

Documento:



Eh-2

UNIDAD CONSTRUCTIVA

DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

DESCRIPCIÓN

Propiedad del hormigón endurecido que define la capacidad de éste para resistir cualquier proceso de deterioro (ataques químicos, medioambientales, fuego, etc.).

DAÑO

FISURACIONES, HINCHAMIENTO, PÉRDIDA DE MASA, EN EL PROPIO ELEMENTO ESTRUCTURAL.

ZONAS AFECTADAS

Estructura, compartimentaciones y acabados



Fig. 1. Vista general de una estructura hormigón armado



Fig. 2. Carbonatación del hormigón

La **durabilidad** de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llevar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural. (Código Estructural. Capítulo 3. Apartado 11.1).

El comité 201 del American Concrete Institute (ACI) define la durabilidad como: "la habilidad del hormigón para resistir la acción del medio ambiente que le rodea, ataques químicos, abrasión, o cualquier otro tipo de deterioro".

La durabilidad es un aspecto esencial de la calidad de una estructura siendo **tan importante como la resistencia**. Los costos de mantenimiento y de reparación hacen aún más importante **un adecuado diseño**, el cual exige información sobre las tensiones que plantea el medio ambiente y de su efecto en el hormigón. En este documento se trata, entre otros, los diversos aspectos e interrelaciones que pueden contribuir a disminuir la durabilidad del hormigón.

El hormigón puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su concepción y/o construcción; otros pueden haberlo atacado durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros.

En el capítulo 9 del Código Estructural profundiza en el tratamiento de la durabilidad de las estructuras de hormigón, incluyendo procedimientos para la estimación de su vida útil, con objeto de disminuir las patologías derivadas de la agresividad del ambiente en que se ubica la estructura.

Se entiende por **vida útil** de la estructura el periodo de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que debe mantenerse el cumplimiento de las exigencias, satisfaciendo el conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de durabilidad, de comportamiento y de seguridad. Durante ese periodo requerirá una conservación normal, que no implique operaciones de rehabilitación, que no generen costos inesperados por mantenimiento o por reparación. Para estructuras convencionales (edificio de viviendas, oficinas y estructuras de ingeniería de escasa entidad) la vida nominal no será inferior a los 50 años. Para edificios de carácter monumental, de importancia especial y obras de infraestructura (puentes, etc.), no inferior a los 100 años. Recuérdese, por ejemplo, que el Panteón de Agripa erigido por Adriano en Roma o el Acueducto de Segovia, estructuras romanas que tienen más de 1.800 años de antigüedad.

RECOMENDACIONES TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS

Una estructura duradera debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura.

Se ha de tener siempre presente, en una estrategia correcta para la durabilidad, que en una estructura puede haber diferentes elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambientes.

Las estructuras de hormigón deberán ser idóneas para su uso, durante la totalidad del periodo de vida útil para la que se construye. Para lo que deberá de satisfacer, según el artículo 5 apartado 5.1 del Código Estructural, los siguientes requisitos:

- Seguridad y funcionalidad estructural, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que la estructura tenga un comportamiento mecánico inadecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto, considerando la totalidad de su vida útil.
- Seguridad en caso de incendio, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de la estructura sufran daños derivados de un incendio de origen accidental.
- Higiene, salud y protección del medio ambiente cumpliendo la legislación específica vigente.
- En particular se recomienda una utilización de los recursos naturales consistente en procurar el uso de materiales secundarios y reciclados en las obras de construcción, así como la reutilización y la reciclabilidad de las mismas, sus materiales y sus partes tras su demolición

❖ Estrategia de durabilidad en los elementos de hormigón (Artículo 43 del Código Estructural).

En el proyecto de una estructura de hormigón deben **incluirse las medidas necesarias para que la estructura alcance la duración de la vida útil** establecida por la propiedad, en función de las condiciones de agresividad ambiental a las que pueda estar sometida. Para ello, el proyecto deberá incluir una estrategia de durabilidad de los elementos de hormigón, según los criterios establecidos en el capítulo 9 del Código Estructural.

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 del Código Estructural.

Se justificará la **selección de las clases de exposición** consideradas para la estructura y se reflejará en planos el tipo de ambiente para el que se ha proyectado cada elemento.

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.

Un principio básico para la consecución de una estructura durable consiste en lograr, en la medida de lo posible, el **máximo de aislamiento respecto al agua**.

La mayoría de los ataques que sufre el hormigón están relacionados con el agua. Así en algunos casos, provienen de sustancias disueltas que penetran a través del hormigón (por ejemplo, ataques químicos). En otras ocasiones, es la propia agua la que provoca el deterioro (por ejemplo, en mecanismos de hielo-deshielo). Finalmente, hay veces que, si bien el agua no es la causa única o suficiente, sí que es un elemento necesario para que se desarrollen los procesos de degradación (por ejemplo, en la corrosión).

- Selección de la forma estructural_(Apartado 43.1 del Código Estructural).

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.

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.

- Consideraciones de la calidad del hormigón_(Apartado 43.2 del Código Estructural).

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 indicadas en el Código Estructural:

- 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.

- Dosificación del hormigón (Apartado 43.2.1 del Código Estructural).

La dosificación del hormigón, en función a 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 del Código Estructural.

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
Máxima relación a/c	Masa	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45
	Armado	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,55	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,55	0,45	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,45
Mínimo contenido de cemento (Kg/m ³)	Masa	200	-	-	-	-	-	-	275	-	-	275	300	300	300	300	275	300	325
	Armado	250	275	275	300	300	300	325	350	325	350	300	325	325	325	325	325	350	350
	Pretensado	275	300	300	300	300	300	325	350	325	350	300	325	325	325	325	325	350	350

Fig. 3. Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento (Ambientes X0 al XA3)

(La clase de exposición XM1, XM2 y XM3 no se han incluido en la tabla. Los parámetros son iguales al XF2).

La relación agua/cemento es un factor importante en la durabilidad del hormigón y por ello deberá ser tan baja como sea posible, y nunca superior a los valores límites establecidos por razones de durabilidad. Sin embargo, relaciones agua/cemento bajas, deben ser compatibles con una adecuada trabajabilidad del hormigón que permita su adecuada compactación y minimice los fenómenos de segregación, lo que requerirá, en ocasiones, la utilización de contenidos de cemento superiores a los estrictamente necesarios, o bien el empleo de aditivos reductores de agua.

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.

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
Resistencia característica (N/mm ²)	Masa	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	30	30	30	35
	Armado	25	25	25	30	30	30	30	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35
	Pretensado	25	25	25	30	30	30	35	35	35	35	35	30	30	30	30	30	35	35

Fig. 4. Resistencia característica mínima esperada para el hormigón (Ambientes X0 al XA3)

La resistencia mecánica de un hormigón no debe emplearse como determinante para la durabilidad, ni como sustitutivo de los requisitos de dosificación indicados.

- Protección de las armaduras frente a la corrosión (Apartado 43.3.1 del Código Estructural).

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:

- la adopción de los valores límites de dosificación del hormigón, de acuerdo con los criterios generales establecidos en el apartado 43.2.1,
- los valores de recubrimientos, obtenidos de acuerdo con lo indicado en el artículo 44,
- la adopción, en su caso, de medidas adicionales en el caso de armaduras activas, apartado 43.3.1.2,
- el uso, en su caso, de sistemas de protección superficial, apartado 43.3.1.3,
- el uso, en su caso, de productos inhibidores de la corrosión, apartado 43.3.1.4,
- el uso, en su caso, de armaduras con comportamiento mejorado frente a la corrosión, apartados 43.3.1.5 y 43.3.1.6,
- el uso, en su caso, de sistemas de protección catódica, apartado 43.3.1.7.

- Impermeabilidad del hormigón (Apartado 43.3.1 del Código Estructural).

Para que se desarrollen procesos de deterioro de carácter físico, químico o biológico, tanto en el hormigón como en la armadura de acero, debe darse una interacción entre los materiales de la estructura y el medio ambiente circundante. En ello intervienen; la permeabilidad del hormigón a los fluidos (gases o líquidos), a través de los macroporos, los poros capilares y las fisuras; así como de las condiciones de humedad, de temperatura, de presión y la presencia de agentes agresivos, que rodea la superficie del hormigón.

Una forma de garantizar la durabilidad del hormigón, así como su colaboración a la protección de las armaduras frente a la corrosión, consiste en obtener un hormigón con una **permeabilidad reducida**. Para obtenerla son decisivas la elección de una **relación agua/cemento suficientemente baja**, la **compactación idónea** del hormigón, un **contenido adecuado de cemento** y la hidratación suficiente de éste, conseguida por un **cuidadoso curado**.

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 12390-8:2020 con las modificaciones y criterios para comprobar la conformidad del apartado 57.3.3, según los criterios recogidos en la tabla 43.3.2.

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)		

Fig. 5. Profundidades de penetración de agua máxima y media

La impermeabilidad al agua del hormigón es una condición necesaria, aunque no suficiente, para lograr un comportamiento adecuado frente a los ataques agresivos.

- Ataque por ciclo hielo-deshielo (Apartado 43.3.3 del Código Estructural).

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.

- Ataque por sulfatos (Apartado 43.3.4.1 del Código Estructural).

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.

- Ataque por agua de mar (Apartado 43.3.4.2 del Código Estructural).

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.

- Reactividad álcali-árido (Apartado 43.3.4.2 del Código Estructural).

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.

Las condiciones necesarias para que se dé la reacción son: la presencia de álcali (Na_2O y K_2O) en el hormigón, la presencia de humedad (80-85%) y la temperatura.

Como consecuencia de este proceso se producen compuestos de naturaleza expansiva que pueden dar lugar a fisuración en el hormigón.

- Ataque por erosión (Apartado 43.3.5 del Código Estructural).

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.
- No superar los contenidos de cemento que se indican a continuación (tabla 43.3.5) para cada tamaño máximo de árido D:

D	Contenido máximo de cemento
10 mm	400 Kg/m ³
20 mm	375 Kg/m ³
40 mm	350 Kg/m ³

- Influencia de la fisuración en la durabilidad (Apartado 43.3.6 del Código Estructural).

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 del Código Estructural.

En el caso de estructura de hormigón armado, la influencia de la abertura de fisura sobre la corrosión de las armaduras puede ser relativamente pequeña, siempre que dicha abertura permanezca dentro de un rango de valores suficientemente pequeño. Ello se debe, en gran parte, a que presentan tendencia al autosellado, lo que evita que se produzca la aceleración de los procesos involucrados en la corrosión.

Las fisuras orientadas de forma longitudinales a la armadura tienen mayor transcendencia que las que lo hacen transversalmente, dado que su influencia es más generalizada y, además, conllevan mayor probabilidad de pérdida del recubrimiento.

- **Medidas para la fase de ejecución** (Apartado 43.4 del Código Estructural).

- Recubrimiento nominal (Apartado 43.4.1 del Código Estructural).

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.

El espesor de recubrimiento constituye un parámetro de gran importancia para lograr una protección adecuada de la armadura durante la vida de servicio de la estructura.

Los planos de proyecto reflejarán los recubrimientos nominales de las armaduras, obtenidos mediante la siguiente expresión:

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

Donde:

C_{nom} 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:

0 mm en elementos prefabricados con control intenso de ejecución.

5 mm elementos ejecutados in situ con nivel intenso de control de ejecución,

10mm mm en otros casos.

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.

- Separadores (Apartado 43.3.2 del Código Estructural).

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

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

Deberán de ser de **hormigón, mortero, plástico rígido o material similar** y haber sido específicamente diseñados para este fin.

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

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.



Fig. 6. Deficiente recubrimiento. Corrosión de la armadura

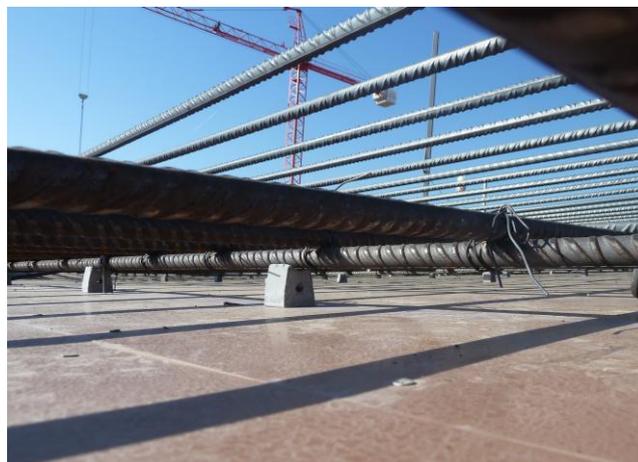


Fig. 7. Colocación separadores para garantizar el recubrimiento

❖ **Consideraciones en función a la clase de exposición** (Artículo 44 del Código Estructural).

El autor del proyecto definirá su estrategia de durabilidad mediante la comprobación de la durabilidad de los elementos, de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado 44.1 del C.E.

- **Clases de exposición X0, XC, XS y XD. Fisuración del recubrimiento debido a la corrosión de la armadura.** (Apartado 44.2 del Código Estructural).
 - Espesores de recubrimiento (Apartado 44.2.1 del Código Estructural).

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.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón (N/mm ²)	Vida útil de proyecto (t _g), (años)	
			50	100
X0	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
XC1, XC2 o XC3	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
XC4	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

Fig. 8. Recubrimientos mínimos (mm), c_{min} , para las clases de exposición X0 y XC relacionadas con la corrosión. (Tabla 44.2.1.1.a del C.E.)

Se entiende que los 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.

Tipo de elemento	Tipo de 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 microsílíce 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	*	*	*	*

Fig. 9. Recubrimientos mínimos (mm), c_{min} , para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros (Tabla 44.2.1.1.b del C.E.)

(*) 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.

Además, el recubrimiento de las armaduras pasivas y de armaduras activas pretensas, 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.

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.

La armadura embebida en hormigón fabricado con cemento portland se puede mantener exenta de corrosión de forma indefinida, como consecuencia del efecto protector de la alcalinidad que aporta el cemento al hidratarse. Esta protección se pierde al neutralizarse la alcalinidad, bien por efecto de la penetración de dióxido de carbono de la atmósfera a través de los poros del hormigón (carbonatación), o bien por la acción de los iones cloruro. Estos últimos pueden ser aportados por las materias primas del hormigón o penetrar desde el exterior (por ejemplo, en el ambiente marino).

El fenómeno corrosivo, una vez iniciado, progresa de manera continua si persiste la causa que lo originó siempre que el contenido de agua en los poros, la temperatura y el aporte de oxígeno sean suficientes. Por otra parte, los productos de la corrosión se forman con carácter expansivo, desarrollando grandes presiones que pueden provocar la fisuración y el agrietamiento del hormigón junto a las armaduras y abre nuevos cauces a los agentes agresivos. De aquí, la **gran importancia que tiene la compacidad y los recubrimientos en la protección de las armaduras del hormigón.**



Fig. 10. Corrosión de las barras corrugadas de un pilar. Condiciones ambientales. Carbonatación



Fig. 11. Corrosión del armado de una viga. Ausencia recubrimiento

- **Clases de exposición XF. Ataque al hormigón por ciclos hielo/deshielo con sales fundentes o sin ellas.** (Apartado 44.3 del Código Estructural).

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.

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

Fig. 12. Recubrimientos mínimos (mm), c_{min} , para las clases de exposición XF relacionadas con ciclos hielo/deshielo con sales fundentes o sin ellas (Tabla 44.3 del C.E.)

(*) Estas situaciones obligaría a unos recubrimientos excesivos

- **Clases de exposición XA. Ataque químico al hormigón.** (Apartado 44.4 del Código Estructural).

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, 169
- 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.

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 microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	40	55
	Restos de cementos utilizables	*	*
XA2, XA3	Cualquiera	(1)	(1)

Fig. 13. Recubrimientos mínimos (mm), c_{min} , para las clases de exposición XA relacionadas con ataque químico al hormigón. (Tabla 44.4 del C.E.)

(*) Estas situaciones obligaría 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.

- **Clases de exposición XM. Desgaste por erosión del hormigón.** (Apartado 44.5 del Código Estructural).

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 tabla siguiente:

Clase de exposición	Tipo de cemento
XM1	5
XM2	10
XM3	15

Fig. 14. Sobre-espesor de recubrimiento para las clases de exposición XM. (Tabla 44.5 del C.E.)

❖ **Mantenimiento y conservación:**

El mantenimiento es una actividad de carácter preventivo, que evita o retrasa la aparición de problemas que, de lo contrario, tendrían una resolución más complicada y una cuantía económica muy superior.

En el proyecto de todo tipo de estructuras, será obligatorio incluir un Plan de Inspección y Mantenimiento, que defina las actuaciones a desarrollar durante toda la vida útil. (Artículo 24 del C.E.)

Al menos, se solicitará, por parte de la propiedad, a un técnico una revisión inmediata siempre que aparezcan lesiones en el edificio (fisuras, grietas, etc.), y cada 5 años una inspección general.

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT	
AUTOR ● Alberto Moreno Cansado	Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES
● Moreno Cansado, Alberto. Fig. 1, 2, 6, 7, 10 y 11
● C. E.: Fig. 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13 y 14.

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA
● Código Estructural ● Normas UNE-EN 1504, UNE EN ISO 12696:2022, UNE-EN 12390-8:2020, UNE 36067:2017, UNE-EN 12350-7:2020. ● Instrucción para la recepción de cementos. RC-16. ● Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. A.M. Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez.

CONTROL:	ISSN: 2340-7573	Data: 15/1	Ord.: 5	Vol.: E	Nº: Eh-2	Ver.: 2
-----------------	------------------------	-------------------	----------------	----------------	-----------------	----------------

NOTA: Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Nota:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente