriores, que además deberán estar garantizados por escrito por el fabricante, de acuerdo con los correspondientes estudios experimentales. Igualmente, el aplicador deberá garantizar que su aplicación ha sido conforme con las especificaciones del fabricante.

Los sistemas de protección superficial tienen normalmente vidas útiles inferiores a los de la estructura, por lo que se requiere incluir su reposición en el correspondiente plan de mantenimiento incluido en el proyecto.

43.3.1.4 Productos inhibidores de la corrosión

El autor del proyecto podrá considerar el efecto positivo del uso de productos inhibidores de la corrosión, conformes con el apartado 39.5 de este Código.

La dirección facultativa valorará el efecto producido por el uso de productos inhibidores de la corrosión al que se refiere el párrafo anterior, que además deberán estar garantizados por escrito por el fabricante, de acuerdo con los correspondientes estudios experimentales. Igualmente, el aplicador deberá garantizar que su aplicación ha sido conforme con las especificaciones del fabricante.

El uso de inhibidores de corrosión añadidos a la masa del hormigón produce un incremento del contenido límite de cloruros que desencadena el inicio de la corrosión, que varía dependiendo del tipo de inhibidor.

Cuando el proyecto prescriba el uso de aditivos inhibidores de la corrosión incorporados a la masa del hormigón, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la tabla 44.2.1.1.b, reducidos en no más de 10 mm. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del procedimiento y producto utilizados durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

43.3.1.5 Armaduras pasivas de acero inoxidable

El autor del proyecto podrá considerar el uso de armaduras de acero inoxidable, que será conforme con el apartado 34.4 de este Código.

Cuando tanto la armadura transversal como la capa más exterior de la armadura longitudinal del elemento sean de acero inoxidable, el proyecto podrá considerar un valor límite de la anchura de fisura, w_{max} ≤ 0,30 mm, independientemente de la clase de exposición en la que esté ubicada el elemento.

El empleo de armaduras de acero inoxidable, conformes con la norma UNE-EN 10088-1, produce un incremento del contenido límite de cloruros a partir del que se inicia la corrosión, que depende del tipo de acero inoxidable.

Cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras inoxidables, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la tabla 44.2.1.1.b, sin que éstos puedan quedar por debajo de 30 mm. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del tipo de acero inoxidable utilizado durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

43.3.1.6 Armaduras galvanizadas en caliente

El autor del proyecto podrá considerar el uso de armaduras galvanizadas en caliente, conformes con el apartado 39.4 de este Código.

Antes, del proceso de galvanizado, los productos de acero que se vayan a emplear deberán cumplir los requisitos mecánicos y de adherencia indicados en los apartados 34.2 y 34.3 para los productos de acero convencional. Después del galvanizado, las armaduras galvanizadas deberán cumplir lo indicado en el Artículo 35 para las armaduras pasivas de acero convencional. La temperatura de procesamiento de las armaduras durante el galvanizado no será en ningún caso superior a 465ºC.

El autor del proyecto podrá considerar las posibles ventajas derivadas del empleo de estas armaduras, siempre que el espesor garantizado de cinc no sea inferior a 70 µm, equivalente a 505 g/m^2.

El empleo de armaduras galvanizadas en caliente aumenta el valor del contenido límite de cloruros a partir del que se inicia la corrosión.

Para el contacto de este tipo de armaduras con las de acero convencional, se estará a lo dispuesto en el apartado 43.4.3.

No se admitirá el hormigonado del elemento cuando se detecte alguna ferralla elaborada o ferralla armada que presenten algún defecto superficial en su revestimiento galvanizado, hasta que éste no haya sido reparado.

En ningún caso, se podrán utilizar armaduras activas de acero galvanizado.

Cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras galvanizadas, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la tabla 44.2.1.1.b, reducidos en no más de 10 mm. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y

contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del procedimiento y producto utilizados durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

Adicionalmente, en este caso de contemplar reducciones a los recubrimientos indicados en la tabla 44.2.1.1.b, el tratamiento de galvanizado en caliente deberá efectuarse sobre la ferralla elaborada o, en su caso, sobre la ferralla armada, sin admitirse que tras su tratamiento se puedan realizar operaciones de corte, doblado o soldadura de las armaduras galvanizadas.

43.3.1.7 Sistemas de protección catódica

En el caso de elementos de hormigón armado, el autor del proyecto podrá incluir en la estrategia de durabilidad un sistema de protección catódica, por cualquiera de los siguientes métodos:

a) protección catódica por ánodos de sacrificio, o

b) protección catódica por corriente impresa.

El proyecto deberá incluir una memoria específica en la que se justifique técnicamente las características del sistema a disponer.

Para la aplicación de este tipo de sistemas debe haber continuidad eléctrica de las armaduras para lo que se deberá garantizar el contacto entre las mismas, al menos en la zona del elemento estructural donde se requiere una especial protección. Dicha continuidad deberá ser comprobada antes y después del hormigonado al objeto de detectar posibles incidencias.

En cualquiera de los casos, todas las características del sistema, incluido el procedimiento para su instalación y el sistema de seguimiento y registro, deberán ser conformes con la norma UNE-EN ISO 12696.

Estos sistemas requieren de un mantenimiento específico que incluye, entre otros aspectos, la monitorización del sistema para controlar su efectividad a lo largo del tiempo. Estas operaciones deberán incluirse en el correspondiente plan de mantenimiento.

El sistema de protección catódica puede tener una vida útil inferior a la del elemento estructural, lo que deberá tenerse en cuenta en la estrategia de durabilidad y, en su caso, en el correspondiente plan de mantenimiento.

Cuando el proyecto prescriba el uso de sistemas de protección catódica, podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases de exposición XS o XD, que se corresponderán con los indicados para la clase XC4.

43.3.2 Impermeabilidad del hormigón

En el caso de elementos estructurales ubicados en ambientes muy agresivos (XS, XD, XF, XM o XA), el hormigón deberá presentar un comportamiento suficientemente impermeable, determinado según UNE-EN 12390-8 con las modificaciones y criterios para comprobar la conformidad del apartado 57.3.3, según los criterios recogidos en la tabla 43.3.2.

Tabla 43.3.2 Especificaciones de profundidad de penetración de agua máxima y media

Clase de exposición ambiental	Especificación para la profundidad máxima	Especificación para la profundidad media
XS1, XS2, XD1, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4, XM1, XM2, XM3, XA1 (cualquier caso)	≤ 50 mm	≤ 30 mm
XA2 (en el caso de elementos en masa o armados)		
XS3 y XA3 (cualquier caso)	≤ 30 mm	≤ 20 mm
XA2 (solo en el caso de elementos pretensados)		

43.3.3 Resistencia del hormigón frente al ataque por ciclos hielo-deshielo

Cuando un hormigón esté sometido a una clase de exposición XF2 o XF4, se deberá introducir un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%, determinado de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-7.

43.3.4 Resistencia frente al ataque químico

43.3.4.1 Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos

En el caso de elementos estructurales expuestos a ambientes con presencia de iones sulfato cuyos contenidos sean igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3.000 mg/kg, en el caso de suelos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos. Lo anterior no será de aplicación en el caso de que se trate de agua de mar o el contenido en cloruros sea superior a 5.000 mg/l, en que será de aplicación lo indicado en el apartado 43.3.4.2.

43.3.4.2 Resistencia frente al ataque por agua de mar

En el caso de elementos de hormigón en masa en contacto con agua de mar, y por tanto sometidos a una clase de exposición XA2, y en el caso de elementos de hormigón armado o pretensado que vayan a estar sometidos a una clase de exposición XS2 o XS3, se utilizará un cemento con la característica adicional MR, SR o SRC, según la Instrucción para la recepción de cementos vigente.

43.3.4.3 Prevención de la reactividad álcali-árido

Las reacciones álcali-árido se pueden producir cuando concurren simultáneamente la existencia de un ambiente húmedo, la presencia de un alto contenido de alcalinos en el hormigón y la utilización de áridos que contengan componentes susceptibles de ser atacados por los álcalis presentes en la mezcla del hormigón.

A los efectos de este artículo, se considera que el ambiente siempre puede ser húmedo, salvo en el caso de elementos estructurales situados en las clases de exposición X0, XC1 o XM, cuando estas están asociadas a un entorno permanentemente seco.

Para prevenir las reacciones álcali-árido, en la fabricación de elementos de hormigón que en sus condiciones de servicio puedan estar expuestos a un ambiente húmedo, se emplearán preferentemente áridos no reactivos, según el apartado 30.7.5.

En el caso de que no fuera viable la utilización de áridos no reactivos, la dirección facultativa, en el uso de sus atribuciones, podrá permitir la utilización de áridos potencialmente reactivos siempre y cuando se emplee uno o varios de los siguientes métodos para controlar sus efectos sobre el hormigón:

a) Emplear cementos según la Instrucción para la Recepción de Cementos vigente, que contengan adiciones del tipo: escorias granuladas de horno alto, cenizas volantes silíceas, puzolanas naturales o humo de sílice.

b) Incorporar adiciones de humo de sílice o cenizas volantes silíceas al hormigón en la proporción adecuada que permita mitigar el comportamiento expansivo ocasionado por las reacciones álcali-árido.

c) Emplear cementos con un contenido de alcalinos, expresados como óxido de sodio equivalente (0,658 K_2O + Na_2O), inferior al 0,60% del peso de cemento.

El empleo de cualquiera de las soluciones anteriormente mencionadas deberá estar respaldada por un estudio experimental que garantice un comportamiento satisfactorio para prevenir el desarrollo de las reacciones álcali-árido, que el fabricante del hormigón pondrá a disposición de la dirección facultativa.

43.3.5 Resistencia del hormigón frente al ataque por erosión

Cuando un hormigón vaya a estar sometido a una clase de exposición XM1, XM2 o XM3, se adoptarán las siguientes medidas:

- Contenido mínimo de cemento y relación máxima agua/cemento, según la tabla 43.2.1.a.
- Resistencia mínima del hormigón de acuerdo con la tabla 43.2.1.b.
- El árido fino deberá ser de cuarzo o mayoritariamente de naturaleza cuarcítica, pudiendo emplearse otros áridos que tengan un comportamiento equivalente respecto a su desgaste.
- El árido grueso deberá tener un coeficiente de Los Ángeles inferior a 30.
- Contenido máximo de cemento, de acuerdo con la tabla 43.3.5.
- Curado prolongado, con duración, al menos, un 50% superior a la que se aplicará, a igualdad del resto de condiciones, a un hormigón no sometido a erosión.
- Los recubrimientos mínimos de la armadura deberán ser conforme con la tabla 44.5.

Tabla 43.3.5 Contenido máximo de cemento en clases de exposición XM

Tamaño máximo del árido, D (mm)	Contenido máximo de cemento (kg/m^3)
10	400
20	375
40	350

43.3.6 Influencia de la fisuración en la durabilidad

La durabilidad es, junto a consideraciones funcionales y de aspecto, uno de los criterios en los que se basa la necesidad de limitar la abertura de fisura. Los valores máximos a considerar, en función de la clase de exposición ambiental, serán los indicados en la tabla 27.2.

43.4 Medidas específicas para la fase de ejecución

43.4.1 Recubrimiento nominal

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie de hormigón más cercana. A los efectos de este Código, se define como recubrimiento mínimo de una armadura aquél que debe cumplirse en cualquier punto de la misma. Para garantizar estos valores mínimos, los planos de proyecto reflejarán los recubrimientos nominales de las armaduras, obtenidos de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c_{non} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

donde:

c_{non} : recubrimiento nominal, en mm.

c_{min}: recubrimiento mínimo, en mm, según los apartados 44.2.1, 44.3, 44.4 o 44.5.

Δc_{dev}: margen de recubrimiento, en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor será conforme a la tabla 43.4.1.

Tabla 43.4.1 Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución

Tipo de elemento	$\Delta cdev$ [mm]
Elementos prefabricados con nivel intenso de control en la instalación de prefabricación (en obra o ajena a la obra)	0
Elementos ejecutados *in situ* con nivel intenso de control de ejecución	5
Otros casos	10

El recubrimiento nominal determina el tamaño de los separadores a disponer en la armadura pasiva durante la fase de ejecución. Por su parte, los recubrimientos mínimos deben cumplirse en cualquier punto del elemento estructural y constituyen una referencia a comprobar durante el control de ejecución, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 66.

En algunos casos y en función del riesgo de incendio u otros criterios adicionales (ver apartado 44.5), puede ser necesario incrementar los valores considerados para el recubrimiento mínimo.

43.4.2 Separadores

Los recubrimientos deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos separadores colocados en obra con las dimensiones de los recubrimientos nominales.

Estos calzos o separadores deberán disponerse de acuerdo con el apartado 49.8.2. Deberán estar constituidos por materiales resistentes a la alcalinidad del hormigón y no inducir corrosión de las armaduras. Deben ser al menos tan impermeables al agua como el hormigón y ser resistentes a los ataques químicos a que se puede ver sometido este.

Independientemente de que sean provisionales o definitivos, deberán ser de hormigón, mortero, plástico rígido o material similar y haber sido específicamente diseñados para este fin.

Si los separadores son de hormigón, éste deberá ser, en cuanto a resistencia, permeabilidad, higroscopicidad, dilatación térmica, etc., de una calidad comparable a la del utilizado en la construcción de la pieza. Análogamente, si son de mortero, su calidad deberá ser semejante a la del mortero contenido en el hormigón de la obra.

Cuando se utilicen separadores constituidos con material que no contenga cemento, aquellos deberán, para asegurar su buen enlace con el hormigón de la pieza, presentar orificios cuya sección total sea al menos equivalente al 25% de la superficie total del separador.

Se prohíbe el empleo de madera así como el de cualquier material residual de construcción, aunque sea ladrillo u hormigón. En el caso de que puedan quedar vistos, se prohíbe asimismo el empleo de materiales metálicos. En cualquier caso, los materiales componentes de los separadores no deberán tener amianto.

43.4.3 Contacto entre armaduras de diferentes tipos

En el caso de empleo de armaduras de acero inoxidable se permite que estén en contacto con acero convencional. Si se precisa realizar una soldadura entre el acero inoxidable y el acero al carbono, el material de aportación debe ser sobre-aleado, para garantizar unas adecuadas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión de la unión.

Cuando se usen armaduras galvanizadas se evitará cualquier contacto con otras de acero convencional, mediante el empleo de otros procedimientos como, por ejemplo, elementos de plástico expresamente fabricados para esta finalidad.

43.5 Medidas específicas para la fase de uso

El proyecto deberá identificar todos los criterios que, derivados de la estrategia de durabilidad adoptada, deban ser tenidos en cuenta por la propiedad durante la fase de uso de la estructura. Dichos criterios deberán ser incorporados, en su caso, al plan y al programa de mantenimiento de acuerdo con lo indicado en el Artículo 24.

Artículo 44 Consideraciones adicionales especificas en función de la clase de exposición

44.1 Criterios generales

El autor del proyecto definirá su estrategia de durabilidad mediante la comprobación de la durabilidad de los elementos, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XC, XS o XD, como criterio general se comprobará que no se fisura el recubrimiento como consecuencia de la corrosión, según el apartado 44.2.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XF, se comprobará que no hay daño por ciclos hielo/deshielo, según el apartado 44.3.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XA, se comprobará que no hay daño por ataque químico al hormigón, según el apartado 44.4.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XM, se comprobará que no hay daño por erosión del hormigón, según el apartado 44.5.

44.2 Clases de exposición X0, XC, XS y XD. Fisuración del recubrimiento debido a la corrosión de la armadura

44.2.1 Espesores de recubrimiento

44.2.1.1 Armaduras pasivas y armaduras activas pretesas

Para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) o armaduras activas pretesas, el recubrimiento mínimo debido a criterios de durabilidad no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en las tablas 44.2.1.1.a y 44.2.1.1.b.

Tabla 44.2.1.1.a Recubrimientos mínimos (mm), c_{min}, para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por carbonatación

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm2]	Vida útil de proyecto (*tL*), (años)	
			50	100
X0	Cualquiera	*fck ≥ 25*	15	25
XC1, XC2 o XC3	CEM I	25 ≤ f_{ck} <40	15	25
		fck ≥ 40	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ fck <40	20	30
		fck ≥ 40	15	25
XC4	CEM I	25 ≤ fck <40	20	30
		fck ≥ 40	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ fck <40	25	35
		f_{ck} ≥ 40	20	30

Tabla 44.2.1.1.b Recubrimiento mínimo (mm), c_{min}, para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros

Tipo de elemento	Cemento	Vida útil de proyecto (t_g) (años)	Clase de exposición			
			XS1,	XS2	XS3	XD1, XD2, XD3
Hormigón armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de microsílice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	45	35
		100	30	35	50	40
	CEM II/B-S, B-P	50	30	35	65	40
		100	35	40	70	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 28	50	40	45	*	*
		100	65	*	*	*
Hormigón pretensado	CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	50	40
		100	35	40	65	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 28	50	45	55	*	*
		100	*	*	*	*

(*) Estas situaciones obligan a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda realizar un estudio específico para establecer el espesor de recubrimiento necesario en función de las condiciones de agresividad y la vida útil requerida.

Se entiende que los anteriores valores de recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, están asociados al cumplimiento simultáneo de las especificaciones mínimas de dosificación del hormigón contempladas en el apartado 43.2.1 para cada clase de exposición.

Además, el recubrimiento de las armaduras pasivas y de armaduras activas pretesas, deberá cumplir las siguientes condiciones:

a) Cuando se trata de armaduras principales, el recubrimiento deberá ser igual o superior al diámetro de dicha barra (o diámetro equivalente si se trata de un grupo de barras) y a 0,80 veces el tamaño máximo del árido, salvo que la disposición de armaduras respecto a los paramentos dificulte el paso del hormigón, en cuyo caso se tomará 1,25 veces el tamaño máximo del árido, definido según el apartado 30.3.

b) El recubrimiento de las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medido en dirección perpendicular al plano de la curva.

c) En el caso de elementos (viguetas o placas) prefabricados en instalación industrial fija, para forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado, el proyectista podrá contar, además del recubrimiento del hormigón, con el espesor de los revestimientos del forjado que sean compactos e impermeables y tengan carácter de definitivos y permanentes, al objeto de cumplir los requisitos del punto c) anterior. En estos casos, el recubrimiento real de hormigón no podrá ser nunca inferior a 15 mm.

d) Cuando se trate de superficies límites de hormigonado que en situación definitiva queden embebidas en la masa del hormigón, el recubrimiento no será menor que el diámetro de la barra o diámetro equivalente cuando se trate de grupo de barras, ni que 0,8 veces el tamaño máximo del árido.

Cuando por exigencias de cualquier tipo (durabilidad, protección frente a incendios o utilización de grupos de barras), el recubrimiento sea superior a 50 mm, deberá considerarse la posible conveniencia de colocar una malla de reparto que cumpla las siguientes condiciones:

- diámetro no superior a 12 mm,
- colocada en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción y
- con una cuantía geométrica del 5 por mil del área del recubrimiento para barras o grupos de barras de diámetro (o diámetro equivalente) igual o inferior a 32 mm, y del 10 por mil para diámetros (o diámetros equivalentes) superiores a 32 mm.

En piezas hormigonadas contra el terreno, el recubrimiento mínimo será 70 mm, salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza, no rigiendo en este caso lo establecido en el párrafo anterior.

En función de la agresividad del ambiente, se valorará la conveniencia de que la malla sea de acero inoxidable o galvanizado, en cuyo caso, deberán cumplir lo indicado en los apartados 43.3.1.5 o 43.3.1.6, respectivamente.

44.2.1.2 Armaduras activas postesas

En el caso de las armaduras activas postesas, los recubrimientos mínimos en las direcciones horizontal y vertical (figura 44.2.1.2) serán por lo menos iguales al mayor de los límites siguientes, y no podrán ser nunca superiores a 80 mm:

- 40 mm,
- el mayor de los valores siguientes: la menor dimensión o la mitad de la mayor dimensión de la vaina o grupos de vainas en contacto.

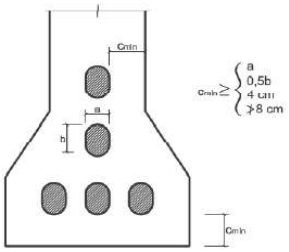


Figura 44.2.1.2

44.3 Clases de exposición XF. Ataque al hormigón por ciclos hielo/deshielo con sales fundentes o sin ellas

El autor del proyecto podrá considerar comprobado el cumplimiento de las especificaciones relativas a este tipo de daño cuando se cumplan simultáneamente:

– los criterios mínimos de dosificación, según el apartado 43.2.1,

– los criterios de resistencia al hielo-deshielo del apartado 43.3.3, y

– los recubrimientos mínimos sean conformes con la tabla 44.3.

Tabla 44.3 Recubrimientos mínimos, c_{min}, para las clases de exposición XF

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón N/mm^2]	Vida útil de proyecto (t_L), (años)	
			50	100
XF1, XF3	CEM III	$25 \le f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \ge 40$	15	25
	Otros tipos de cemento	$25 \le f_{ck} < 40$	20	35
		$f_{ck} \ge 40$	10	20
XF2, XF4	CEM II/A-D	$25 \le f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \ge 40$	15	35
	CEM III	$25 \le f_{ck} < 40$	40	*
		$f_{ck} \ge 40$	20	40
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \le f_{ck} < 40$	20	40
		$f_{ck} \ge 40$	10	20

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos

44.4 Clases de exposición XA. Ataque químico al hormigón

El autor del proyecto podrá considerar comprobado el cumplimiento frente a este tipo de daño cuando se cumplan simultáneamente:

– los criterios mínimos de dosificación, según el apartado 43.2.1,

– los criterios específicos frente al ataque químico recogidos en el apartado 43.3.4, y

– los recubrimientos mínimos sean conformes con la tabla 44.4.

Tabla 44.4 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición XA

Clase de exposición	Tipo de cemento	Vida útil de proyecto (t_g), (años)	
		50	100
XA1	CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsílice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	40	55
	Resto de cementos utilizables	*	*
XA2, XA3	Cualquiera	(1)	(1)

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos.

(1) El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales, al objeto de que se garantice adecuadamente la protección del hormigón y de las armaduras frente a la agresión química concreta de que se trate.

Adicionalmente, el autor del proyecto valorará el efecto que puede tener la adopción de medidas de control frente a la agresividad del ataque químico y que, en general, serán aquellas que impidan o ralenticen la reactividad química de los componentes del hormigón

44.5 Clases de exposición XM. Desgaste por erosión en el hormigón

El autor del proyecto podrá considerar comprobado el cumplimiento frente a este tipo de daño cuando se cumplan simultáneamente:

– los criterios mínimos de dosificación, según el apartado 43.2.1,

– los criterios específicos frente al ataque por erosión recogidos en el apartado 43.3.5, y

– los recubrimientos mínimos sean los obtenidos de la aplicación del resto de criterios (mecánicos o de durabilidad) más un sobre-espesor de acuerdo con lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 44.5 Sobre-espesor del recubrimiento para las clases de exposición XM

Clase de exposición	Sobre-espesor del recubrimiento, en mm
XM1	5
XM2	10
XM3	15