



## TÍTULO 1.º BASES DE PROYECTO

# CAPÍTULO II

## CRITERIOS DE SEGURIDAD Y BASES DE CÁLCULO

### Artículo 6º Criterios de seguridad

#### 6.1 Principios

Las exigencias del requisito de seguridad y estabilidad, así como las correspondientes al requisito de aptitud al servicio pueden ser expresadas en términos de la probabilidad global de fallo, que está ligada al índice de fiabilidad, tal como se indica en 5.1.

En la presente Instrucción se asegura la fiabilidad requerida adoptando el método de los Estados Límite, tal y como establece el Artículo 8º. Este método permite tener en cuenta de manera sencilla el carácter aleatorio de las variables de sollicitación, de resistencia y dimensionales que intervienen en el cálculo. El valor de cálculo de una variable se obtiene a partir de su principal valor representativo, ponderándolo mediante su correspondiente coeficiente parcial de seguridad.

Los coeficientes parciales de seguridad no tienen en cuenta la influencia de posibles errores humanos groseros. Estos fallos deben ser evitados mediante mecanismos adecuados de control de calidad que deberán abarcar todas las actividades relacionadas con el proyecto, la ejecución, el uso y el mantenimiento de una estructura.

#### 6.2 Comprobación estructural mediante cálculo

La comprobación estructural mediante cálculo representa una de las posibles medidas para garantizar la seguridad de una estructura y es el sistema que se propone en esta Instrucción.

#### 6.3 Comprobación estructural mediante ensayos

En aquellos casos donde las reglas de la presente Instrucción no sean suficientes o donde los resultados de ensayos pueden llevar a una economía significativa de una estructura, existe también la posibilidad de abordar el dimensionamiento estructural mediante ensayos.

Este procedimiento no está desarrollado explícitamente en esta Instrucción y por lo tanto deberá consultarse en la bibliografía especializada. En cualquier caso, la planificación, la ejecución y la valoración de los ensayos deberán conducir al nivel de fiabilidad definido por la presente Instrucción, al objeto de cumplir las correspondientes exigencias.



## **Artículo 7º Situaciones de proyecto**

Las situaciones de proyecto a considerar son las que se indican a continuación:

- Situaciones persistentes, que corresponden a las condiciones de uso normal de la estructura.
- Situaciones transitorias, como son las que se producen durante la construcción o reparación de la estructura.
- Situaciones accidentales, que corresponden a condiciones excepcionales aplicables a la estructura.

## **Artículo 8º Bases de cálculo**

### **8.1 El método de los Estados Límite**

#### **8.1.1 Estados Límite**

Se definen como Estados Límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.

A los efectos de esta Instrucción, los Estados Límite se clasifican en:

- Estados Límite Últimos
- Estados Límite de Servicio
- Estado Límite de Durabilidad

Debe comprobarse que una estructura no supere ninguno de los Estados Límite anteriormente definidos en cualquiera de las situaciones de proyecto indicadas en el Artículo 7º, considerando los valores de cálculo de las acciones, de las características de los materiales y de los datos geométricos.

El procedimiento de comprobación, para un cierto Estado Límite, consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas a la estructura o a parte de ella y, por otra, la respuesta de la estructura para la situación límite en estudio. El Estado Límite quedará garantizado si se verifica, con un índice de fiabilidad suficiente, que la respuesta estructural no es inferior que el efecto de las acciones aplicadas.

Para la determinación del efecto de las acciones deben considerarse las acciones de cálculo combinadas según los criterios expuestos en el Capítulo III y los datos geométricos según se definen en el Artículo 16º y debe realizarse un análisis estructural de acuerdo con los criterios expuestos en el Capítulo V.

Para la determinación de la respuesta estructural deben considerarse los distintos criterios definidos en el Título 5º, teniendo en cuenta los valores de cálculo de los materiales y de los datos geométricos, de acuerdo con lo expuesto en el Capítulo IV.

En el caso del Estado Límite de Durabilidad, se deberá clasificar la agresividad ambiental conforme al Artículo 8º de esta Instrucción y desarrollar una estrategia eficaz según el Título 4º de esta Instrucción.



### 8.1.2 Estados Límite Últimos

La denominación de Estados Límite Últimos engloba todos aquellos que producen el fallo de la estructura, por pérdida de equilibrio, colapso o rotura de la misma o de una parte de ella. Como Estados Límite Últimos deben considerarse los debidos a:

- fallo por deformaciones plásticas excesivas, rotura o pérdida de la estabilidad de la estructura o parte de ella;
- pérdida del equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como un sólido rígido;
- fallo por acumulación de deformaciones o fisuración progresiva bajo cargas repetidas.

En la comprobación de los Estados Límite Últimos que consideran la rotura de una sección o elemento, se debe satisfacer la condición:

$$R_d \geq S_d$$

donde:

$R_d$  Valor de cálculo de la respuesta estructural.

$S_d$  Valor de cálculo del efecto de las acciones.

Para la evaluación del Estado Límite de Equilibrio (Artículo 41º) se debe satisfacer la condición:

$$E_{d, estab} \geq E_{d, desestab}$$

donde:

$E_{d, estab}$  Valor de cálculo de los efectos de las acciones estabilizadoras.

$E_{d, desestab}$  Valor de cálculo de los efectos de las acciones desestabilizadoras.

El Estado Límite de Fatiga (Artículo 48º) está relacionado con los daños que puede sufrir una estructura como consecuencia de sollicitaciones variables repetidas.

En la comprobación del Estado Límite de Fatiga se debe satisfacer la condición:

$$R_F \geq S_F$$

donde:

$R_F$  Valor de cálculo de la resistencia a fatiga.

$S_F$  Valor de cálculo del efecto de las acciones de fatiga.



### **8.1.3 Estados Límite de Servicio**

La denominación de Estados Límite de Servicio engloba todos aquéllos para los que no se cumplen los requisitos de funcionalidad, de comodidad o de aspecto requeridos.

En la comprobación de los Estados Límite de Servicio se debe satisfacer la condición:

$$C_d \geq E_d$$

donde:

$C_d$  Valor límite admisible para el Estado Límite a comprobar (deformaciones, vibraciones, abertura de fisura, etc.).

$E_d$  Valor de cálculo del efecto de las acciones (tensiones, nivel de vibración, abertura de fisura, etc.).

### **8.1.4. Estado Límite de Durabilidad**

Se entiende por Estado Límite de Durabilidad el producido por las acciones físicas y químicas, diferentes a las cargas y acciones del análisis estructural, que pueden degradar las características del hormigón o de las armaduras hasta límites inaceptables.

La comprobación del Estado Límite de Durabilidad consiste en verificar que se satisface la condición:

$$t_L \geq t_d$$

donde:

$t_L$  Tiempo necesario para que el agente agresivo produzca un ataque o degradación significativa.

$t_d$  Valor de cálculo de la vida útil.

## **8.2 Bases de cálculo adicionales orientadas a la durabilidad**

Antes de comenzar el proyecto, se deberá identificar el tipo de ambiente que defina la agresividad a la que va a estar sometido cada elemento estructural.

Para conseguir una durabilidad adecuada, se deberá establecer en el proyecto, y en función del tipo de ambiente, una estrategia acorde con los criterios expuestos en el Capítulo VII.

### **8.2.1 Definición del tipo de ambiente**

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

El tipo de ambiente viene definido por la combinación de:

- una de las clases generales de exposición, frente a la corrosión de las



armaduras, de acuerdo con 8.2.2.

- las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que procedan para cada caso, de entre las definidas en 8.2.3.

En el caso de que un elemento estructural esté sometido a alguna clase específica de exposición, en la designación del tipo de ambiente se deberán reflejar todas las clases, unidas mediante el signo de adición "+".

Cuando una estructura contenga elementos con diferentes tipos de ambiente, el Autor del Proyecto deberá definir algunos grupos con los elementos estructurales que presenten características similares de exposición ambiental. Para ello, siempre que sea posible, se agruparán elementos del mismo tipo (por ejemplo, pilares, vigas de cubierta, cimentación, etc.), cuidando además que los criterios seguidos sean congruentes con los aspectos propios de la fase de ejecución.

Para cada grupo, se identificará la clase o, en su caso, la combinación de clases, que definen la agresividad del ambiente al que se encuentran sometidos sus elementos.

### **8.2.2 Clases generales de exposición ambiental en relación con la corrosión de armaduras**

En general, todo elemento estructural está sometido a una única clase o subclase general de exposición.

A los efectos de esta Instrucción, se definen como clases generales de exposición las que se refieren exclusivamente a procesos relacionados con la corrosión de armaduras y se incluyen en la tabla 8.2.2.

En el caso de estructuras marinas aéreas, el Autor del Proyecto podrá, bajo su responsabilidad, adoptar una clase general de exposición diferente de IIIa siempre que la distancia a la costa sea superior a 500m y disponga de datos experimentales de estructuras próximas ya existentes y ubicadas en condiciones similares a las de la estructura proyectada, que así lo aconsejen.

### **8.2.3 Clases específicas de exposición ambiental en relación con otros procesos de degradación distintos de la corrosión.**

Además de las clases recogidas en 8.2.2, se establece otra serie de clases específicas de exposición que están relacionadas con otros procesos de deterioro del hormigón distintos de la corrosión de las armaduras (Tabla 8.2.3.a).

Un elemento puede estar sometido a ninguna, a una o a varias clases específicas de exposición relativas a otros procesos de degradación del hormigón.

Por el contrario, un elemento no podrá estar sometido simultáneamente a más de una de las subclases definidas para cada clase específica de exposición.

En el caso de estructuras sometidas a ataque químico (clase Q), la agresividad se clasificará de acuerdo con los criterios recogidos en la Tabla 8.2.3.b.



Tabla 8.2.2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las 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 estructurales de edificios, incluido los forjados, que estén 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 estructurales en sótanos no ventilados</li> <li>- cimentaciones</li> <li>- estribos, pilas y tableros de puentes en zonas, sin impermeabilizar con precipitación media anual superior a 600 mm</li> <li>- Tableros de puentes impermeabilizados, en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual superior a 600 mm</li> <li>- elementos de hormigón, que se encuentren a la intemperie o en las cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual superior a 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>- elementos estructurales en 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>- elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos estructurales de 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>- cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar</li> </ul>
	en zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIIc	corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicaduras o en zona de carrera de mareas</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 distintos de la corrosión

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 8.2.3b - instalaciones de conducción y tratamiento de 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 superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 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 que se encuentren 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, según UNE 83.952	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> AGRESIVO (mg CO <sub>2</sub> / l), según UNE-EN 13.577	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / l), según UNE 83.954	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg <sup>2+</sup> / l), según UNE 83.955	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / l), según UNE 83.956	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg / l), según UNE 83.957	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg), según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / kg de suelo seco), según UNE 83.963	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

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