

# LECCIÓN 4

## **DURABILIDAD**

(Art. 8.2 y Cap. VII EHE-08)

1. INTRODUCCIÓN
2. DURABILIDAD Y VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA
3. CLASES DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL
4. ETAPA DE CONCEPCIÓN DE LA ESTRUCTURA
5. ETAPA DE PROYECTO
6. REGLAS BÁSICAS DE LA DURABILIDAD

# 1. INTRODUCCIÓN

## Ataques al hormigón

- a) *Erosión*: Abrasión (tráfico, industrias, oleaje) y cavitación (obras hidráulicas)
- b) *Helada*: Al congelarse el agua en los poros aumenta su volumen un 9 %
- c) *Biológico*: Aguas residuales (ácido sulfúrico); obras en contacto con abonos
- d) *Suelos agresivos*: A tener en cuenta en cimentaciones, muros, túneles
- e) *Químico*: En común: Debe haber humedad. La agresión crece con la temperat.

**Carbonatación** ( $\text{CO}_2$  aire penetra en los poros  $\rightarrow$  Reacción con  $\text{CaO} \rightarrow$  Carbonato  $\rightarrow$   $\downarrow$ pH de 13 a 9 (al perder basicidad se desprotege a la armadura por destrucción de la pasivación -fina capa de óxido firmemente adherido-)

## Ataques a la armadura

Son la principal causa de daño en construcciones de hormigón.

- a) *Corrosión electroquímica*: Despasivación de armaduras pasivas y activas
- b) *Corrosión bajo tensión*: En armaduras activas (corrosión iniciada en una picadura  $\rightarrow$  aumento de la fisura  $\rightarrow$  rotura frágil por la elevada tensión)

# 2. DURABILIDAD Y VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA

## Durabilidad de una estructura:

Capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a la 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.

**Tabla 5**  
Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura<sup>(1)</sup>

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal <sup>(2)</sup>	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

<sup>(1)</sup> Cuando una estructura esté constituida por diferentes partes, podrá adoptarse para tales partes diferentes valores de vida útil, siempre en función del tipo y características de la construcción de las mismas.

<sup>(2)</sup> En función del propósito de la estructura (exposición temporal, etc.). En ningún caso se considerarán como estructuras de carácter temporal aquellas estructuras de vida útil nominal superior a 10 años.

**Fuente:** EHE-08, 2011

- En estructuras convencionales no sometidas a situaciones de agresividad extraordinaria, se debe diseñar una **estrategia de durabilidad** en el proyecto
- En otros casos, para los procesos de corrosión de las armaduras, puede comprobarse **Estado Límite de Durabilidad** (Anejo nº 9 EHE-08)

### **La estrategia de durabilidad ha de tener en cuenta:**

- Todos los posibles factores de degradación
- Actuar en la fase de proyecto, ejecución y uso de la estructura
- En una estructura puede haber elementos sometidos a distintos ambientes

### 3. CLASES DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL

Tabla 8.2.2 Clases **GENERALES** de exposición relativas a la **CORROSIÓN DE ARMADURAS**

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
no agresiva		I	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- interiores de edificios, no sometidos a condensaciones</li> <li>- elementos de hormigón en masa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos de edificios protegidos de la intemperie</li> </ul>
normal	humedad alta	IIa	corrosión de origen diferente de los cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- interiores sometidos a humedades relativas medias altas (&gt; 65 %) o a condensaciones</li> <li>- exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm</li> <li>- elementos enterrados o sumergidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos en sótanos no ventilados</li> <li>- cimentaciones</li> <li>- estribos, pilas y tableros de puentes sin impermeabilizar en zonas con precipitación media anual &gt; 600 mm</li> <li>- tableros de puentes impermeabilizados, en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual &gt; 600 mm</li> <li>- elementos a la intemperie o en cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual &gt; 600mm</li> <li>- forjados en cámara sanitaria, o en interiores en cocinas y baños, o en cubierta no protegida</li> </ul>
	humedad media	IIb	corrosión de origen diferente de los cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- construcciones exteriores protegidas de la lluvia</li> <li>- tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm</li> </ul>
marina	aérea	IIIa	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar</li> <li>- elemento exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (&lt; 5 km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- edificaciones en las proximidades de la costa</li> <li>- puentes en las proximidades de la costa</li> <li>- zonas aéreas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral</li> <li>- instalaciones portuarias</li> </ul>
	sumergida	IIIb	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zonas sumergidas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral</li> <li>- ciment. y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar</li> </ul>
	en zonas de carrera de mareas y de salpicaduras	IIIc	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas o en la zona de salpicaduras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral</li> <li>- zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea</li> </ul>
con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino</li> <li>- superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- piscinas e interiores de los edificios que las albergan</li> <li>- pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve</li> <li>- estaciones de tratamiento de agua.</li> </ul>

Tabla 8.2.3.a Clases **ESPECÍFICAS** de exposición relativas a **OTROS PROCESOS DE DETERIORO**

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
Química Agresiva	débil	Qa	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver tabla 8.2.3.b)	- instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas según tabla 8.2.3.b. - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según tabla 8.2.3.b.
	media	Qb	ataque químico	- elementos en contacto con agua de mar - elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver tabla 8.2.3.b)	- dolos, bloques y otros elementos para diques - estructuras marinas, en general - instalaciones industriales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b. - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media según tabla 8.2.3.b. - instalaciones de conducción/tratamiento aguas residuales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b.
	fuerte	Qc	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver tabla 8.2.3.b)	- instalaciones industriales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b. - instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b. - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad fuerte según tabla 8.2.3b
con heladas	sin sales fundentes	H	ataque hielo-deshielo	- elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno > 75 %, y que tengan una probabilidad anual > 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C	- construcciones en zonas de alta montaña - estaciones invernales
	con sales fundentes	F	ataque por sales fundentes	- elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C	- tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña, en las que se utilizan sales fundentes
erosión		E	abrasión cavitación	- elementos sometidos a desgaste superficial - elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua	- pilas de puente en cauces muy torrenciales - elementos de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral sometidos a fuertes oleajes - pavimentos de hormigón - tuberías de alta presión

Tabla 8.2.3.b. Clasificación de la agresividad química

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	VALOR DEL pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> AGRESIVO (mg CO <sub>2</sub> /l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg/l)	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg)	> 20	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg de suelo seco)	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

(\*) Estas condiciones no se dan en la práctica

### Ejemplos:

De acuerdo con el articulado, un elemento estructural estará sometido a un ambiente definido por la combinación de una serie de clases de exposición, una de ellas general y el resto específicas. A continuación se presentan varios ejemplos:

— Pilas de un paso superior situado en zona de alta montaña.

- Clase general de exposición: IV (con cloruros no marinos)
- Clases específicas de exposición: F (con heladas y sales fundentes)
- Tipo de ambiente: IV+F

— Pilares vistos formando soportales en un edificio en zona con clima benigno y lejos de zonas industriales.

- Clase general de exposición: IIb (normal media)
- Clases específicas de exposición: no hay
- Tipo de ambiente: IIb

— Tableros de puente, a 200 m de la costa en terrenos no yesíferos.

- Clase general de exposición: IIIa (marina aérea)

- Clases específicas de exposición: no hay
- Tipo de ambiente: IIIa

— Cajones flotantes prefabricados de hormigón armado para la construcción de un dique portuario, que se trasladan flotando hasta su ubicación definitiva y posteriormente se hundien.

- Clase general de exposición: IIIb (marina sumergida)
- Clases específicas de exposición: Qb (química agresiva media)
- Tipo de ambiente: IIIb + Qb

— Bloques de hormigón en masa para diques de protección de un puerto

- Clase general de exposición: I (hormigón en masa, no agresiva)
- Clases específicas de exposición: Qb (química agresiva media) + E (erosión)
- Tipo de ambiente: I + Qb + E

Fuente: EHE-98, 1998

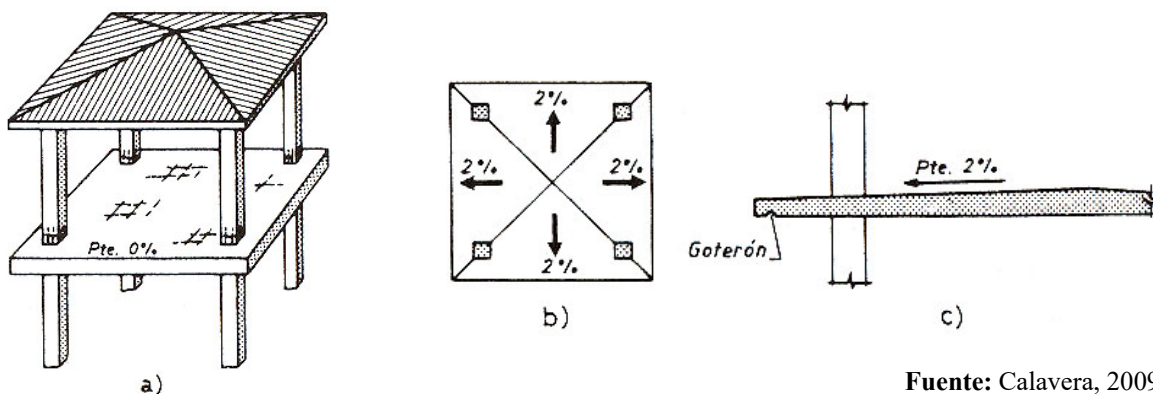
[www.fomento.es/mfom.cea.web/](http://www.fomento.es/mfom.cea.web/) → Base de datos municipios españoles

## 4. ETAPA DE CONCEPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

### Elección de la forma estructural adecuada y sus detalles:

- Evitar diseños sensibles al agua y reducir el contacto entre ésta y el hormigón
- Diseñar sistemas de evacuación del agua (imbornales, conducciones, etc.), evitando además el paso de agua sobre juntas y sellados
- Evitar superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua
- En aligeramientos u oquedades internas asegurar la ventilación y drenaje agua
- Prever el acceso a los elementos estructurales para inspección y mantenimiento

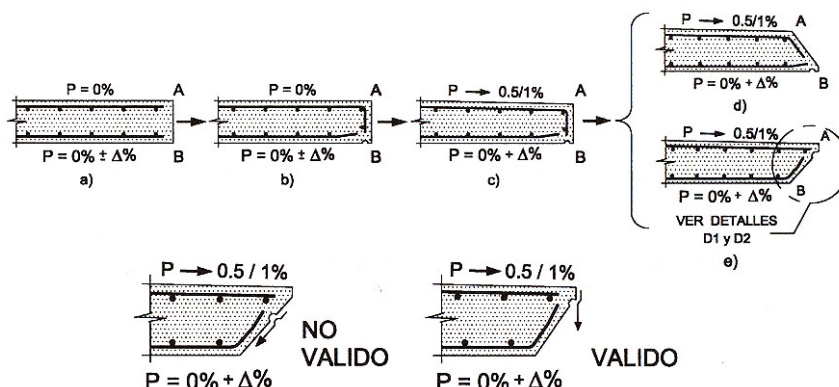
### Pendientes y goterón



Fuente: Calavera, 2009

### Borde de una losa a la intemperie

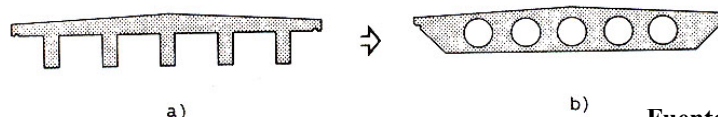
Defectos: Pendiente, armado canto AB, goterón y autolavado del canto AB



Fuente: Calavera, 2009

### Elección de forma estructural

Solución a): Problemas de armaduras de esquina, alma, etc. ⇒ Corrosión



Fuente: Calavera, 2009

## 5. ETAPA DE PROYECTO

### • EMPLEO DE HORMIGÓN ADECUADO

- Adecuada selección de materiales, en especial del cemento (Anejo 4)
- Dosificación adecuada (sobre todo una relación a/c suficientemente baja)
- Puesta en obra correcta (aplicación de una idónea compactación)
- Curado cuidadoso (un mal curado aumenta la porosidad, acelerando la carbonatación y aumentando el riesgo de corrosión de armaduras)
- Resistencia congruente con los requisitos de durabilidad

\* Máxima relación a/c, Mínimo contenido de cemento y Resistencia mínima compatible con los requisitos de durabilidad ⇒ Tabla 37.3.2 EHE-08

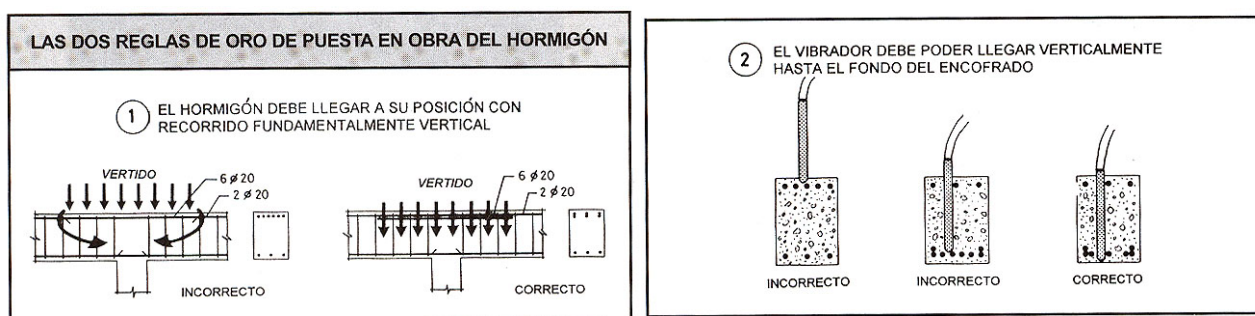
### \* Ensayo de la determinación de la profundidad de agua bajo presión

- Un hormigón es suficientemente impermeable si se cumple simultáneamente:

Clase de exposición ambiental	Profundidad máxima	Profundidad media
IIIa, IIIb, IV, Qa, E, H, F Qb (para HM y HA)	50 mm	30 mm
IIIc, Qc Qb (sólo HP)	30 mm	20 mm

- En general, los hormigones de alta resistencia tienen baja porosidad

### \* Puesta en obra



Fuente: Calavera, 2009



Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	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
Resistencia mínima recomendada (*) (N/mm <sup>2</sup> )	Masa	20	-	-	-	-	-	-	30	30	35	30	30	30
	Armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	Pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

**Tabla 37.3.2 EHE-08**

**Máx. relación a/c, Mín. contenido de cemento y Resistencia mínima recomendada (\*) en función de los requisitos de durabilidad**

(\*) Se trata de una tabla meramente orientativa, pues aunque estas resistencias pueden alcanzarse con áridos de buena calidad, hay determinadas zonas geográficas donde los áridos disponibles no permiten alcanzar estos valores, aun cumpliendo los requisitos de máx. relación a/c y mín. contenido de cemento

## • RECUBRIMIENTOS

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

$r_{nom}$  = Recubrimiento nominal (es el reflejado en los planos y el que define los separadores a emplear)

$r_{min}$  = Recubrimiento mínimo (se debe garantizar en cualquier punto del elemento y es objeto de control) → Tablas 37.2.4.1 EHE-08

$\Delta r$  = Margen de recubrimiento

= 0 mm Elem. prefabr. con control intenso de ejecución y láminas

= 5 mm Elem. *in situ* con control intenso de ejecución

= 10 mm Resto de casos (control normal o reducido)

Además,  $r_{min}$  debe cumplir:

a)  $r_{min} \geq \varnothing$  barra ( $\varnothing_{grupo}$  si se trata de un grupo de barras)

$\geq 0,8T.M.A.$  ó  $1,25T.M.A.$  si la barra está cerca del paramento dificultando el paso de hormigón

b) En el caso de viguetas o placas prefabricadas para forjados unidireccionales, se puede contar como recubrimiento el espesor de los materiales de revestimiento permanente que sean compactos e impermeables.

No obstante, el recubrimiento de hormigón  $r_{min} \geq 15$  mm

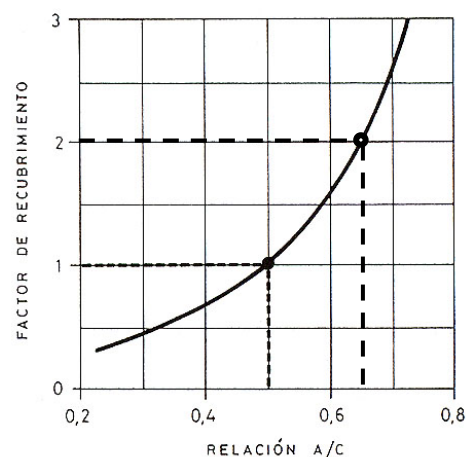
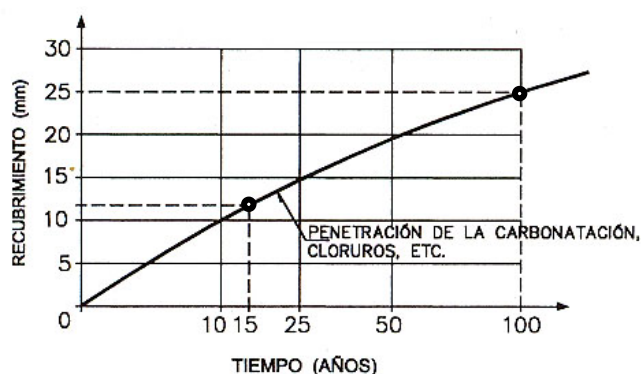
c) El recubrimiento de las barras dobladas  $\geq 2\varnothing$  barra

d) Cuando  $r > 50$  mm, conveniente colocar una malla de reparto en medio, en la zona de tracción, de cuantía = 5 % del área del recubrim. para  $\varnothing \leq 32$  mm

= 10 % del área del recubrim. para  $\varnothing > 32$  mm

e) En piezas hormigonadas contra el terreno  $r_{\min} = 70$  mm (exc. H. de limpieza)

Comentario: En muros hormigonados contra el terreno, pantallas y pilotes, la propia técnica constructiva conlleva unos sobredimensionamientos que hacen innecesaria esta especificación adicional de  $r_{\min} = 70$  mm



INFLUENCIA DE LA RELACIÓN A/C SOBRE LA PERMEABILIDAD RELATIVA AL RECUBRIMIENTO PARA PROTEGER LA ARMADURA

## • CONTROL DEL ANCHO DE FISURA

Fuente: Calavera, 2009

Se estudiará en una lección posterior

## • PROTECCIONES SUPERFICIALES EN EL CASO DE AMBIENTES MUY AGRESIVOS

- Revestimientos superficiales de protección del hormigón
- Revestimientos de protección de las armaduras (p.ej. armaduras galvanizadas)
- Protección catódica de las armaduras (ánodos de sacrificio o corriente impresa)
- Armaduras de acero inoxidable
- Aditivos inhibidores de la corrosión

**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 ( $t_g$ ), (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 ( $t_g$ ), (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 microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	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 26°	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 n° 9, a partir de las características del hormigón prescrito en el Pliego de prescripciones técnicas del proyecto.

Fuente: EHE-08, 2011

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 ( $t_g$ ), (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 microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	—	40	55
	Resto de cementos utilizables	—	*	*
Qb, Qc	Cualquiera	—	(2)	(2)

(\*) 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.

Fuente: EHE-08, 2011

## **6. REGLAS BÁSICAS DE DURABILIDAD (Calavera, 2009)**

- 1) Utilizar suficiente cemento.
- 2) Emplear baja relación A/C.
- 3) Recurrir a los superfluidificantes si hace falta, para tener suficiente descenso de cono (7 u 8 cm en los casos ordinarios) con baja relación A/C. (No obtener la resistencia exigida en probetas con hormigones de casi nulo descenso de cono y bajo contenido de cemento, que no pueden colocarse adecuadamente en obra).
- 4) Emplear separadores.
- 5) Compactar enérgicamente el hormigón.
- 6) Curar adecuadamente.
- 7) Realizar un control estricto de la inyección en el caso de estructuras pretensadas.