

TÍTULO 1.º BASES DE PROYECTO

CAPÍTULO II. PRINCIPIOS GENERALES Y MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITE

Artículo 5.º Requisitos esenciales

Una estructura debe ser proyectada, construida y mantenida para que, con una seguridad aceptable, sea capaz de soportar todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y el período de vida útil previsto en el proyecto, mantener su funcionalidad y resistir la agresividad del ambiente.

La estructura se clasificará según su ejecución, permitiéndose establecer los requisitos de ésta y la extensión de la inspección y ensayos, de forma adecuada a la importancia de la estructura, a sus niveles de riesgo y a sus condiciones o características propias de construcción.

5.1. Vida útil

Se entiende por vida útil de una estructura el período de tiempo, a partir de la finalización de su ejecución, durante el que debe mantener los requisitos de seguridad y funcionalidad de proyecto y un aspecto estético aceptable. Durante ese período requerirá una conservación de acuerdo con el plan de mantenimiento definido en el Título 8º *Mantenimiento* de esta Instrucción.

La vida útil nominal depende del tipo de estructura y debe ser fijada por la Propiedad previamente al inicio del proyecto. En ningún caso su valor será inferior a lo indicado en las Reglamentaciones aplicables o, en su defecto, al dado en la tabla 5.1.

Tabla 5.1

Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal (*)	Entre 3 y 10 años (*)
Elementos estructurales 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, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios públicos, de salud y de educación.	75 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

(*)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.

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.

Una estructura debe, también, ser concebida de manera que las consecuencias de acciones excepcionales tales como explosiones o impactos, así como de errores, no produzcan daños desproporcionados en relación con la causa que los ha originado.

Los anteriores requisitos se satisfarán mediante un proyecto correcto que incluya una adecuada selección de la solución estructural y de los materiales de construcción, una ejecución cuidadosa conforme al proyecto, un control adecuado del proyecto, de la ejecución y de la explotación, así como un uso y mantenimiento apropiados, conforme a los criterios especificados en esta Instrucción.

Comentarios

En las estructuras cuya Propiedad sea una Administración Pública, la fecha de recepción provisional puede tomarse como fecha de finalización de la ejecución, fecha ésta a partir de la cual se contabiliza la vida útil.

La Propiedad, pública o privada, deberá definir, previamente al proyecto de la estructura, su vida útil nominal. La tabla del Articulado fija los valores mínimos para cada tipo de estructura especificada. Dichos valores son diferentes según el tipo de estructura y la repercusión económica (baja, media o alta) de los posibles deterioros por durabilidad insuficiente. En el caso de edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas, la Propiedad fijará la vida útil nominal, entre 15 y 50 años, en función de los resultados del estudio económico de rentabilidad de la inversión.

En el caso de elementos estructurales reemplazables que no forman parte de la estructura principal, la vida útil nominal se computará a partir de la fecha de recepción del elemento.

No debe confundirse la vida útil nominal con el período de retorno de las acciones (sísmicas, por ejemplo) que se especifica en las correspondientes instrucciones y normas de acciones.

5.2. Clases de ejecución

El Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto incluirá la clasificación de todos los elementos de la estructura, según su ejecución, que es necesaria para garantizar el nivel de seguridad del proyecto. Una obra, o parte de la misma, puede incluir elementos de distinta clase. Es necesario que se agrupen los elementos por clases para facilitar la descripción de requisitos y la valoración de su ejecución y control.

5.2.1. Nivel de riesgo

El nivel de riesgo de una obra define las consecuencias que podría tener su fallo estructural durante su construcción o en servicio (edificio público, almacén privado, obra estratégica, paso superior sobre vía importante, marquesina de aparcamiento, etc.)

La definición del nivel de riesgo se establece según los siguientes criterios:

- Nivel CC 3. Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, como es el caso de un edificio público, o puede generar grandes pérdidas económicas.
- Nivel CC 2. Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, pero no del público en general, o puede generar apreciables pérdidas económicas.
- Nivel CC 1. Elementos no incluidos en los niveles anteriores.

5.2.2. **Condiciones de ejecución y uso**

Las condiciones de ejecución y uso tratan de categorizar los riesgos inherentes al tipo de construcción y al tipo de acciones que pueden incidir sobre la estructura.

En general puede aceptarse que la complejidad de la construcción o el empleo de técnicas y procedimientos especiales pueden suponer un aumento del riesgo, así como también la existencia de esfuerzos dinámicos y condiciones climáticas desfavorables (soldadura en obra frente a uniones atornilladas, carrileras de puente grúa frente a soportes de barandillas, temperaturas bajas frente a elementos en interiores, etc.)

La definición de la condición de ejecución y uso se puede establecer de acuerdo con los siguientes criterios:

- Categoría PS 3: Elementos en los que es necesario el cálculo a fatiga.
- Categoría PS 2: Elementos no incluidos en la categoría PS 3, pero en los que se da alguna de las siguientes circunstancias:
 - Temperatura de servicio igual o inferior a -20°C .
 - Soldadura de elementos principales en obra.
 - Elementos soldados con espesores superiores a 25mm de acero S355, o equivalentes en calidades inferiores a efectos de rotura frágil.
 - Elementos elaborados con aceros de límite elástico 420N/mm^2 o superior.
 - Elementos sometidos a tratamiento térmico durante su fabricación.
 - Piezas de perfil tubular con recortes en boca de lobo.
 - Carrileras y soportes de puentes grúas.
- Categoría PS 1: Elementos no incluidos en categorías anteriores.

5.2.3. **Determinación de la clase de ejecución.**

La clase de ejecución se define a partir de los criterios anteriores de nivel de riesgo y de categoría de las condiciones de ejecución y uso de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 5.2.3
Clases de ejecución

		Nivel de riesgo		
		CC 3	CC 2	CC 1
Categoría de ejecución y uso	PS 3	4	3	3
	PS 2	3	2	2
	PS 1	3	2	1

En casos particulares, de conformidad con la Propiedad, puede ser conveniente imponer una clase de ejecución superior en algunos elementos particulares. Asimismo la clasificación anterior no limita la inclusión de requisitos adicionales que explícitamente se indiquen en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

Artículo 6.º Criterios de seguridad

6.1. Principios

La seguridad de una estructura frente a un riesgo puede ser expresada en términos de la probabilidad de fallo, caracterizada por un valor del índice de fiabilidad.

En esta Instrucción se asegura la fiabilidad requerida adoptando el método de los estados límite (apartado 8.1). Este método permite tener en cuenta de manera sencilla el carácter aleatorio de las variables de sollicitación y de respuesta estructural 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. 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.

Comentarios

El procedimiento de los estados límite, basado en la determinación de unos coeficientes parciales de seguridad, corresponde a un método de fiabilidad de nivel I, con base semiprobabilista, en donde la consideración de incertidumbres se plantea de manera determinista, a través de la adopción de valores representativos.

Para la determinación de los coeficientes parciales de seguridad, básicamente existen dos procedimientos:

- a) Por medio de una calibración con los valores de cálculo de las variables empleadas en el cálculo de estructuras existentes.
- b) Por medio de una evaluación estadística de datos experimentales, en el marco de la aplicación de métodos probabilistas.

La determinación de los coeficientes parciales de seguridad de esta Instrucción están basados en el método a).

La fiabilidad se puede definir como la capacidad de la estructura para cumplir, con una probabilidad predefinida, una función en condiciones determinadas. En cierto modo corresponde a la probabilidad de ausencia de fallo y se puede cuantificar mediante el índice de fiabilidad, β .

Sean S y R las funciones sollicitación y resistencia definidas por su función de densidad de probabilidad. Sea ahora la función límite $L = R - S$ obtenida como diferencia entre la función R , resistencia, y la función S , sollicitación. Dicha función límite L viene determinada por su media μ_L y su desviación típica σ_L .

Se define entonces el índice de fiabilidad β como

$$\beta = \frac{\mu_L}{\sigma_L}$$

Es decir, el índice de fiabilidad β representa el número de desviaciones típicas σ_L que separan al valor medio μ_L de la función límite L del origen. Ello proporciona una medida de la fiabilidad, ya que cuánto más separado esté el valor μ_L del origen (mayor β), menor será la probabilidad de fallo.

Si las funciones R y S son variables aleatorias independientes con distribuciones de probabilidad normales, la función límite L será una variable aleatoria con distribución de probabilidad normal L: N (μ_L , σ_L), llegándose entonces a que

$$p_f = \Phi(-\beta)$$

siendo Φ la función de distribución normal centrada reducida N (0,1)

Como valores indicativos de la probabilidad de fallo p_f y del correspondiente índice de fiabilidad β para una distribución normal, aceptados como válidos para la mayoría de los casos, pueden considerarse los indicados en la tabla 6.1.

Tabla 6.1

Estado Límite	Probabilidad de fallo p_f	Índice de fiabilidad β
Último	$7,2 \cdot 10^{-5}$	3,8
Servicio	$6,7 \cdot 10^{-2}$	1,5

La probabilidad de fallo arriba mencionada no corresponde a la frecuencia real de fallos estructurales. Los valores de la tabla 6.1 se deben considerar como valores nominales de seguridad que sirven de base para el desarrollo de unas reglas coherentes y rigurosas para el dimensionamiento de estructuras.

6.2. Comprobación estructural mediante procedimientos de 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 casos donde las reglas de esta Instrucción no sean suficientes o donde los resultados de ensayos pueden llevar a una economía significativa de una estructura, existe también la posibilidad de que el Autor del Proyecto efectúe la comprobación estructural mediante ensayos, manteniendo el resto de criterios de esta Instrucción.

Los requisitos mínimos que deberán satisfacer los ensayos en cuanto a planificación, ejecución y evaluación se establecen en los apartados siguientes.

Debido a la gran diversidad de circunstancias que pueden darse en el proyecto de una estructura basado en ensayos, es conveniente que, en ausencia de reglamentación aplicable, la campaña experimental y especialmente los procedimientos de ensayo sean acordados previamente por todas las partes implicadas.

La campaña experimental se basará en un modelo de cálculo que, aunque pueda ser incompleto, identificará las variables determinantes del comportamiento de la estructura, de manera que se pueda prever en líneas generales la tendencia de los ensayos.

En el caso de que el modo de colapso o el comportamiento en carga no pueda ser descrito mediante un cálculo aproximado, o bien cuando existan dudas razonables sobre la validez del mismo, se recomienda efectuar ensayos piloto.

6.3.1. Plan de Ensayos

Deberá redactarse un Plan de Ensayos antes de proceder a la ejecución de los mismos.

En dicho Plan deberá constar el objetivo a conseguir, las instrucciones de operación, el diseño de los modelos de ensayo, el de cualquier otro elemento auxiliar y los criterios que se utilizarán para la evaluación de los resultados.

Entre otros aspectos, en el Plan de Ensayos se deberá tratar:

- Campo de aplicación de los ensayos (parámetros y rango de validez de los mismos).
- Descripción de las propiedades de los elementos que pueden afectar al comportamiento de la estructura (geometría, características de los materiales, tolerancias o procedimientos de montaje).
- Descripción completa de los modelos a ensayar.
- Número de modelos de ensayo que debe establecerse teniendo en cuenta los criterios de significación estadística y de evaluación de resultados.
- Establecimiento de las acciones, secuencia y velocidad de aplicación de cargas, etc.
- Condiciones ambientales.
- Modo previsto de comportamiento. Criterio de finalización de los ensayos.
- Disposición de equipos de ensayo y aparejos complementarios.
- Descripción de la instrumentación, del modo de seguimiento del ensayo y del registro de resultados.
- Tolerancias y margen de error previsto en los dispositivos de medición.

Deberá procederse a una comprobación previa tanto de la fabricación de modelos como del montaje de los mismos, al inicio de los ensayos.

Comentarios

El desarrollo de los ensayos puede aconsejar modificar el número de ensayos previsto inicialmente.

6.3.2. Ejecución de ensayos

La ejecución de los ensayos deberá ser llevada a cabo por organismos especializados con personal experimentado en este campo.

El laboratorio donde se realicen los ensayos deberá estar adecuadamente equipado y disponer de una organización que garantice una cuidadosa realización y documentación de todos los ensayos.

6.3.3. Evaluación de ensayos

En la evaluación de los ensayos se deberá considerar el carácter aleatorio de todos los datos. La fiabilidad de los resultados deberá establecerse de acuerdo con métodos estadísticos suficientemente contrastados.

Comentarios

Para la evaluación de los resultados de los ensayos puede consultarse el Anejo XXX.

6.3.4. Documentación

Cada campaña de ensayos deberá quedar documentada en un Informe de Ensayos que, además de contener el Plan de Ensayos descrito en 6.3.1, incluirá la descripción de los ensayos, las incidencias ocurridas, las personas participantes incluyendo su responsabilidad en los ensayos, los resultados y la valoración de los mismos.

Artículo 7.º 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 8.º 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.

Generalmente, los estados límite se clasifican en:

- Estados límite últimos
- Estados límite de servicio

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 una fiabilidad aceptable, que la respuesta estructural no es inferior al 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 los Títulos 4º y 5º de esta Instrucción, teniendo en cuenta los valores de cálculo de los materiales y de los datos geométricos, de acuerdo con lo expuesto en el Capítulo IV.

La definición de las acciones actuantes en las estructuras se establece en las respectivas Instrucciones, Reglamentos, Normas básicas, etc., relativas a acciones. En esta Instrucción se fijan, en general, dado que resultan imprescindibles para su utilización, reglas para la definición de los valores de cálculo de las acciones y sus combinaciones, siempre que las correspondientes Instrucciones de acciones no indiquen otra cosa.

Comentarios

Una estructura pasa a lo largo del tiempo, por diversas fases caracterizadas por el tipo y valor de las cargas que ha de soportar y, eventualmente, por el esquema estructural estático y seccional que la estructura adopta (Artículo 7º). Las fases se refieren, por tanto, a un determinado estado de la estructura, incluidos los de construcción.

Será necesario realizar las comprobaciones de los diferentes estados límite, en cada fase, considerando, como mínimo, las siguientes:

1) Fases de construcción

- a) Diversas fases de construcción.
- b) En el caso de estructuras de acero pretensadas, serán de especial interés la fase o fases de aplicación de la fuerza de pretensado.

2) Fases de servicio

En situación de servicio de la estructura, puede resultar necesario analizar distintas fases si, por ejemplo, su puesta en servicio se realiza antes de que ciertas acciones dependientes del tiempo hayan alcanzado su valor final, como por ejemplo en estructuras de acero pretensadas.

8.1.2. **Estados límite últimos**

La denominación de estados límite últimos engloba todos aquellos que producen el fallo de la estructura, por colapso o rotura de la misma o de una parte de ella.

Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- pérdida del equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como un sólido rígido;
- fallo por pérdida de la estabilidad de la estructura o parte de ella, o de algún o algunos elementos estructurales que constituyen la estructura;
- fallo por agotamiento de la resistencia de la estructura o de las secciones de los elementos estructurales que constituyen la misma;
- fallo por agotamiento de la resistencia de las uniones;
- fallo por deterioro progresivo bajo la actuación de cargas repetidas.

En la comprobación de los estados límite últimos que consideran el colapso o rotura de una sección o elemento estructural, 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 33º) se debe satisfacer la condición:

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

donde:

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

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

Comentarios

Los estados límite últimos incluidos en esta Instrucción son:

- Estado límite de equilibrio. Se estudia para la estructura completa o para cada parte independiente de la misma.
- Estado límite de resistencia de la estructura
- Estados límite de resistencia de las secciones. Se estudian para cada sección transversal, en función de los esfuerzos que la solicitan.
- Estados límite de inestabilidad. Se estudian, según los casos, para la estructura completa (pandeo global), para partes de la misma o para elementos considerados como aislados, tales como soportes (pandeo), vigas (pandeo lateral, abolladura), barras de celosía, etc.
- Estados límite de resistencia de las uniones.
- Estado límite de fatiga.

8.1.3. **Estados límite de servicio**

Se incluyen bajo la denominación de estados límite de servicio todas aquellas situaciones de la estructura para las que no se cumplen los requisitos de funcionalidad, de comodidad, de durabilidad 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, etc.).

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

Comentarios

Los estados límite de servicio incluidos en esta Instrucción son:

- Estado límite de deformaciones. Es el producido por deformaciones que pueden afectar a las acciones aplicadas o a la apariencia o al uso de la estructura o causar daños en elementos no estructurales.
- Estado límite de vibraciones. Es el producido por vibraciones que pueden ser desagradables o causar inquietud a los usuarios, o provocar daños en la estructura o equipos.
- Estado límite de deslizamiento en uniones con tornillos de alta resistencia pretensados. Se produce cuando existe deslizamiento entre los elementos unidos; no se garantiza entonces que los esfuerzos se transmitan a través de la unión por el rozamiento generado en las superficies de contacto.
- Estado límite de deformaciones transversales en paneles esbeltos. Se produce cuando, en paneles de esbeltez considerable, las deformaciones transversales que se pueden inducir en condiciones de servicio provocan una apariencia inaceptable de la obra, inquietud respecto a la seguridad de la misma, cambio brusco en la configuración de equilibrio y riesgo de fisuración por fatiga.
- Estado límite de plastificaciones locales. Se produce cuando en condiciones de servicio no se puede garantizar un comportamiento cuasi-lineal de la estructura frente a las cargas de servicio, a efectos de validar los modelos de cálculo utilizados habitualmente para el control de los otros estados límite de servicio.

8.2. Bases de cálculo orientadas a la durabilidad

Antes de comenzar el proyecto, se deberá identificar el tipo de ambiente que define 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 y con lo expuesto en el Artículo 79º *Tratamiento de protección* y en el Título 8º *Mantenimiento* de esta Instrucción.

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 una de las clases de exposición, frente a corrosión, de acuerdo con 8.2.2.

Cuando una estructura contenga elementos con diferentes tipos de ambiente, el proyectista 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, placas de base, 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 que define la agresividad del ambiente al que se encuentran sometidos sus elementos.

8.2.2. Clases de exposición ambiental en relación con la corrosión del acero

A los efectos de esta Instrucción, se definen como clases de exposición las que se refieren exclusivamente a procesos relacionados con la corrosión del acero.

Se distingue entre estructuras o elementos estructurales expuestos a la corrosión atmosférica (tabla 8.2.2a) y estructuras o elementos estructurales sumergidos en agua o enterrados en el suelo (tabla 8.2.2b). En el caso de que existan procesos mecánicos (erosión eólica por arena, abrasión por la acción de las olas o de los sólidos transportados por el agua), biológicos (acción de organismos vivos), térmicos (temperaturas superiores a 60°C), o agentes químicos particularmente agresivos (caso de ciertas instalaciones industriales especiales, como industrias papeleras, factorías de tintes y refinerías de petróleo), cuyo efecto agrava fuertemente la posible corrosión, deberá tenerse en cuenta este hecho, al objeto de reforzar la protección de la estructura.

Debe tenerse en cuenta el peligro de formación de condensaciones, que puede producirse en las áreas más frías de estructuras en el interior de edificios, en espacios cerrados y elementos huecos cuya hermeticidad no haya sido garantizada (caso de emplear soldaduras discontinuas o uniones no herméticas con pernos), o en instalaciones especiales (como las estaciones de bombeo o los circuitos de refrigeración por agua). La formación de condensaciones supone siempre un agravamiento de la corrosión.

En el caso de puentes de carretera o pasarelas peatonales, debe prestarse especial atención si existe riesgo de corrosión por la utilización de fundentes (sales de deshielo). Esto puede producir corrosión en tableros de puentes o pasarelas en que se utilicen fundentes, en zona inferior de pilas de pasos elevados sobre carreteras en que se empleen, e incluso en la cara inferior de tableros de pasos elevados sobre carreteras en que se utilicen, por efecto de los aerosoles salinos producidos. A estos efectos, en las zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C se considerará que la clase de exposición es la C5-I.

Tabla 8.2.2a
Clases de exposición relativas a la corrosión atmosférica

Designación	Clase de exposición (corrosividad)	Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de espesor (tras el primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes típicos en un clima templado	
		Acero de bajo contenido en carbono		Cinc		Exterior	Interior
		Pérdida de masa g/m ²	Pérdida de espesor μm	Pérdida de masa g/m ²	Pérdida de espesor μm		
C1	muy baja	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	---	Edificios con calefacción y con atmósferas limpias, por ejemplo: oficinas, tiendas, colegios, hoteles.
C2	baja	> 10 y hasta 200	> 1,3 y hasta 25	> 0,7 y hasta 5	> 0,1 y hasta 0,7	Atmósferas con bajos niveles de contaminación Áreas rurales en su mayor parte	Edificios sin calefacción donde pueden ocurrir condensaciones, por ejemplo: almacenes, polideportivos.
C3	media	> 200 y hasta 400	> 25 y hasta 50	> 5 y hasta 15	> 0,7 y hasta 2,1	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad	Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación del aire, por ejemplo: plantas de procesamiento de alimentos, lavanderías, plantas cerveceras, plantas lácteas. Interior de puentes-cajón
C4	alta	> 400 y hasta 650	> 50 y hasta 80	> 15 y hasta 30	> 2,1 y hasta 4,2	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Plantas químicas, piscinas, barcos costeros y astilleros

C5-I	muy alta (industrial)	> 650 y hasta 1500	> 80 y hasta 200	> 30 y hasta 60	> 4,2 y hasta 8,4	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada
C5-M	muy alta (marina)	> 650 y hasta 1500	> 80 y hasta 200	> 30 y hasta 60	> 4,2 y hasta 8,4	Áreas costeras y marítimas con elevada salinidad	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada.

Tabla 8.2.2b

Clases de exposición relativas al agua y suelo

Designación	Clase de exposición	Ejemplos
Im1	Agua dulce	Instalaciones ribereñas, plantas hidroeléctricas
Im2	Agua de mar o salobre	Estructuras en zonas portuarias en contacto con el agua de mar; estructuras off-shore
Im3	Suelo	Tanques enterrados, pilotes de acero, tuberías de acero

Comentarios

Las diferentes clases de exposición relativas a la corrosión atmosférica se definen en términos de pérdida de masa por unidad de superficie o pérdida de espesor de las probetas normalizadas de acero de bajo contenido en carbono o de cinc, después del primer año de exposición, según el ensayo normalizado en ISO 9226:1992. La tabla 8.2.2a clasifica con precisión la corrosividad atmosférica en función de los resultados de dicho ensayo. Si no se dispone de dichos resultados, los ejemplos indicados en la tabla, que corresponden a ambientes típicos en un clima templado, permiten estimar la clase de exposición, si bien debe tenerse en cuenta que la corrosividad atmosférica en un clima frío o en uno seco es inferior que en un clima templado, mientras que será mucho mayor en un clima cálido y húmedo.

En las áreas costeras de zonas cálidas y húmedas (definidas por los siguientes valores medios de los valores extremos anuales: temperatura baja $\geq 5^{\circ}\text{C}$, temperatura alta $\geq 35^{\circ}\text{C}$, temperatura más alta con HR $> 95\%$, $\geq 31^{\circ}\text{C}$), la pérdida de masa o de espesor puede exceder los límites de la clase C5-M, por lo que deben tomarse precauciones especiales para la protección de las estructuras en dichas áreas.

Para la aplicación del criterio que indica el Articulado relativo al riesgo de corrosión por la utilización de fundentes, puede consultarse la publicación "Atlas Nacional de España. Sección II. Grupo 9. Climatología", editada en 1992 por el Instituto Geográfico Nacional, del Ministerio de Fomento.

La tabla 8.2.2b define las clases de exposición correspondientes a estructuras o elementos estructurales sumergidos en agua o enterrados en el suelo, situaciones en las que la corrosión suele ser localizada.

Las clasificaciones de las tablas 8.2.2a y b coinciden con las de la UNE-EN ISO 12944-2:1998.

No debe confundirse las clases de exposición a las que se hace referencia en este apartado 8.2.2 con los niveles de riesgo de la estructura y las categorías de las condiciones de ejecución y uso de la estructura, necesarios para la determinación de la clase de ejecución, de acuerdo con lo expuesto en el apartado 5.2