

# CAPÍTULO VII

## DURABILIDAD

### Artículo 37º Durabilidad del hormigón y de las armaduras

#### 37.1 Generalidades

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 llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Una estructura durable 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. Para ello, el Autor del proyecto deberá diseñar una estrategia de durabilidad que tenga en cuenta las especificaciones de este Capítulo. Alternativamente, para los procesos de corrosión de las armaduras, podrá optar por comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el apartado 1 del Anejo nº 9.

Una estrategia correcta para la durabilidad debe tener en cuenta que en una estructura puede haber diferentes elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambiente.

#### 37.1.1 Consideración de la durabilidad en la fase de proyecto

El proyecto de una estructura de hormigón debe incluir las medidas necesarias para que la estructura alcance la duración de la vida útil acordada según lo indicado en el Artículo 5º, en función de las condiciones de agresividad ambiental a las que pueda estar sometida. Para ello, deberá incluir una estrategia de durabilidad, acorde a los criterios establecidos en el Apartado 37.2. En el caso de que, por las características de la estructura, el Autor del proyecto estimara conveniente la estimación de la vida útil de la estructura mediante la comprobación del Estado Límite de durabilidad, podrá emplear los métodos contemplados en el Anejo nº 9 de esta Instrucción.

La agresividad a la que está sometida la estructura se identificará por el tipo de ambiente, de acuerdo con 8.2.1.

En la memoria, se justificará la selección de las clases de exposición consideradas para la estructura. Así mismo, en los planos se reflejará 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.

Los elementos de equipamiento, tales como apoyos, juntas, drenajes, etc., pueden tener una vida más corta que la de la propia estructura por lo que, en su caso, se estudiará la adopción de medidas de proyecto que faciliten el mantenimiento y sustitución de dichos elementos durante la fase de uso.

#### 37.1.2 Consideración de la durabilidad en la fase de ejecución

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.

#### 37.2 Estrategia para la durabilidad

##### 37.2.1 Prescripciones generales

Para satisfacer los requisitos establecidos en el Artículo 5º será necesario seguir una estrategia que considere todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento.

La estrategia de durabilidad incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

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

##### 37.2.2 Selección de la forma estructural

En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad 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.). 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.

Salvo en obras de pequeña importancia, se deberá prever, en la medida de lo posible, 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 XVIII de esta Instrucción.

### 37.2.3 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.

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 71º.
- 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.

### 37.2.4 Recubrimientos

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie del hormigón más cercana.

A los efectos de esta Instrucción, se define como recubrimiento mínimo de una armadura pasiva aquel que debe cumplirse en cualquier punto de la misma. Para garantizar estos valores mínimos, 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 el caso de elementos ejecutados <i>in situ</i> con nivel intenso de control de ejecución, y |
| 10 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 95º.

En los casos particulares de atmósfera fuertemente agresiva o especiales riesgos de incendio, los recubrimientos indicados en el presente Artículo deberán ser aumentados.

### 37.2.4.1. Especificaciones respecto a recubrimientos de armaduras pasivas o activas pretesas

En el caso de las armaduras pasivas o armaduras activas pretesas, los recubrimientos mínimos deberán 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 28.3.
- b) Para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) o armaduras activas pretesas, el recubrimiento no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en las tablas 37.2.4.1.a, 37.2.4.1.b y 37.2.4.1.c.
- 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. El Anejo nº 9 incluye algunas recomendaciones para evaluar la contribución a la que se refiere este punto, en el caso de emplearse morteros de revestimiento.
- d) El recubrimiento de las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medido en dirección perpendicular al plano de la curva.
- e) 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 medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción, 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.

Tabla 37.2.4.1.a Recubrimientos mínimos (mm)  
para las clases generales de exposición I y II

| Clase de exposición | Tipo de cemento   | Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ] | Vida útil de proyecto (t <sub>0</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  |

Tabla 37.2.4.1.b Recubrimiento mínimo (mm)  
para las clases generales de exposición III y IV

| Hormigón   | Cemento   | Vida útil de proyecto (t <sub>0</sub> ) (años) | Clase general de exposición |      |      |    |
|------------|---|--|-----------------------------|------|------|----|
|            |   |  | IIIa                        | IIIb | IIIc | IV |
| Armado     | CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de | 50   | 25                          | 30   | 35   | 35 |
|            |   | 100  | 30                          | 35   | 40   | 40 |
|            | Resto de cementos utilizables   | 50   | 45                          | 40   | *    | *  |
|            |   | 100  | 65                          | *    | *    | *  |
| Pretensado | CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%  | 50   | 30                          | 35   | 40   | 40 |
|            |   | 100  | 35                          | 40   | 45   | 45 |
|            | Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º  | 50   | 65                          | 45   | *    | *  |
|            |   | 100  | *                           | *    | *    | *  |

\* Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el Anejo nº 9, a partir de las características del hormigón prescrito en el Pliego de prescripciones técnicas del proyecto.

En caso de mecanismos de deterioro distintos de la corrosión de las armaduras, se emplearán los valores de la tabla 37.2.4.1.c.

Tabla 37.2.4.1.c Recubrimientos mínimos para las clases específicas de exposición

| Clase de exposición | Tipo de cemento   | Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ] | Vida útil de proyecto (t <sub>0</sub> ), (años) |     |
|---------------------|---|--|---|-----|
|                     |   |  | 50  | 100 |
| H                   | CEM III   | $25 \leq f_{ck} < 40$  | 25  | 50  |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$   | 15  | 25  |
|                     | Otros tipos de cemento  | $25 \leq f_{ck} < 40$  | 20  | 35  |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$   | 10  | 20  |
| F                   | CEM I I/A-D   | $25 \leq f_{ck} < 40$  | 25  | 50  |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$   | 15  | 35  |
|                     | CEM III   | $25 \leq f_{ck} < 40$  | 40  | 75  |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$   | 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  |
| E <sup>(1)</sup>    | Cualquiera  | $25 \leq f_{ck} < 40$  | 40  | 80  |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$   | 20  | 35  |
| Qa                  | CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% | -  | 40  | 55  |
|                     | Resto de cementos utilizables   | -  | *   | *   |
| Qb, Qc              | Cualquiera  | -  | (2)   | (2) |

<sup>(1)</sup> Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos

<sup>(1)</sup> Estos valores corresponden a condiciones moderadamente duras de abrasión. En el caso de que se prevea una fuerte abrasión, será necesario realizar un estudio detallado.

<sup>(2)</sup> 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.

Los valores de recubrimiento mínimo de las tablas 37.2.4.1.a, 37.2.4.1.b y 37.2.4.1.c están asociadas al cumplimiento simultáneo de las especificaciones de dosificación del hormigón contempladas en 37.3 para cada clase de exposición. En el caso de que se dispongan datos experimentales sobre la agresividad del ambiente en estructuras similares

situadas en zonas próximas y con el mismo grado de exposición, o bien en el caso de que se decida adoptar en el proyecto unas características del hormigón más exigentes que las indicadas en el articulado, el Autor del proyecto podrá comprobar el cumplimiento del Estado Límite de durabilidad, de acuerdo con lo indicado en el Anejo nº 9.

En el caso de que el Autor del proyecto establezca en el mismo la adopción de medidas especiales de protección frente a la corrosión de las armaduras (protección catódica, armaduras galvanizadas o empleo de aditivos inhibidores de corrosión en el hormigón); podrá disponer unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases generales III y IV, que se corresponderán con los indicados en este artículo para la clase general IIb., siempre que se puedan disponer las medidas necesarias para garantizar la eficacia de dichas medidas especiales durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

#### 37.2.4.2 Recubrimientos de armaduras activas postesas

En el caso de las armaduras activas postesas, los recubrimientos mínimos en las direcciones horizontal y vertical (Figura 37.2.4.2) 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

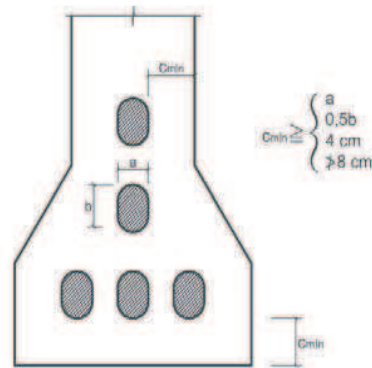


Figura 37.2.4.2

#### 37.2.5 Separadores

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 69.8.2. 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.

#### 37.2.6 Valores máximos de la abertura de fisura

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.

#### 37.2.7 Medidas especiales de protección

En casos de especial agresividad, cuando las medidas normales de protección no se consideren suficientes, se podrá recurrir a la disposición de sistemas especiales de protección, 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 sean 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.

Las protecciones adicionales pueden ser susceptibles de tener una vida útil incluso más pequeña que la del propio elemento estructural. En estos casos, el proyecto deberá contemplar la planificación de un mantenimiento adecuado del sistema de protección.