

Documento:



Eh-2

UNIDAD CONSTRUCTIVA

DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON

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 DAÑADAS

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. (EHE-08. Apartado 37.1)

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.

La EHE-08 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 de la EHE-08, los siguientes requisitos:

- a) 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 sometida durante su construcción y uso previsto, considerando la totalidad de su vida útil.
- b) 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.
- c) Higiene, salud y protección del medio ambiente.

### ❖ Durabilidad en la fase de proyecto y selección de la forma 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** acordada según lo indicado anteriormente, en función de las condiciones de agresividad ambiental a las que pueda estar sometida.

La agresividad a la que está sometida la estructura se identificará por el tipo de ambiente, como se indica en el apartado siguiente.

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.

Se diseñarán los detalles del proyecto necesarios para **facilitar la evacuación del agua**, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje. Igualmente, en la medida de lo posible, se evitará la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamientos, procurando limitar a un mínimo los poros capilares.

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**.

En la **protección frente a los agentes físicos y químicos agresivos**, las medidas preventivas suelen ser eficaces y menos costosas. Por ello la durabilidad es una cualidad que debe tenerse en cuenta durante la realización del proyecto, estudiando la naturaleza e intensidad potencial previsible del medio agresivo y **seleccionando las formas estructurales, los materiales, las dosificaciones y los procedimientos de puesta en obra** más adecuados en cada caso.

La selección del tipo de ambiente debe tener en cuenta la existencia de una serie de factores que son capaces de modificar el grado de agresividad que, a priori, podría considerarse como característico de la zona geográfica en la que se encuentra la estructura. Así, localizaciones relativamente próximas pueden presentar distintas clases de exposición en función de la altitud topográfica, la orientación general de la estructura, la naturaleza de la superficie, la existencia de zonas urbanas, la proximidad de un río, etc.

**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, ataque químicos). En otras ocasiones, es el propio agua el 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). (Punto 37.1.1 y 37.2.2 de la EHE-08).

### ❖ Tipo de ambiente al que va a estar sometido el elemento estructural

El tipo de ambiente depende de las condiciones físicas y químicas a las que está expuesto el elemento estructural, y que puede llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a los de cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

El tipo de ambiente, viene definido por la combinación de:

- **Clases de exposición ambiental relacionados con la corrosión de las armaduras**, tabla 8.2.2. EHE-08.

Los elementos estructurales de hormigón en masa tienen siempre una clase general de exposición I (no agresiva), ya que al no disponer de armaduras impide cualquier posibilidad de corrosión.

La influencia del ambiente marino aéreo depende de la topografía de la zona, de los vientos procedentes del mar, de la salinidad del mar, etc. Para determinar un ambiente IIIa, la limitación genérica considerada es de 5 km de distancia a la costa.

- **Clases específicas de exposición ambiental relativas a los otros procesos de degradación** que proceden para cada caso, de entre las definidas en la tabla 8.2.3.a y para el caso de estructuras sometidas a ataque químico (clase Q) la agresividad se clasificará según la tabla 8.2.3.b de la EHE-08.

#### ❖ Consideraciones de la durabilidad en la fase de ejecución y estrategia a seguir

La buena calidad de la ejecución de la obra y, especialmente, del **proceso de curado**, 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 permitirá compensar los efectos derivados por el incumplimiento de alguna de ellas, salvo que se justifique mediante la aplicación, en su caso, del cumplimiento del Estado Límite de durabilidad establecido en el Anejo 9 de la EHE-08.

La estrategia de durabilidad ha de considerar todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento. Incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

- Selección de **formas estructurales adecuadas**, de acuerdo con lo indicado en 37.2.2. EHE-08.
- Consecución de una **calidad adecuada del hormigón** y, en especial de su capa exterior, de acuerdo con lo indicado en 37.2.3. EHE-08.
- Adopción de un **espesor de recubrimiento** adecuado para la protección de las armaduras, según 37.2.4 y 37.2.5. EHE-08.
- Control del **valor máximo de apertura de fisura**, de acuerdo con 37.2.6. EHE-08.
- Disposición de **protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos**, según 37.2.7. EHE-08.
- Adopción de medidas de **protección de las armaduras frente a la corrosión**, conforme a lo indicado en 37.4. EHE-08.

#### ❖ Consideraciones de la calidad del hormigón y materiales constituyentes

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.

Se entiende por un hormigón de calidad adecuada, aquel que cumpla las siguientes condiciones:

- **Selección de materias primas** acorde con lo indicado en los artículos 26º al 35º.
- **Dosificación** adecuada, según lo indicado en el punto 37.3.1, así como en el punto 37.3.2.
- **Puesta en obra** correcta, según lo indicado en el Artículo 71.
- **Curado del hormigón**, según lo indicado en el apartado 71.6.
- **Resistencia** acorde con el comportamiento estructural esperado y congruente con los requisitos de durabilidad.
- Comportamiento conforme con los requisitos del punto 37.3.1.

**Áridos.** Apartado 28.1. EHE-08.

La presencia de **finos arcillosos en la arena puede afectar negativamente** tanto a la resistencia del hormigón como a su durabilidad, por lo que se ha de cumplir las limitaciones incluidas en este articulado (equivalente de arena y azul de metileno).

La presencia de **compuestos totales de azufre y sulfatos solubles** en ácidos en porcentajes superiores a las límites pone de manifiesto la inestabilidad potencial del árido y, por consiguiente, el peligro de su empleo para la fabricación de hormigón al poder afectar a su durabilidad.

**Adiciones.** Artículo 30. EHE-08.

Las adiciones pueden utilizarse como componentes del hormigón siempre que se justifique su idoneidad para su uso, produciendo el efecto deseado sin modificar negativamente las características del hormigón, ni representar peligro para la durabilidad del hormigón, ni para la corrosión de las armaduras.

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

❖ **Recubrimientos.** Punto 37.2.4. EHE-08

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. El periodo durante el que el hormigón del recubrimiento protege a las armaduras es función del cuadrado del espesor del recubrimiento. Esto conlleva que una disminución del recubrimiento a la mitad de su valor nominal, se traduzca en un periodo de protección de la armadura reducido a una cuarta parte.

Se prescribirá en el proyecto un valor nominal del recubrimiento  $r_{nom}$  definido como:

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

Donde:

$r_{nom}$  Recubrimiento nominal

$r_{min}$  Recubrimiento mínimo

$\Delta r$  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 en casos de elementos ejecutados in situ con nivel intenso de control de ejecución,

10mm mm en el resto de los casos.

El recubrimiento nominal es el valor que debe reflejarse en los planos, y que servirá para definir los separadores. El recubrimiento mínimo es el valor que se debe garantizar en cualquier punto del elemento y que es objeto de control, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 95 de la EH-08.

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.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	Vida útil de proyecto T <sub>g</sub> , (años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
II a	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
II b	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. 3. Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales I y II. Tabla 37.2.4.1 EHE-08

El recubrimiento mínimo (mm) para las clases generales de exposición III y IV figura en la tabla 37.2.4.1.b 8 y para las clases específicas de exposición en la tabla 37.2.4.1.c de la EHE-08.

❖ **Separadores.** Punto 37.2.5. EHE-08

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

Estos calzos o separadores deberán disponerse de acuerdo con lo dispuesto en 39.8.2. EHE-08. 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.



Fig. 4 Deficiente recubrimiento. Corrosión de la armadura



Fig. 4 Colocación separadores para garantizar el recubrimiento

❖ **Valores máximos de la abertura de fisura.** Punto 37.2.6. EHE-08.

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 5.1.1.2. EHE-08.

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 trascendencia que las que lo hacen transversalmente, dado que su influencia es más generalizada y, además, conllevan mayor probabilidad de pérdida del recubrimiento.

❖ **Medidas especiales de protección.** Punto 37.2.7

En casos de especial agresividad, cuando las medidas normales de protección no se consideren suficientes, se podrá recurrir a la disposición de sistemas especiales, como los siguientes:

- Aplicación de revestimientos superficiales con productos específicos para la protección del hormigón (pinturas o revestimientos), conformes con las normas de la serie UNE-EN 1504 que les sea de aplicación.
- Protección de las armaduras mediante revestimientos (por ejemplo, armaduras galvanizadas).
- Protección catódica de las armaduras, mediante ánodos de sacrificio o por corriente impresa, según UNE EN 12696.
- Armaduras de acero inoxidable, según UNE 36067.
- Aditivos inhibidores de la corrosión.

❖ **Dosificación y comportamiento del hormigón.** Punto 37.3.1. EHE-08.

Para conseguir una durabilidad adecuada del hormigón se deben cumplir los requisitos siguientes:

a) Requisitos generales:

- **Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento**, según tabla 37.3.2.a EH-08.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima relación a/c	Masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Fig. 4. Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Las 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.

b) Requisitos adicionales, en su caso:

- **Mínimo contenido de aire ocluido.**

Cuando la temperatura ambiental disminuye por debajo de 0 °C, el agua contenida en los poros del hormigón se congela, lo que genera un incremento en volumen.

Como consecuencia, se presentan esfuerzos de tensión, que originan grietas y delaminación del hormigón, incluso pudiendo llegar a una completa desintegración.

Para mejorar la resistencia del hormigón al congelamiento se debe tener en cuenta una baja relación agua/cemento, un curado prolongado y un porcentaje mínimo de aire ocluido del 4,5%, determinado de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-7.

- **Utilización de un cemento resistente a los sulfatos.**

En el caso particular de existencia de sulfatos, que puedan penetrar en el hormigón y reaccionar con los componentes de la matriz cementicia causando reacciones químicas expansivas, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la Instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 600 mg/l en el caso de las aguas, o igual o mayor que 3.000 mg/kg, en el caso de suelos.

- **Utilización de un cemento resistente al agua del mar.**

En el caso de que un elemento estructural armado este sometido a un ambiente que incluya una clase general del tipo IIIb ó IIIc, o bien que un elemento de hormigón en masa se encuentre sumergido o en zona de carrera de mareas, el cemento a emplear deberá tener la característica adicional de resistencia al agua de mar, según la Instrucción para la recepción de cementos. RC-08.

- **Resistencia frente a la erosión.**

Cuando un hormigón vaya a estar sometido a una clase de exposición E, deberá procurarse la consecución de un hormigón resistente a la erosión. Para ello se adoptarán las siguientes medidas:

- Contenido mínimo de cemento y relación máxima agua/cemento.
- Resistencia mínima del hormigón de 30 N/mm<sup>2</sup>.
- El árido fino deberá ser cuarzo u otro material de, al menos, la misma dureza.
- El árido grueso deberá tener un coeficiente de Los Ángeles inferior a 30.
- No superar los contenidos de cemento que se indican a continuación para cada tamaño máximo de árido D:

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

- Curado prolongado, con duración, al menos, un 50% superior a la que se aplicará, a igualdad del resto de condiciones, a un hormigón sometido a erosión.

- **Resistencia frente a las reacciones álcali-áridos.**

Las reacciones álcali-árido tienen lugar entre los álcalis presentes en el agua de los poros del hormigón y ciertos componentes reactivos existentes en algunos áridos. Como consecuencia de este proceso se producen compuestos de naturaleza expansiva que pueden dar lugar a fisuración en el hormigón.

Las condiciones necesarias para que se dé la reacción son: la presencia de álcali (Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) en el hormigón, la presencia de humedad (80-85% y la temperatura.

❖ **Impermeabilidad del hormigón.** Punto 37.3.3. EHE-08

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**.

Puede determinarse la impermeabilidad al agua del hormigón, mediante el método de determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión, según la UNE-EN 12.90-8. Debiéndose de realizar para las clases de exposición sean III ó IV, o cuando el ambiente presente cualquier clase específica de exposición.

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

❖ **Corrosión de las armaduras.** Apartado 37.4. EHE-08.

Durante todo el periodo de vida útil de la estructura las armaduras deberán permanecer exentas de corrosión. La agresividad del ambiente en relación con la corrosión de las armaduras, viene definida por las clases generales de exposición, según 8.2.2. EHE-08.

Se deberán tener en cuenta todas las consideraciones relativas a los espesores de recubrimiento, para prevenir la corrosión.

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. 5: Corrosión de las barras corrugadas de un pilar.  
Condiciones ambientales. Carbonatación



Fig. 6: Corrosión del armado de una viga pilar.  
Ausencia recubrimiento

