

SERIE GUÍAS EUROCÓDIGOS

Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

U
23

SERIE GUÍAS EUROCÓDIGOS

Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón



2023

Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana:

<https://cvp.mitma.gob.es>

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

Edita:

© Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

NIPO (línea): 796-23-026-9

NIPO (papel): 796-23-025-3

Depósito Legal: M-7116-2023

Impreso en papel con gestión forestal certificada

La serie Guías Eurocódigos nació en el año 2018 con el objetivo de contribuir a que la comunidad técnica española tenga un conocimiento más profundo de los distintos Eurocódigos y, en última instancia, contribuir a facilitar la aplicación de estas normas europeas en los proyectos de la Dirección General de Carreteras.

Ahora, cuatro años después, se publican cinco nuevas guías de la serie, dedicadas a las especificaciones técnicas de los materiales y a otros aspectos relacionados con los mismos:

- Guía para las especificaciones técnicas del hormigón.
- Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural.
- Guía para las especificaciones técnicas de las armaduras.
- Guía para la determinación de longitudes de anclaje y solape de armaduras pasivas.
- Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón.

Mediante las especificaciones técnicas de los materiales en proyecto se hacen coincidir las características requeridas contractualmente con las propiedades esperadas y admitidas en el cálculo y, del mismo modo ocurre con las exigencias de durabilidad para el uso previsto en las condiciones de ambiente que corresponda.

Entre 2018 y 2022 se han producido dos hitos importantes en el ámbito de la normativa estructural española: en 2019, entró en vigor la Orden Circular 1/2019 sobre aplicación de los Eurocódigos a los proyectos de carreteras, según la cual los puentes y obras geotécnicas de la Red de Carreteras del Estado deben proyectarse con los Eurocódigos Estructurales, junto con sus correspondientes anejos nacionales; y, en 2021, entró en vigor el Código Estructural, que reconoce expresamente la validez del conjunto de los Eurocódigos para el proyecto estructural, si bien obliga al cumplimiento de los requisitos del Código en lo relativo a materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento.

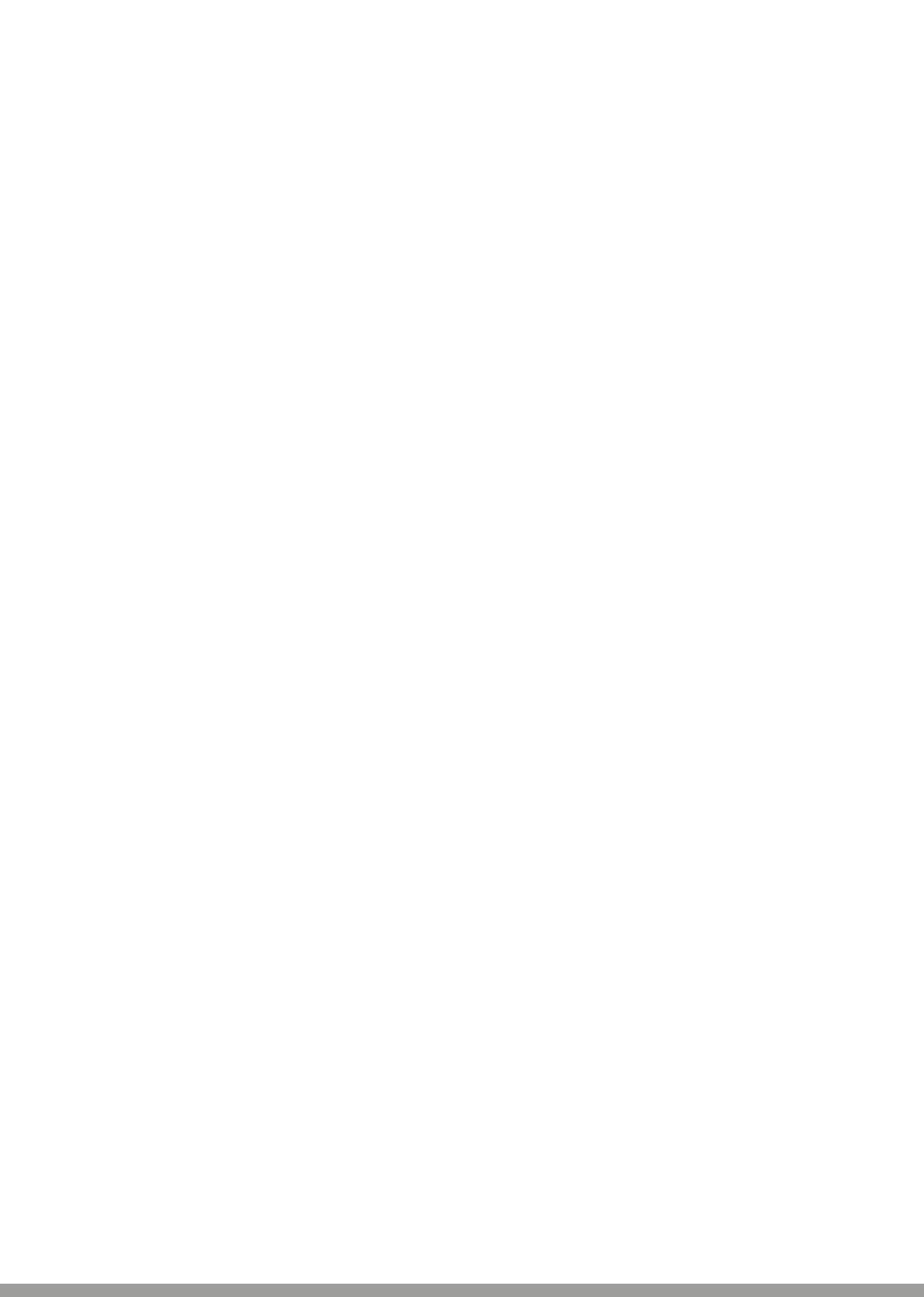
La necesidad de resolver la compatibilidad entre las normas europeas de producto, ejecución y control, citadas en los Eurocódigos, con el Código Estructural ha motivado la preparación de las cinco nuevas guías que ahora se publican, con las cuales se resuelven las discrepancias puntuales y, cada una en su campo, contiene las indicaciones necesarias para asegurar el cumplimiento de ambos Códigos. Se convierten así en textos de referencia obligados en la redacción de proyectos de la RCE.

Esta guía indica cómo se deben determinar los recubrimientos de las armaduras en los elementos de hormigón para que quede asegurado el cumplimiento tanto de los Eurocódigos como del Código Estructural.

Ha sido redactada por Miguel Ortega Cornejo y Maria João Freitas (IDEAM) y Álvaro Serrano Corral (MC2), bajo la dirección de Pilar Crespo Rodríguez por parte de la Dirección de General de Carreteras.

Mayo de 2022

EL DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS
Javier Herrero Lizano



PREÁMBULO

Los Eurocódigos Estructurales

La Comisión Europea puso en marcha en 1981 la redacción de un código estructural europeo común que culminó con la aparición en 1984 de unos textos que constituyen el embrión de los actuales Eurocódigos. La evolución desde esos primeros textos hasta los vigentes ha sido muy significativa, no solo en su contenido, sino en el grado de aceptación y reconocimiento por parte de la comunidad técnica europea y mundial.

En la década de los 90, el Comité Europeo de Normalización (CEN) elaboró, por mandato de la Comisión Europea, un nuevo conjunto de Eurocódigos, que se publicaron con carácter experimental (normas ENV). Fue entre los años 2002 y 2007, cuando tuvo lugar la aparición de los Eurocódigos Estructurales, en la versión que actualmente conocemos, como normas EN (normas UNE-EN en España).

En 2015, se inician los trabajos de redacción de la denominada segunda generación de Eurocódigos, con el objeto de incorporar un conjunto de mejoras relevantes después de más de una década de uso. Los textos finales de estas normas están ya disponibles en 2022 y deben pasar por un proceso de aprobación con participación de todos los países europeos, que se extenderá hasta 2025.

La aplicación de los Eurocódigos

Aunque los Eurocódigos tienen carácter voluntario por tratarse de normas EN, progresivamente se han ido convirtiendo en el código estructural único en Europa y su cumplimiento es exigido en la práctica totalidad de los países europeos, bien por vía reglamentaria o bien de forma contractual.

Hay que destacar que sucesivas directivas y recomendaciones de la Unión Europea han hecho referencia expresa a los Eurocódigos y a la importancia de su adopción por los Estados miembro, como forma de "facilitar la provisión de servicios en el campo de la construcción creando un sistema armonizado de reglas generales". Dice también la Comisión Europea que los Estados miembro "deben reconocer que, en el caso de las obras de construcción proyectadas con los métodos de cálculo descritos en los Eurocódigos, existe una presunción de conformidad con el requisito esencial de resistencia mecánica y estabilidad" (DOUE, 19 de diciembre de 2003).

Además, en el caso de los proyectos de obras públicas, la Directiva de Contratación Pública, transpuesta al ordenamiento jurídico español por la Ley de Contratos del Sector Público, establece la preeminencia de las normas nacionales que incorporan normas europeas (UNE-EN, en el caso español) sobre cualquier otra especificación técnica nacional. En aplicación de dicha ley, la Dirección General de Carreteras exige desde el año 2019 la aplicación de los Eurocódigos.

gos en los proyectos de estructuras y obras geotécnicas de la Red de Carreteras del Estado (Orden Circular 1/2019, de fecha de 18 de marzo de 2019).

La serie Guías Eurocódigos

El uso creciente y generalizado de los Eurocódigos en los países de nuestro entorno ha dado lugar a la publicación de numerosos manuales, guías y ejemplos de aplicación de estas normas. En España, desde hace ya bastantes años, los Eurocódigos se han convertido en textos de referencia en la enseñanza universitaria y han ido apareciendo publicaciones diversas relativas a los mismos, entre las que cabe citar algunos números monográficos en revistas especializadas.

La serie denominada Guías Eurocódigos que aquí se presenta es una iniciativa pionera en nuestro país. Su objeto es contribuir a que la comunidad técnica española tenga un conocimiento más profundo de los distintos Eurocódigos y, en última instancia, facilitar su aplicación en los proyectos de la Dirección General de Carreteras.

La serie está planteada como un conjunto abierto de publicaciones que irá creciendo en función de las necesidades de aclaración que puedan surgir a la hora de aplicar los Eurocódigos.

En su elaboración se ha supuesto que el lector está familiarizado con los Eurocódigos correspondientes y es conocedor de los conceptos ingenieriles en los que se sustentan. Para evitar en lo posible la repetición de cláusulas, las guías necesitarán ser leídas junto con los propios Eurocódigos y con sus respectivos anejos nacionales españoles.

Las normas UNE están sujetas a derecho de propiedad intelectual por parte de la Asociación Española de Normalización. Esta guía reproduce parcialmente el contenido de algunas normas UNE-EN por acuerdo con dicha Asociación.

La Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón

De acuerdo con la Orden Circular 1/2019 de 25 de marzo de 2019 sobre aplicación de los Eurocódigos a los proyectos de carreteras, el proyecto de los puentes de la Red de Carreteras del Estado debe realizarse cumpliendo las especificaciones contenidas en los Eurocódigos Estructurales. Por otro lado, el Real Decreto 470/2021 de 29 de junio por el que se aprueba el Código Estructural indica en su disposición adicional segunda que, cuando se proyecte con los Eurocódigos, "además, se cumplirán las prescripciones recogidas en este Código relativas a los materiales, la durabilidad, la ejecución, el control de calidad y el mantenimiento de la estructura". La Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón se ha desarrollado con el objetivo de facilitar la aplicación del Eurocódigo 2 y, además, estudiar la compatibilidad y clarificar las diferencias entre los criterios y valores de recubrimientos definidos por los Eurocódigos y por el Código Estructural. Los recubrimientos de los elementos de hormigón en proyectos de puentes de carretera se deberán determinar de acuerdo con el capítulo 9 del Código Estructural (Durabilidad), en general, más conservador que UNE-EN 1992-1-1.

3.1.6	Reducción de recubrimiento por empleo de acero inoxidable, $\Delta C_{dur,st}$	43
3.1.7	Reducción del recubrimiento por adopción de medidas especiales de protección.....	43
3.1.8	Consideraciones adicionales.....	47
3.2.	Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución, ΔC_{dev}	48
3.3.	Comentarios generales.....	49
4	EJEMPLO PRÁCTICO	51
4.1.	Determinación de recubrimientos según la UNE-EN 1992-1-1.....	52
4.1.1	Determinación de c_{min}	52
4.1.1.1	$c_{min,b}$	52
4.1.1.2	$c_{min,dur}$	53
4.1.1.3	$\Delta C_{dur,\gamma}$	55
4.1.1.4	$\Delta C_{dur,st}$ y $\Delta C_{dur,add}$	56
4.1.1.5	c_{min}	56
4.1.2	Determinación de ΔC_{dev}	57
4.1.3	Determinación de c_{nom}	58
4.2.	Determinación de recubrimientos según el Código Estructural.....	58
4.2.1	Determinación de c_{min}	59
4.2.1.1	$c_{min,b}$	59
4.2.1.2	$c_{min,dur}$	59
4.2.1.3	Reducciones del recubrimiento mínimo por empleo de armaduras de acero inoxidable o empleo de medidas especiales de protección.....	60
4.2.1.4	c_{min}	60
4.2.2	Determinación de ΔC_{dev}	61
4.2.3	Determinación de c_{nom}	61
4.3.	Comparación y análisis de los resultados obtenidos.....	62
5	CONCLUSIONES.....	65

1

INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto y ámbito de aplicación

Esta guía tiene como objeto facilitar la aplicación de los Eurocódigos al proyecto de obras de construcción en España, contribuyendo a clarificar las diferencias entre los valores de los recubrimientos en elementos de hormigón obtenidos según el Eurocódigo 2 y según el Código Estructural.

Dada la existencia de ciertas diferencias entre los valores de los recubrimientos obtenidos mediante el Eurocódigo 2 (UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 1992-2) y mediante el Código Estructural, en esta guía se recoge una comparación entre los resultados de ambos procedimientos. En general, los valores de los recubrimientos obtenidos de acuerdo con el Código Estructural son superiores a los obtenidos de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1, razón por la cual, de acuerdo con la citada disposición adicional segunda, los recubrimientos de los elementos de hormigón en proyectos de puentes de carretera se deberán determinar de acuerdo con el capítulo 9, Durabilidad, del Código Estructural en el que figura la formulación para la determinación de los recubrimientos.

1.2 Contenido de la guía

Esta guía se estructura en cinco capítulos. En el primer capítulo, Introducción, se explica el objeto, ámbito y contenido de este documento. En el capítulo 2, se expone la formulación recogida en la norma UNE-EN 1992-1-1 para la determinación de los recubrimientos nominales de elementos de hormigón. Asimismo, en el capítulo 3 de esta guía se expone la formulación recogida en el artículo 9 y Anejos 19 y 21 del Código Estructural para la determinación de los valores de los recubrimientos nominales y se realiza una comparación entre dicha formulación y la formulación de UNE-EN 1992-1-1. En algunos casos, se estudian las diferencias no solo a nivel de formulación sino también a nivel numérico y se analizan los resultados obtenidos. En el capítulo 4 se recoge un ejemplo práctico en el que se determinan los valores de los recubrimientos nominales de varios elementos de hormigón de distintos tipos, resistencias y clases de exposición mediante cada una de las normas referidas anteriormente. Por último,



2

DETERMINACIÓN DE RECUBRIMIENTOS SEGÚN LA UNE-EN 1992-1-1 Y UNE-EN 1992-2

Los recubrimientos de los elementos de hormigón deben definirse de acuerdo con el apartado 4.4 de UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional y el capítulo 4 de UNE-EN 1992-2 y su Anejo nacional.

El recubrimiento nominal, distancia entre la superficie exterior de la armadura más cercana a la superficie de hormigón y la superficie del hormigón, se define como el recubrimiento mínimo, c_{min} , más una tolerancia para tener en cuenta ciertas desviaciones, Δc_{dev} (véase la expresión (1) de esta guía, conforme a la expresión (4.1) del apartado 4.4.1.1 de UNE-EN 1992-1-1).

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (1)$$

donde:

c_{nom} es el recubrimiento nominal, en milímetros.

c_{min} es el recubrimiento mínimo, en milímetros, definido en el apartado 4.4.1.2 de UNE-EN 1992-1-1.

Δc_{dev} es el margen de recubrimiento por desviaciones, en milímetros, definido en el apartado 4.4.1.3 de UNE-EN 1992-1-1.

2.1 Recubrimiento mínimo, c_{min}

El recubrimiento mínimo, c_{min} , debe ser tal que garantice la transmisión de las tensiones de adherencia (véanse también los capítulos 7 y 8 de UNE-EN 1992-1-1), la protección del acero frente a la corrosión y la resistencia adecuada frente al fuego (UNE-EN 1992-1-2).

Para la determinación de c_{min} debe tenerse en cuenta la siguiente expresión (conforme a la expresión (4.2) del apartado 4.4.1.2 de UNE-EN 1992-1-1):

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}\} \quad (2)$$

donde:

c_{min}	es el recubrimiento mínimo, en milímetros, definido en el apartado 4.4.1.2 de UNE-EN 1992-1-1.
$c_{min,b}$	es el recubrimiento mínimo debido al requisito de adherencia (véase el apartado 2.1.1 de esta guía y la cláusula 4.4.1.2(3) de UNE-EN 1992-1-1), en milímetros.
$c_{min,dur}$	es el recubrimiento mínimo debido a las condiciones ambientales (véase el apartado 2.1.2 de esta guía y la cláusula 4.4.1.2(5) de UNE-EN 1992-1-1), en milímetros.
$\Delta c_{dur,\gamma}$	es el término de seguridad adicional (véase el apartado 2.1.3 de esta guía y la cláusula 4.4.1.2(6) de UNE-EN 1992-1-1), en milímetros.
$\Delta c_{dur,st}$	es la reducción del recubrimiento mínimo por el uso de acero inoxidable (véase el apartado 2.1.4 de esta guía y la cláusula 4.4.1.2(7) de UNE-EN 1992-1-1), en milímetros.
$\Delta c_{dur,add}$	es la reducción del recubrimiento mínimo por el uso de protección adicional (véase el apartado 2.1.5 de esta guía y la cláusula 4.4.1.2(8) de UNE-EN 1992-1-1), en milímetros.

2.1.1 Determinación de $c_{min,b}$

La transmisión de las fuerzas de adherencia y la adecuada compactación del hormigón están aseguradas si el recubrimiento mínimo no es inferior a los valores indicados en la tabla a continuación:

Tabla 1 Recubrimiento mínimo, $c_{min,b}$, debido al requisito de adherencia
(Tabla 4.2 UNE-EN 1992-1-1)

Requisitos de adherencia	
Distribución de barras	Recubrimiento mínimo $c_{min,b}$ *
Barras aisladas	Diámetro de la barra
Grupo de barras	Diámetro equivalente (φ_n) (véase el apartado 8.9.1 de UNE-EN 1992-1-1)

* Si el tamaño nominal máximo del árido es mayor que 32 milímetros, $c_{min,b}$ se debería aumentar en 5 milímetros.

En el caso de armaduras activas y de acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(3) del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, se deben adoptar los siguientes valores de $c_{min,b}$:

- Armaduras postesas adherentes:
 - Tendones con vainas circulares: un diámetro.
 - Tendones con vainas rectangulares (el mayor de los valores siguientes):
 - La menor dimensión de la vaina.
 - La mitad de la mayor dimensión de la vaina o grupos de vainas en contacto.
 - En cualquier caso, el valor de $c_{min,b}$ nunca será menor que 40 milímetros ni mayor que 80 milímetros.
- Armaduras pretesas:
 - Dos veces el diámetro del cordón o alambre liso.
 - Tres veces el diámetro de los alambres grafilados o indentados.

El recubrimiento mínimo de los anclajes de las armaduras activas deberá ser conforme con el Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) correspondiente.

Adicionalmente, y de acuerdo con el apartado 11.4.2 de UNE-EN 1992-1-1, en el caso de hormigones con árido ligero, los valores de recubrimiento mínimo indicados en la Tabla 4.2 de UNE-EN 1992-1-1 (Tabla 1 de esta guía) deben ser incrementados en 5 milímetros.

2.1.2 Determinación de $c_{min,dur}$

El recubrimiento mínimo para las armaduras pasiva y activa de un hormigón de densidad normal teniendo en cuenta la clase de exposición y la clase estructural, $c_{min,dur}$, debe ser determinado de acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(5) de UNE-EN 1992-1-1, y las tablas AN/2 y AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, incluidas a continuación.

Para la determinación del valor del recubrimiento mínimo por durabilidad, $c_{min,dur}$, es necesario determinar, en una primera fase, la clase estructural del elemento (véase la Tabla 2). Para ello, se parte de una clase estructural de referencia correspondiente a una vida útil de 50 años –clase S4– que se modificará según la clase de exposición, la vida útil, la resistencia y el empleo (o no) de cemento adecuado en la fabricación del hormigón. Teniendo en cuenta la clase estructural y la clase de exposición del elemento, el recubrimiento mínimo por durabilidad, $c_{min,dur}$, se determina recurriendo a la Tabla 3 (Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1). De acuerdo con el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, el recubrimiento mínimo por durabilidad de las armaduras activas es igual al definido para las armaduras pasivas (Tabla 3).

Es importante destacar que, de acuerdo con el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, los valores de recubrimiento definidos en la Tabla 3 (Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1) solamente son aplicables “cuando la dosificación del hormigón cumpla lo indicado al respecto en el apartado 37.3 de la Instrucción de hormigón estructural EHE-08, aprobada por Real Decreto 1247/2008”. Tras su derogación (Real Decreto 470/2021, de 29 de junio), todas las referencias, en los anejos nacionales de los Eurocódigos, a la EHE-08 en aspectos relacionados con las propiedades de los materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento de las estructuras se deben sustituir por una referencia al Código Estructural.

El Código Estructural trata la durabilidad de las estructuras de hormigón en su capítulo 9. Las prescripciones relativas a la dosificación del hormigón necesarias para la obtención de una durabilidad adecuada y para la aplicación de los recubrimientos mínimos definidos en el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 se recogen en sus artículos 43.2 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón y 43.3 Medidas frente a agresividades específicas –véase el apartado 2.1.2.1 de esta guía.

Tabla 2 Clasificación estructural (Tabla AN/2 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1)

Clasificación estructural											
Clase de exposición	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XS2	XD3	XS3
Vida útil de referencia: 50 años	S4	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad	S4	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad							
Vida de 100 años	subir 2 clases		subir 2 clases								
fck ≥ 40 MPa	bajar 1 clase	no modifica	no modifica		no modifica		no modifica				
Cemento adecuado y 100 años	no modifica	no modifica	bajar 1 clase	bajar 1 clase	bajar 1 clase	bajar 4 clases	bajar 4 clases		bajar 4 clases		bajar 4 clases
Cemento adecuado y 50 años	no modifica	no modifica	bajar 1 clase	bajar 1 clase	bajar 2 clases	bajar 3 clases	bajar 3 clases		bajar 3 clases		bajar 3 clases

Tabla 3 Valores de recubrimiento mínimo, $c_{min,dur}$, requeridos en relación a la durabilidad de las armaduras pasivas (Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1)

Recubrimientos $c_{min,dur}$ [mm]											
Clase de exposición	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XS2	XD3	XS3
S1	10	10	10	10	15	30	30	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad	30	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad	
S2	10	10	10	10	20	35	35		35		
S3	15	15	15	15	20	40	40		35		
S4	15	15	20	20	25	40	40		35		
S5	20	20	25	25	30	50	50		45		
S6	25	25	30	30	35	60	60		60		

Nota: el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 contempla, para las armaduras activas pretesas, los mismos valores de recubrimiento mínimo por durabilidad, $c_{min,dur}$, que para las armaduras pasivas (Tabla 3).

2.1.2.1 Condiciones necesarias para la aplicación de los recubrimientos mínimos definidos en el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1

Tal como se ha indicado anteriormente, de acuerdo con el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, los valores de recubrimiento definidos en la Tabla 3 (Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1) solamente son aplicables "cuando la dosificación del hormigón cumpla lo indicado al respecto en el apartado 37.3 de la Instrucción de hormigón estructural EHE-08, aprobada por Real Decreto 1247/2008". Tras su derogación (Real Decreto 470/2021, de 29 de junio), todas las referencias, en los anejos nacionales de los Eurocódigos, a la EHE-08 en aspectos relacionados con las propiedades de los materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento de las estructuras se deben sustituir por una referencia al Código Estructural.

2.1.2.1.1 Requisitos mínimos de dosificación del hormigón según el Código Estructural

Los valores de $c_{min,dur}$ incluidos en el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 solo son aplicables si se cumplen las prescripciones incluidas en el capítulo 9 del Código Estructural relativas a la dosificación del hormigón:

- **Máxima relación agua/cemento y contenido mínimo de cemento**

Se deben cumplir los límites indicados en la Tabla 43.2.1.a del Código Estructural relativos a la máxima relación agua/cemento y al contenido mínimo de cemento en función de la clase de exposición del elemento

- **Impermeabilidad del hormigón**

En el caso de elementos estructurales ubicados en ambientes muy agresivos (XS, XD, XF, XM o XA), el hormigón deberá presentar un comportamiento suficientemente impermeable y según los criterios recogidos en la tabla siguiente:

Tabla 4 Especificaciones de profundidad de penetración de agua máxima y media
(Tabla 43.3.2 del Código Estructural)

Clase de exposición ambiental	Especificación para la profundidad máxima	Especificación para la profundidad media
XS1, XS2, XD1, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4, XM, XA1 (cualquier caso)	≤ 50 mm	≤ 30 mm
XA2 (en el caso de elementos en masa o armados)		
XS3 y XA3 (cualquier caso)	≤ 30 mm	≤ 20 mm
XA2 (solo en el caso de elementos pretensados)		

– **Resistencia del hormigón frente al ataque por ciclos de hielo-deshielo**

De acuerdo con el artículo 43.3.3 del Código Estructural, cuando un hormigón esté sometido a una clase de exposición XF2 o XF4, se deberá introducir un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%, determinado de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-7. A título de comentario, el Código Estructural recomienda valorar, también, la conveniencia de garantizar un contenido mínimo de aire ocluido en elementos con clases de exposición XF1 y XF3.

De acuerdo con el artículo 31 del Código Estructural, no podrán utilizarse aditivos aireantes en elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia.

– **Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos**

De acuerdo con el artículo 43.3.4.1 del Código Estructural, en el caso particular de existencia de sulfatos con contenido igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3000 mg/kg en el caso de suelos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos (SRC y SR –véase el artículo 28 del Código Estructural y el apartado 2.1.2.1.2 de esta guía). Los límites de contenido de sulfatos indicados anteriormente corresponden a las clases de exposición XA2 y XA3. Lo anterior no será de aplicación en el caso de que se trate de agua de mar o el contenido en cloruros sea superior a 5000 mg/l, en ese caso será de aplicación lo indicado en el punto a continuación (resistencia del hormigón frente al ataque por agua de mar).

– **Resistencia del hormigón frente al ataque por agua de mar**

De acuerdo con el artículo 43.3.4.2 del Código Estructural, en el caso de elementos de hormigón en masa en contacto con agua de mar y, por tanto, sometidos a una clase de exposición XA2, y en el caso de elementos de hormigón armado o pretensado que vayan a estar sometidos a una clase de exposición XS2 o XS3, se utilizará un cemento con la característica adicional MR, SR o SRC, según la Instrucción para la recepción de cementos vigente. Se recuerda que, además de resistentes a los sulfatos, los cementos SRC y SR son también resistentes al agua de mar. No obstante, los cementos resistentes al agua de mar (MR) no son resistentes a los sulfatos (véase el apartado 2.1.2.1.2 de esta guía).

– **Prevención de la reactividad álcali-árido**

De acuerdo con el artículo 43.3.4.3 del Código Estructural, para prevenir las reacciones álcali-árido, en la fabricación de elementos de hormigón que en sus condiciones de servicio puedan estar expuestos a un ambiente húmedo, se emplearán preferentemente áridos no reactivos, según el artículo 30.7.5 de dicha norma. En el caso de que no fuera viable la utilización de áridos no reactivos, la dirección facultativa, en el uso de sus atribuciones, podrá permitir la utilización de áridos potencialmente reactivos siempre y cuando se emplee uno o varios de los siguientes métodos para controlar sus efectos sobre el hormigón:

- Emplear cementos según la Instrucción para la Recepción de Cementos vigente, que contengan adiciones del tipo: escorias granuladas de horno alto, cenizas volantes silíceas, puzolanas naturales o humo de sílice.
- Incorporar adiciones de humo de sílice o cenizas volantes silíceas al hormigón en la proporción adecuada que permita mitigar el comportamiento expansivo ocasionado por las reacciones álcali-árido.
- Emplear cementos con un contenido de alcalinos, expresados como óxido de sodio equivalente ($0,658 K_2O + Na_2O$), inferior al 0,60% del peso de cemento.

El empleo de cualquiera de las soluciones anteriormente mencionadas deberá estar respaldada por un estudio experimental que garantice un comportamiento satisfactorio para prevenir el desarrollo de las reacciones álcali-árido, que el fabricante del hormigón pondrá a disposición de la dirección facultativa.

En el caso de que el autor del proyecto decida adoptar unas características del hormigón más exigentes que las indicadas en los artículos 43.2 y 43.3 del Código Estructural, los espesores de recubrimiento se podrán estimar mediante la comprobación del Estado Límite de Durabilidad, recogido en el apartado AN.4.2 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1.

2.1.2.1.2 Cemento adecuado

La determinación de la clase estructural de un elemento de acuerdo con la Tabla AN/2 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 depende del tipo de cemento empleado en la fabricación del hormigón.

En la ausencia de información relativa al tipo de cemento a emplear en la fabricación de un determinado hormigón en las normas UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 206, se deberá recurrir a la normativa nacional, el Código Estructural, en particular a su Anejo 6 "Recomendaciones para la selección del tipo de cemento a emplear en hormigones estructurales" donde se incluyen recomendaciones para la selección del tipo de cemento en función de:

- La aplicación del hormigón (tipo de hormigón y elemento).
- Las circunstancias de hormigonado.
- La clase de exposición.

A continuación, se añade la información incluida en el Anejo 6 del Código Estructural relativa a los cementos a emplear en elementos estructurales de puentes.

Tabla 5 Tipo de cemento en función de la aplicación del hormigón
(Tabla A6.2 del Código Estructural)

Tipo de cemento en función de la aplicación del hormigón	
Aplicación	Cementos recomendados
Hormigón en masa	Todos los cementos comunes, excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C. Cementos para usos especiales ESP VI-1 (*)
Hormigón armado	Todos los cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C, CEM V/B
Hormigón pretensado incluidos los prefabricados estructurales	Cementos comunes (**) de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P) (***)
Elementos estructurales prefabricados de hormigón armado	Resultan muy adecuados los cementos comunes (**) de los tipos CEM I, CEM II/A y adecuado el cemento común tipo CEM IV/A cuando así se deduzca de un estudio experimental específico
Hormigón en masa y armado en grandes volúmenes	Resultan muy adecuados los cementos comunes CEM III/B y CEM IV/B y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A. Cementos para usos especiales ESP VI-1. Es muy recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH) y de muy bajo calor de hidratación (VLH), según los casos
Hormigón de alta resistencia	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/A-D y CEM II/A 42,5 R. El resto de cementos comunes tipo CEM II/A pueden resultar adecuados cuando así se deduzca de un estudio experimental específico
Hormigones para reparaciones rápidas de urgencia	Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A-D y el cemento de aluminato de calcio (CAC)
Hormigones para desencofrado y descimbrado rápido	Los cementos comunes (**) tipo CEM I y CEM II
Hormigón proyectado	Los cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A
Hormigones con áridos potencialmente reactivos (****)	Resultan muy adecuados los cementos comunes tipo CEM III, CEM IV, CEM V, CEM II/A-D, CEM II/B-S y CEM II/B-V y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B-P y CEM II/B-M

(*) En el caso de grandes volúmenes de hormigón en masa.

(**) Dentro de los indicados son preferibles los de alta resistencia inicial.

(***) La inclusión de los cementos CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P) como utilizables para la aplicación de hormigón pretensado, es coherente con la posibilidad, contemplada en el articulado de este Código, de utilización de adición al hormigón pretensado de cenizas volantes en una cantidad no mayor del 20 % del peso de cemento.

(****) Para esta aplicación son recomendables los cementos con bajo contenido en alcalinos o aquellos citados en la tabla.

Tabla 6 Tipo de cemento en función de la aplicación estructural: cementos recomendados para cimentaciones (Tabla A6.3.1 del Código Estructural)

Tipo de cemento en función de la aplicación estructural: cementos recomendados para cimentaciones	
Aplicación	Cementos recomendados
Cimentaciones de hormigón en masa	<p>Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM IV/B, siendo adecuados el resto de cementos comunes, excepto los CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C</p> <p>En todos los casos es recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH). Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC)¹ o al agua de mar (MR) cuando corresponda</p>
Cimentaciones de hormigón armado	<p>Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A, siendo adecuados el resto de cementos comunes a excepción de los CEM III/B, CEM III/C, CEM IV/B, CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T y CEM II/B-T</p> <p>Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC)¹ o al agua de mar (MR) cuando corresponda</p>

¹ De acuerdo con la vigente Instrucción de Recepción de Cementos.

Tabla 7 Tipo de cemento en función de las circunstancias de hormigonado (Tabla A6.4. del Código Estructural)

Tipo de cemento en función de las circunstancias de hormigonado	
Circunstancias de hormigonado	Cementos recomendados
Hormigonado en tiempo frío (*) (**)	<p>Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A y CEM IV/A.</p> <p>Se recomienda la utilización de cementos de clase resistente alta o media (52,5 y 42,5).</p>
Hormigonado en ambientes secos y sometidos al viento y, en general, en condiciones que favorecen la desecación del hormigón (**)	Cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A.
Insolación fuerte u hormigonado en tiempo caluroso (**)	Los cementos comunes tipo CEM II, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A.

(*) En estas circunstancias, no conviene emplear la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH).

(**) En estas circunstancias, resulta determinante tomar, durante el proceso de ejecución o puesta en obra, las medidas adecuadas especificadas en la reglamentación correspondiente y, en su caso, en este Código.

Tabla 8 Tipo de cemento en función de la clase de exposición (Tabla A6.5. del Código Estructural)

Tipo de cemento en función de la clase de exposición		
Clase de exposición	Tipo de proceso	Cementos recomendados
XO	Ninguno	Todos los recomendados según la aplicación prevista
XC	Corrosión de las armaduras de origen diferente de los cloruros	CEM I, cualquier CEM II (preferentemente CEM II/A), CEM III/A, CEM IV/A
XS(*)	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen marino	Muy adecuados los cementos CEM II/S, CEM II/V (preferentemente los CEM II/B-V), CEM II/P (preferentemente los CEM II/B-P), CEM II/A-D, CEM III, CEM IV (preferentemente los CEM IV/A) y CEM V/A
XD	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen no marino	Preferentemente, los CEM I y CEM II/A y, además, los mismos que para la clase de exposición XS
XA(**)	Ataque al hormigón por sulfatos	Los mismos que para la exposición XS
XA	Lixiviación del hormigón por aguas puras, ácidas, o con CO ₂ agresivo	Los cementos comunes de los tipos CEM II/P, CEM II/V, CEM II/A-D, CEM II/S, CEM III, CEM IV y CEM V
-	Reactividad álcali-árido	Cementos de bajo contenido en alcalinos (***) (óxidos de sodio y de potasio) en los que $(Na_2O)_{eq} = Na_2O (\%) + 0,658 K_2O (\%) < 0,60$

(*) En esta clase de exposición es necesario el empleo de cementos que cumplan las prescripciones relativas a la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR).

(**) En el caso de las clases específicas XA2 o XA3 es necesario el empleo de cementos que cumplan las prescripciones relativas a la característica adicional de resistencia a los sulfatos (SR o SRC), tal y como establece el articulado del Código. En los casos en que el elemento esté en contacto con agua de mar será únicamente necesario que cumplan las prescripciones relativas a la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR).

(***) Son especialmente recomendables los cementos citados en la Tabla A6.2 para hormigones con áridos potencialmente reactivos (que deberán cumplir igualmente el requisito de bajo contenido en alcalinos).

Tal como se indica en las tablas anteriores, en algunos casos, es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC) o al agua de mar (MR). Tanto en su Anejo 6 como en los comentarios a su artículo 28, el Código Estructural indica que, además de resistentes a los sulfatos, los cementos SR o SRC son también resistentes al agua de mar. No obstante, un cemento resistente al agua de mar (MR) no es resistente a sulfatos por lo que se podrá usar un cemento SR o SRC en lugar de un cemento MR, pero no se podrá usar un cemento MR en el lugar de un cemento SR o SRC (véase también el apartado 2.1.2.1.1 de esta guía).

2.1.2.2 Recubrimientos correspondientes a las clases de exposición de superficies directamente expuestas a las sales de deshielo

El Anejo nacional de la norma UNE-EN 1992-2 (puentes de hormigón) indica, en su cláusula 4.2(106) que las clases de exposición recomendadas para las superficies directamente expuestas a las sales de deshielo son XD3 y XF2 o XF4. En esos casos, se deberán disponer los espesores de recubrimientos indicados en las tablas 4.4N y 4.5N (UNE-EN 1992-1-1) para las clases XD. Las tablas 4.4N y 4.5N son parámetro de determinación nacional, por lo que la tabla a consultar, en este caso, será la Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 (Tabla 3 de esta guía).

2.1.3 Determinación de $\Delta c_{dur,\gamma}$

De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(6) del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, el valor a adoptar para el incremento adicional de seguridad del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, $\Delta c_{dur,\gamma}$, depende de la clase de exposición del elemento y debe estar de acuerdo con la Tabla AN/4, incluida a continuación.

Tabla 9 Valores de incremento adicional de seguridad del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad $\Delta c_{dur,\gamma}$, (Tabla AN/4 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1)

Incremento adicional de seguridad del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, $\Delta c_{dur,\gamma}$ [mm]													
Clase exposición		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XS2	XD3	XS3	
$\Delta c_{dur,\gamma}$	armado otros cementos	0	0	0	0	0	5	5	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad				
	armado cemento adecuado	0	0	0	0	0	-5	-5					0
	pretensado cemento adecuado	0	0	0	0	0	0	0					+5
	pretensado otros cementos	0	0	0	0	0							

2.1.4 Determinación de $\Delta C_{dur,st}$

El recubrimiento mínimo puede ser reducido en $\Delta C_{dur,st}$ en el caso de utilización de acero inoxidable o empleo de otras medidas especiales. En dichos casos, se deberían considerar las consecuencias en todas las propiedades relevantes de los materiales, incluida la adherencia.

El Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 indica, en su cláusula 4.4.1.2(7), que los valores de la reducción del recubrimiento mínimo deben ser los siguientes:

Tabla 10 Valores de la disminución del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, como consecuencia del empleo de acero inoxidable, $\Delta C_{dur,st}$ (Tabla AN/5 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1)

Modificación del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad como consecuencia del empleo de acero inoxidable, $\Delta C_{dur,st}$ [mm]												
Clase exposición		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XS2	XD3	XS3
$\Delta C_{dur,st}$	Otros	0	0	0	0	0	-25	-25	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad	-10		
	Cemento adecuado	0	0	0	0	0	-5	-5				

2.1.5 Determinación de $\Delta C_{dur,add}$

El recubrimiento mínimo puede ser reducido en $\Delta C_{dur,add}$ en el caso de que se adopten medidas especiales de protección del hormigón. La reducción se determinará en función de la clase de exposición del elemento y de acuerdo con la tabla siguiente (cláusula 4.4.1.2(8) del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1).

Tabla 11 Valores de la disminución del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, como consecuencia del empleo de un sistema de protección adicional, $\Delta C_{dur,add}$ (Tabla AN/6 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1)

Modificación del recubrimiento mínimo por disposición de medidas especiales de protección, $\Delta C_{dur,add}$ [mm]												
Clase exposición		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XS2	XD3	XS3
$\Delta C_{dur,add}$	Otros	0	0	0	0	0	-25	-25	Requiere estudio específico comprobación E.L. Durabilidad	-10		
	Cemento adecuado	0	0	0	0	0	-5	-5				

2.1.6 Consideraciones adicionales

En los apartados anteriores se ha recogido la definición de los parámetros necesarios para la determinación del valor del recubrimiento mínimo, c_{min} . En este apartado se recogen algunas consideraciones adicionales a tener en cuenta a la hora de determinar este parámetro, de acuerdo con el apartado 4.4.1.2 de UNE-EN 1992-1-1.

- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(9), en el caso de hormigón vertido *in situ* contra elementos de hormigón, el valor del recubrimiento mínimo de la armadura (distancia entre la cara de la armadura y la junta) puede corresponder a los valores de recubrimiento necesarios para cumplir el requisito de adherencia (ver apartado 2.1.1 de esta guía y la cláusula 4.4.1.2(3) de UNE-EN 1992-1-1) siempre que se cumplan las siguientes condiciones:
 - La clase resistente del hormigón sea igual o superior a C25/30.
 - El tiempo de exposición de la superficie de hormigón en un ambiente al exterior sea inferior a 28 días.
 - La junta sea rugosa.
- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(10) de UNE-EN 1992-1-1, el recubrimiento de las armaduras activas no adherentes debe definirse de acuerdo con el correspondiente Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE).
- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(11) de UNE-EN 1992-1-1, para superficies irregulares como, por ejemplo, áridos al descubierto, el recubrimiento mínimo debe ser incrementado en, al menos, 5 milímetros.
- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(12) de UNE-EN 1992-1-1, en los elementos en los que se prevean ciclos de hielo/deshielo o ataque químico (clases XF y XA), se debería prestar especial atención a la composición del hormigón (consultar el apartado 6 de UNE-EN 206). En relación con el recubrimiento, se indica también que normalmente un recubrimiento determinado de acuerdo con el apartado 4.4 de esta norma es suficiente para este tipo de situaciones. No obstante, se recuerda lo indicado en la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2 en relación con los valores de recubrimiento de las clases de exposición XD3, XF2 y XF4 (véase el apartado 2.1.2.2 de esta guía).
- En el caso de abrasión del hormigón, de acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(13) de UNE-EN 1992-1-1 se debería prestar especial atención a los áridos (consultar la norma UNE-EN 206). Además, y de manera opcional, se puede permitir la abrasión del hormigón mediante la disposición de una "capa de sacrificio" resultante del incremento del recubrimiento. Dicho incremento es función de la clase de abrasión correspondiente al elemento y debería cumplir con los siguientes valores mínimos, indicados en el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1:
 - Clase XM1: incremento del recubrimiento mínimo por abrasión de 5 milímetros (k1).
 - Clase XM2: incremento del recubrimiento mínimo por abrasión de 10 milímetros (k2).
 - Clase XM3: incremento del recubrimiento mínimo por abrasión de 15 milímetros (k3).

- Por último, y de acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(115) de UNE-EN 1992-2, cuando una superficie de hormigón está sometida a abrasión originada por hielo o transporte sólido en un curso de agua, debería aumentarse el recubrimiento, como mínimo, en 10 milímetros.

2.2 Margen de recubrimiento por desviaciones, ΔC_{dev}

Tal como se ha indicado al inicio del apartado 2 de esta guía, el recubrimiento nominal se define como el recubrimiento mínimo, C_{min} , más una tolerancia para tener en cuenta ciertas desviaciones, ΔC_{dev} (expresión (1) de esta guía). El valor de ΔC_{dev} a adoptar, de acuerdo con el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 (cláusula 4.4.1.3(1)), es de 10 milímetros.

En el caso de reducción de la desviación permitida, también se podrá proceder de la misma forma con el margen de recubrimiento. Los valores reducidos del margen de recubrimiento, definidos en el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 (cláusula 4.4.1.3(3)), son los siguientes:

- Para elementos estructurales hormigonados *in situ* con un control de ejecución intenso, según los criterios de la Instrucción de hormigón estructural EHE-08 aprobada por Real Decreto 1247/2008 se puede adoptar un valor de ΔC_{dev} de 5 milímetros.
- Para elementos estructurales prefabricados con control de ejecución intenso según los criterios de la Instrucción de hormigón estructural EHE-08 aprobada por Real Decreto 1247/2008 se puede adoptar un valor de ΔC_{dev} de 0 milímetros.

Tras su derogación (Real Decreto 470/2021, de 29 de junio), todas las referencias, en anejos nacionales de los Eurocódigos, a la EHE-08 en aspectos relacionados con las propiedades de los materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento de las estructuras se deben sustituir por una referencia al Código Estructural.

En el caso de hormigones encofrados con superficies irregulares el recubrimiento nominal se debería incrementar para cumplir con la diferencia producida por las irregularidades. De acuerdo con la cláusula 4.4.1.3(4) del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, el recubrimiento nominal debería ser:

- Igual o superior a 40 milímetros para hormigón encofrado contra terreno preparado (incluido el cegado).
- Igual o superior a 75 milímetros para hormigón encofrado directamente contra el terreno.

3

DETERMINACIÓN DE RECUBRIMIENTOS SEGÚN EL CÓDIGO ESTRUCTURAL Y COMPARACIÓN CON LA FORMULACIÓN DE UNE-EN 1992-1-1

El Código Estructural recoge la formulación para la determinación del recubrimiento nominal en su capítulo 9, en particular, en sus artículos 43 y 44 y también en sus Anejos 19 "Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas generales y reglas para edificación" y 21 "Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas de proyecto en puentes de hormigón".

La formulación general para la determinación del recubrimiento nominal, recogida en el artículo 43.4.1 y en el apartado 4.4.1.1 del Anejo 19, es la siguiente:

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev} \quad (3)$$

donde:

C_{nom} es el recubrimiento nominal, en milímetros.

C_{min} es el recubrimiento mínimo, en milímetros, definido en los artículos 44.2, 44.3, 44.4 o 44.5 del Código Estructural.

ΔC_{dev} es el margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución, en milímetros, definido en la Tabla 43.4.1 y en el apartado 4.4.1.3 del Anejo 19 del Código Estructural.

Comentario: Como se puede observar, la formulación para la determinación del recubrimiento nominal de acuerdo con el Código Estructural es análoga a la formulación adoptada por UNE-EN 1992-1-1 (véase el apartado 2 de esta guía), lo que permitirá, en este apartado, realizar una comparación prácticamente paralela entre ambas.

De acuerdo con el artículo 44.1 del Código Estructural, los valores de recubrimiento deben cumplir con los siguientes criterios:

- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XC, XS o XD, como criterio general, se comprobará que no se fisura el recubrimiento como consecuencia de la corrosión, según el artículo 44.2 del Código Estructural.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XF, se comprobará que no hay daño por ciclos hielo/deshielo, según el artículo 44.3 del Código Estructural.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XA, se comprobará que no hay daño por ataque químico al hormigón, según el artículo 44.4 del Código Estructural.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XM, se comprobará que no hay daño por erosión del hormigón, según el artículo 44.5 del Código Estructural.

3.1 Recubrimiento mínimo, C_{min}

Los recubrimientos mínimos deben cumplirse en cualquier punto del elemento estructural y constituyen una referencia a comprobar durante el control de ejecución. El recubrimiento mínimo debe cumplir lo estipulado en los artículos 44.2, 44.3, 44.4 y 44.5 y en el apartado 4.4.1 del Anejo 19 del Código Estructural.

Comentario: De acuerdo con la norma UNE-EN 1992-1-1, la determinación del valor del recubrimiento mínimo depende de una serie de factores tales como el tipo de cemento, la vida útil de la estructura o la resistencia característica a compresión del hormigón (véase el apartado 2.1 de esta guía). Como se podrá ver en los apartados a continuación, si bien los recubrimientos definidos por el Código Estructural dependen de estos mismos factores, los valores de los recubrimientos para un elemento con una misma clase de exposición, resistencia, tipo de cemento y vida útil definidos por el Código Estructural no siempre coinciden con los definidos por la UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional.

3.1.1 Recubrimiento mínimo por adherencia, $C_{min,b}$

De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(3) del Anejo 19 del Código Estructural, para asegurar la adecuada transmisión de los esfuerzos de adherencia, la protección del acero contra la corrosión y una resistencia adecuada al fuego, además de los valores mínimos de recubrimiento definidos en los apartados a continuación, se deberán cumplir los valores mínimos de recubrimiento por adherencia, $C_{min,b}$ incluidos en su Tabla A19.4.2.

Tabla 12 Requisitos de recubrimiento mínimo, $C_{min,b}$, con respecto a la adherencia (Tabla A19.4.2 del Código Estructural)

Requisitos de adherencia	
Disposición de las barras	Recubrimiento mínimo $C_{min,b}$ *
Aisladas	Diámetro de la barra
Agrupadas	Diámetro equivalente (φ_n) (véase el artículo 49.4.1.2 del Código Estructural)

* Si el tamaño nominal del árido es mayor de 32 milímetros, $C_{min,b}$ debe incrementarse en 5 milímetros.

Comentario: También la norma UNE-EN 1992-1-1 incluye este requisito y adopta los mismos criterios para su definición (véase el apartado 2.1.1 de esta guía).

De acuerdo con el artículo 44.2.1.2 y la cláusula 4.4.1.2(3) del Anejo 19 del Código Estructural, para armaduras activas postesas, el recubrimiento mínimo por adherencia será por lo menos igual al mayor de los límites siguientes, pero no deberá ser superior a 80 milímetros:

- 40 milímetros.
- En el caso de tendones con vainas circulares: un diámetro.
- En el caso de tendones con vainas rectangulares, 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.

Comentario: La norma UNE-EN 1992-1-1 adopta los mismos criterios para los recubrimientos de armaduras activas postesas (véase el apartado 2.1.1 de esta guía).

En el caso de armaduras activas pretesas, a título de comentario, el Código Estructural indica, en su artículo 44.2.1.1, que por razones de adherencia y para evitar los efectos de una posible fisuración longitudinal sobre la durabilidad, se recomiendan los siguientes valores para los recubrimientos:

- Para cordones o alambres lisos: dos veces el diámetro del cordón o alambre.
- Para alambres grafilados o indentados: tres veces el diámetro del alambre.

Comentario: El Anejo nacional de la norma UNE-EN 1992-1-1 adopta los mismos criterios para los recubrimientos de armaduras activas pretesas (véase el apartado 2.1.1 de esta guía).

3.1.2 Recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XO, XC, XS y XD

El recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) se define en el artículo 44.2.1.1 del Código Estructural y no será inferior a los valores recogidos en la Tabla 44.2.1.1.a para las clases de exposición XO y XC (corrosión

por carbonatación) y 44.2.1.1.b para las clases de exposición XS y XD (corrosión por cloruros). Los valores de recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad definidos en dicho artículo están asociados al cumplimiento simultáneo de las especificaciones mínimas de dosificación del hormigón contempladas en el artículo 43.2.1 del Código Estructural.

Comentario: Estos valores se podrían considerar equivalentes a la suma de los valores de $C_{min,dur}$ y $\Delta C_{dur,y}$ definidos por la norma UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional (véanse los apartados 2.1.2 y 2.1.3 de esta guía).

3.1.2.1 Clases de exposición X0 y XC

En la tabla a continuación, se incluyen los valores de recubrimiento mínimo para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por carbonatación (X0 y XC), de acuerdo con el Código Estructural.

Tabla 13 Recubrimientos mínimos, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por carbonatación (Tabla 44.2.1.1.a del Código Estructural)

$C_{min,dur}$ [mm]				
Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa]	Vida útil de proyecto (tL), [años]	
			50	100
X0	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
XC1	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
XC2 o XC3	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
XC4	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

Comentario: Para comparar los valores de los recubrimientos mínimos obtenidos mediante el Código Estructural y UNE-EN 1992-1-1 para una misma clase de exposición y un hormigón de las mismas características (tipo de cemento, vida útil y clase de resistencia), en la tabla a continuación (análoga a la Tabla 44.2.1.1.a del Código Estructural) se definen los recubrimientos mínimos por durabilidad determinados de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional (tablas AN/2, AN/3 y AN/4). Para la definición de dichos recubrimientos, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los recubrimientos corresponden a la suma de los valores de $c_{min,dur}$ y $\Delta c_{dur,y}$ definidos por la norma UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional.
- De acuerdo con la Tabla AN/4 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, el valor de $\Delta c_{dur,y}$ para las clases de exposición XO y XC es cero.
- Para las clases de exposición XC1, XC2, XC3 y XC4:
 - Los recubrimientos asociados a "CEM I" se han determinado considerando un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.
 - Los recubrimientos asociados a "Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón" se han determinado considerando un cemento 'no adecuado'.

En esta tabla, en **color verde**, se resaltan los casos en los que los valores de recubrimiento obtenidos con ambas las normas coinciden y, en **color rojo**, los casos para los que se obtienen valores distintos de recubrimiento en función de la norma que se aplica. De estos últimos valores, se señalan con (**) los casos en los que el Código Estructural es más conservador.

Tabla 14 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por carbonatación de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional ($c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y}$)

$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y}$ [mm]				
Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa]	Vida útil de proyecto [años]	
			50	100
XO	Cualquiera	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	15	20(**)
XC1	CEM I (*)	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	15	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	15(**)	25(**)
		$f_{ck} \geq 40$	15	20(**)
XC2 o XC3	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
XC4	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

(*) Valores de recubrimiento correspondientes al empleo de cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.

(**) El Código Estructural es más conservador a la hora de definir este valor.

Como se puede observar, para las clases de exposición XO y XC, cuando hay diferencias, estas no sobrepasan los 5 milímetros, siendo, en general, los valores definidos por el Código Estructural los más conservadores.

3.1.2.2 Clases de exposición XS y XD

En la tabla a continuación se incluyen los valores de recubrimiento mínimo para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros (XS y XD), de acuerdo con el Código Estructural.

Tabla 15 Recubrimiento mínimo, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros (Tabla 44.2.1.1.b del Código Estructural)

$C_{min,dur}$ [mm]								
Tipo de elemento	Cemento	Vida útil de proyecto (t_g) [años]	Clase de exposición					
			XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3
Hormigón armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de micro-sílice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%.	50	25	30	45	35	35	35
		100	30	35	50	40	40	40
	CEM II/B-S, B-P	50	30	35	65	40	40	40
		100	35	40	70	45	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28	50	40	45	(*)	(*)	(*)	(*)
		100	65	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Hormigón pretensado	CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	50	40	40	40
		100	35	40	65	45	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28	50	45	55	(*)	(*)	(*)	(*)
		100	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(*) Estas situaciones obligan a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda realizar un estudio específico para establecer el espesor de recubrimiento necesario en función de las condiciones de agresividad y la vida útil requerida.

Comentario: Para comparar los valores de los recubrimientos mínimos obtenidos mediante el Código Estructural y UNE-EN 1992-1-1 para una misma clase de exposición y un hormigón de las mismas características (tipo de cemento, vida útil y clase de resistencia), en la tabla a continuación (análoga a la Tabla 44.2.1.1.b del Código Estructural) se definen los recubrimientos mínimos por durabilidad determinados de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional (tablas AN/2, AN/3 y AN/4). Para la definición de dichos recubrimientos, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los recubrimientos corresponden a la suma de los valores de $C_{min,dur}$ y $\Delta C_{dur,y}$ definidos por la norma UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional.
- Los valores de $\Delta C_{dur,y}$ determinados de acuerdo con la Tabla AN/4 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, se indican en la propia tabla.
- Para el hormigón armado:

- Los recubrimientos asociados a "CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%" y "CEM II/B-S, B-P" se han determinado considerando un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.
 - Los recubrimientos asociados a "Resto de cementos utilizables, según el artículo 28" se han determinado considerando un cemento "no adecuado".
- Para el hormigón pretensado:
- Los recubrimientos asociados a "CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6%" se han determinado considerando un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.
 - Los recubrimientos asociados a "Resto de cementos utilizables, según el artículo 28" se han determinado considerando un cemento "no adecuado".

En esta tabla, en **color verde**, se resaltan los hormigones cuyos valores de recubrimiento obtenidos con ambas normas coinciden; por otro lado, los valores destacados en **amarillo** corresponden a los casos en los que no hay correspondencia entre normas porque una de ellas indica que se necesita un estudio específico de comprobación del E. L. Durabilidad (y la otra define un valor de recubrimiento).

Cuando se obtienen valores de recubrimiento distintos en función de la norma que se aplica, se distingue dicha diferencia mediante tres niveles de **color rojo**: diferencias de 5 milímetros (**nivel 1**), diferencias de 10 milímetros (**nivel 2**) y diferencias de 15 milímetros (**nivel 3**). Los casos en los que el Código Estructural es más conservador se señalan con (**).

Tabla 16 **Leyenda de colores**

Leyenda de colores	
Nivel 1	Diferencias de 5 mm
Nivel 2	Diferencias de 10 mm
Nivel 3	Diferencias de 15 mm

Para las clases de exposición XS1 y XS2 se verifica que, en la mayoría de los casos, Código Estructural y UNE-EN 1992-1-1 (y su Anejo nacional) coinciden en los recubrimientos definidos. Cuando se detectan diferencias, estas no sobrepasan los 5 milímetros, siendo los valores definidos por el Código Estructural los más conservadores. Estas diferencias están asociadas al empleo de cementos CEM II/B-S y B-P que, dentro de los cementos adecuados, parecen ser menos adecuados que los cementos CEM III/A, CEM III/B, etc. No se ha podido realizar una comparación para la clase de exposición XS3 puesto que UNE-EN 1992-1-1 indica que, en este caso, se debe realizar un estudio específico de comprobación del E.L. Durabilidad.

Tal como ocurre para la clase de exposición XS3, no se ha podido realizar una comparación para las clases de exposición XD2 y XD3. En el caso de la clase de exposición XD1, cuyos valores de recubrimientos sí se han podido comparar, se han detectado diferencias, en la mayoría de los casos, de 10 milímetros que, en algunos casos, llegan a ser de 15 milímetros, siendo los valores definidos por el Código Estructural los más conservadores. También en este caso las mayores diferencias detectadas están asociadas al empleo de cementos CEM II/B-S y B-P.

Tabla 17 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 y correspondiente Anejo nacional ($C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y}$)

$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y}$ [mm]								
Tipo de elemento	Cemento	Vida útil de proyecto [años]	Clase de exposición					
			XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3
Hormigón armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% (***)	50	30-5=25	30+0=30	(*)	30-5=25 (**)	(*)	(*)
		100	35-5=30	35+0=35	(*)	35-5=30 (**)	(*)	(*)
	CEM II/B-S, B-P (***)	50	30-5=25 (**)	30+0=30 (**)	(*)	30-5=25 (**)	(*)	(*)
		100	35-5=30 (**)	35+0=35 (**)	(*)	35-5=30 (**)	(*)	(*)
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28	50	40+5=45	35+0=35	(*)	40+5=45	(*)	(*)
		100	60+5=65	60+0=60	(*)	60+5=65	(*)	(*)
Hormigón pretensado	CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6% (***)	50	30+0=30	30+5=35	(*)	30+0=30 (**)	(*)	(*)
		100	35+0=35	35+5=40	(*)	35+0=35 (**)	(*)	(*)
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28	50	40+0=40	35+0=35	(*)	40+0=40	(*)	(*)
		100	60+0=60	60+0=60	(*)	60+0=60	(*)	(*)

(*) Requiere estudio específico de comprobación del E.L. Durabilidad.

(**) El Código Estructural es más conservador a la hora de definir este valor.

(***) Valores de recubrimiento correspondientes al empleo de cemento adecuado, de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.

3.1.3 Recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XF

En su artículo 44.3, el Código Estructural indica que el cumplimiento de las especificaciones relativas al ataque al hormigón por ciclos de hielo/deshielo se puede considerar comprobado si, además de los criterios mínimos de dosificación y los criterios de resistencia al hielo/deshielo indicados en los artículos 43.2.1 y 43.3.3 del mismo, se cumplen los recubrimientos mínimos indicados en su Tabla 44.3.

Tabla 18 Recubrimientos mínimos, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XF (Tabla 44.3 del Código Estructural)

$C_{min,dur}$ [mm]				
Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa]	Vida útil de proyecto (t_L), [años]	
			50	100
XF1, XF3	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
XF2, XF4	CEM II/A-D	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	35
	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	40	(*)
		$f_{ck} \geq 40$	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

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos.

Comentario: Se recuerda que la norma UNE-EN 1992-1-1 no recoge criterios adicionales para la definición del recubrimiento mínimo por durabilidad de las clases de exposición XF. No obstante, y tal como se ha indicado en el apartado 2.1.2.2 de esta guía, la parte 2 (puentes) de UNE-EN 1992 indica en la cláusula 4.2(106) que a las clases de exposición XD3, XF2 y XF4 se deberán atribuir los recubrimientos mínimos indicados en las tablas 4.4N y 4.5N de UNE-EN 1992-1-1 para las clases de exposición XD (las tablas 4.4N y 4.5N son parámetro de determinación nacional, por lo que la tabla a consultar, en este caso, sería la Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 (Tabla 3 de esta guía)).

De acuerdo con los comentarios relativos al artículo 27 del Código Estructural, "La corrosión por fundentes está considerada en las clases XD. Por lo tanto, si un elemento tiene una clase XF2 o XF4, necesariamente debe tener también una clase XD". Así, de acuerdo con el Código Estructural, los valores de recubrimiento a emplear en elementos con clase de exposición XF2 o XF4 corresponderán a la envolvente de recubrimientos asociados a las clases de exposición XD y XF2 o XF4.

En las tablas a continuación, se incluye la envolvente de valores de recubrimiento a emplear, de acuerdo con el Código Estructural, para clases de exposición XF2 o XF4 y XD. Los recubrimientos se presentan con el formato xx/yy donde "xx" es el recubrimiento correspondiente a una clase de exposición XF2 o XF4 de acuerdo con la Tabla 44.3 del Código Estructural e "yy" es el recubrimiento correspondiente a una clase de exposición XD de acuerdo con la Tabla 44.2.1.1.b del Código Estructural. Los valores más conservadores correspondientes a un determinado cemento, clase de resistencia y vida útil se definen en rojo.

Tabla 19 Envoltente de recubrimientos mínimos, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XF2/XF4 y XD en elementos de hormigón armado, de acuerdo con el Código Estructural

Envoltente de $C_{min,dur}$ para clases de exposición XF2/XF4 y XD [mm]				
Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa]	Vida útil de proyecto (t_L), [años]	
			50	100
XF2, XF4 Hormigón armado	CEM II/A-D	$25 \leq f_{ck} < 40$	25/35	50/40
		$f_{ck} \geq 40$	15/35	35/40
	CEM III/A o CEM III/B	$25 \leq f_{ck} < 40$	40/35	(*)/40
		$f_{ck} \geq 40$	20/35	40/40
	CEM IV, CEM II/B-V	$25 \leq f_{ck} < 40$	20/35	40/40
		$f_{ck} \geq 40$	10/35	20/40
	CEM II/B-S, B-P	$25 \leq f_{ck} < 40$	20/40	40/45
		$f_{ck} \geq 40$	10/40	20/45
	Hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% (excepto CEM II/A-D y CEM II/B-V)	$25 \leq f_{ck} < 40$	20/35	40/40
		$f_{ck} \geq 40$	10/35	20/40
	Otros tipos de cementos utilizables	$25 \leq f_{ck} < 40$	20/(*)	40/(*)
		$f_{ck} \geq 40$	10/(*)	20/(*)

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos.

Tabla 20 Envoltente de recubrimientos mínimos, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XF2/XF4 y XD en elementos de hormigón pretensado, de acuerdo con el Código Estructural

Envoltente de $C_{min,dur}$ para clases de exposición XF2/XF4 y XD [mm]				
Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa]	Vida útil de proyecto (t_L), [años]	
			50	100
XF2, XF4 Hormigón pretensado	CEM II/A-D	$25 \leq f_{ck} < 40$	25/40	50/45
		$f_{ck} \geq 40$	15/40	35/45
	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	40/*	*/*
		$f_{ck} \geq 40$	20/*	40/*
	CEM I con adición de humo de sílice superior al 6% (excepto CEM II/A-D)	$25 \leq f_{ck} < 40$	20/40	40/45
		$f_{ck} \geq 40$	10/40	20/45
	Otros tipos de cementos utilizables	$25 \leq f_{ck} < 40$	20/*	40/*
		$f_{ck} \geq 40$	10/*	20/*

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos.

Los valores en rojo en las tablas anteriores (valores condicionantes) corresponden, en la mayor parte de los casos, a los recubrimientos asociados a la clase de exposición XD. Solamente en el caso del empleo de cemento CEM II/A-D se obtienen valores de recubrimiento correspondientes a la clase de exposición XF2/XF4 superiores a los correspondientes a la clase XD, dando a entender que este tipo de cemento no es tan adecuado para clases de exposición XF2/XF4 como lo es para las clases XD.

Comentario: Para comparar los valores de los recubrimientos mínimos obtenidos mediante el Código Estructural (Tabla 19 y Tabla 20) y UNE-EN 1992-1-1 para una misma clase de exposición y un hormigón de las mismas características (tipo de cemento, vida útil y clase de resistencia), en las tablas a continuación (análogas a la Tabla 19 y a la Tabla 20 de esta guía) se definen los recubrimientos mínimos por durabilidad determinados de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional (tablas AN/2, AN/3 y AN/4), para las clases de exposición XF2 y XF4. Para la definición de dichos recubrimientos, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los recubrimientos corresponden a la suma de los valores de $c_{min,dur}$ y $\Delta c_{dur,\gamma}$ definidos por la norma UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional.
- Los valores de $\Delta c_{dur,\gamma}$ determinados de acuerdo con la Tabla AN/4 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, se indican en la propia tabla.
- A las clases de exposición XF2 y XF4 se deberán atribuir los recubrimientos mínimos correspondientes a las clases de exposición XD (cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2).
- Para el hormigón armado:
 - Los recubrimientos asociados a CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D y CEM II/B-S, B-P se han determinado considerando un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural, para la clase de exposición XD.
 - Los recubrimientos asociados a "hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% (excepto CEM II/A-D y CEM II/B-V)" y "Resto de cementos utilizables, según el artículo 28" se han determinado considerando un cemento "no adecuado".
- Para el hormigón pretensado:
 - Los recubrimientos asociados a CEM II/A-D se han determinado considerando un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural, para la clase de exposición XD.
 - Los recubrimientos asociados a "CEM I con adición de humo de sílice superior al 6% (excepto CEM II/A-D)" y "Resto de cementos utilizables, según el artículo 28" se han determinado considerando un cemento "no adecuado".

En estas tablas, en color verde, se resaltan los hormigones cuyos valores de recubrimiento obtenidos con ambas normas coinciden; por otro lado, los valores destacados en amarillo corresponden a los casos en los que no hay correspondencia entre normas porque una de ellas indica que se necesita un estudio específico de comprobación del E. L. Durabilidad (y la otra define un valor de recubrimiento).

Cuando se obtienen valores de recubrimiento distintos en función de la norma que se aplica, se distingue dicha diferencia mediante tres niveles de color rojo: diferencias de 5 milímetros (nivel 1), diferencias de 10 milímetros (nivel 2) y diferencias iguales o superiores a 15 milímetros (nivel 3). Los casos en los que el Código Estructural es más conservador se señalan con (**).

Tabla 21 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición XF2 y XF4, de acuerdo con UNE-EN 1992-2 y UNE-EN 1992-1-1 y correspondiente Anejo nacional, $(C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y})$ - hormigón armado

Leyenda de colores	
Nivel 1	Diferencias de 5 mm
Nivel 2	Diferencias de 10 mm
Nivel 3	Diferencias ≥ 15 mm

Tabla 22 Leyenda de colores

$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y}$ [mm]				
Clase de exposición y tipo de hormigón	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa] (****)	Vida útil de proyecto [años]	
			50	100
XF2, XF4 (****) Hormigón armado	CEM II/A-D (***)	$25 \leq f_{ck} < 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
		$f_{ck} \geq 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
	CEM III/A o CEM III/B (***)	$25 \leq f_{ck} < 40$	30-5=25 (**)	35-5=30
		$f_{ck} \geq 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
	CEM IV, CEM II/B-V (***)	$25 \leq f_{ck} < 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
		$f_{ck} \geq 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
	CEM II/B-S, B-P (***)	$25 \leq f_{ck} < 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
		$f_{ck} \geq 40$	30-5=25 (**)	35-5=30 (**)
	Hormigón con adición de micro-sílice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% (excepto CEM II/A-D y CEM II/B-V)	$25 \leq f_{ck} < 40$	40+5=45	60+5=65
		$f_{ck} \geq 40$	40+5=45	60+5=65
	Otros tipos de cementos utilizables	$25 \leq f_{ck} < 40$	40+5=45	60+5=65
		$f_{ck} \geq 40$	40+5=45	60+5=65

(*) Requiere estudio específico de comprobación del E.L. Durabilidad.

(**) El Código Estructural es más conservador a la hora de definir este valor.

(***) Valores de recubrimiento correspondientes al empleo de cemento adecuado de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural, para la clase de exposición XD.

(****) De acuerdo con la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2, a las clases de exposición XF2 y XF4 se deben atribuir los recubrimientos correspondientes a la clase XD.

(*****) Para la clase de exposición XD, la Tabla AN/2 no distingue los valores de recubrimiento en función de la resistencia del hormigón.

Como se puede comprobar, para elementos de hormigón armado, la definición de los recubrimientos de acuerdo con el Código Estructural resulta, en general, en valores superiores a los definidos por las normas UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 1992-2. Las diferencias detectadas entre las dos normas son, en la mayoría de los casos, de 10 milímetros, pero pueden llegar a ser iguales o superiores a

15 milímetros. Algunos valores no se han podido comparar (valores sombreados en amarillo) puesto que, para estos casos, el Código Estructural indica que se debe realizar un estudio de durabilidad.

Tabla 23 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición XF2 y XF4, de acuerdo con UNE-EN 1992-2 y UNE-EN 1992-1-1 y correspondiente Anejo nacional, $(C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y})$ - hormigón pretensado

$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y}$ [mm]				
Clase de exposición y tipo de hormigón	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [MPa] (****)	Vida útil de proyecto [años]	
			50	100
XF2, XF4 (****) Hormigón pretensado	CEM II/A-D (***)	$25 \leq f_{ck} < 40$	30+0=30 (**)	35+0=35 (**)
		$f_{ck} \geq 40$	30+0=30 (**)	35+0=35 (**)
	CEM III (***)	$25 \leq f_{ck} < 40$	30+0=30	35+0=35
		$f_{ck} \geq 40$	30+0=30	35+0=35
	CEM I con adición de humo de sílice superior al 6% (excepto CEM II/A-D)	$25 \leq f_{ck} < 40$	40+(*)	60+(*)
		$f_{ck} \geq 40$	40+(*)	60+(*)
	Otros tipos de cementos utilizables	$25 \leq f_{ck} < 40$	40+(*)	60+(*)
		$f_{ck} \geq 40$	40+(*)	60+(*)

(*) Requiere estudio específico de comprobación del E.L. Durabilidad.

(**) El Código Estructural es más conservador a la hora de definir este valor.

(***) Valores de recubrimiento correspondientes al empleo de cemento de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural, para la clase de exposición XD.

(****) De acuerdo con la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2, a las clases de exposición XF2 y XF4 se deben atribuir los recubrimientos correspondientes a la clase XD.

(*****) Para la clase de exposición XD, la Tabla AN/2 no distingue los valores de recubrimiento en función de la resistencia del hormigón.

Como se puede comprobar, también para elementos de hormigón pretensado, la definición de los recubrimientos de acuerdo con el Código Estructural implica valores superiores a los definidos por las normas UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 1992-2. Las diferencias detectadas entre las dos normas son, en general, de 10 milímetros. Algunos valores no se han podido comparar (valores sombreados en amarillo) puesto que, para estos casos, o bien el Código Estructural o bien UNE-EN 1992-1-1 indican que se debe realizar un estudio de durabilidad.

Las conclusiones obtenidas en este apartado son semejantes a las obtenidas en el apartado anterior para las clases de exposición XD puesto que tanto el Código Estructural como UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 1992-2 tienen en cuenta los recubrimientos de la clase de exposición XD para la determinación de los recubrimientos de las clases de exposición de las clases XF2 y XF4.

La norma UNE-EN 1992-1-1 no recoge criterios adicionales para la definición del recubrimiento mínimo de las clases de exposición XF1 y XF3, por lo que no es posible realizar una comparación de los recubrimientos para estos casos.

3.1.4 Recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XA

En su artículo 44.4, el Código Estructural indica que el cumplimiento de las especificaciones relativas al ataque químico al hormigón se puede considerar comprobado si, además de los criterios mínimos de dosificación y los criterios específicos frente al ataque químico indicados en los artículos 43.2.1 y 43.3.4 del mismo, se cumplen los recubrimientos mínimos indicados en su Tabla 44.4.

Tabla 24 Recubrimientos mínimos, $C_{min,dur}$, para las clases de exposición XA
(Tabla 44.4 del Código Estructural)

$C_{min,dur}$ [mm]			
Clase de exposición	Tipo de cemento	Vida útil de proyecto (t_L), [años]	
		50	100
XA1	CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	40	55
	Resto de cementos utilizables	(*)	(*)
XA2, XA3	Cualquiera	(1)	(1)

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos.

(1) 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.

Se indica también en este artículo que se deberá evaluar la opción de adoptar medidas de control frente a la agresividad del ataque químico que impidan o ralenticen la reactividad química de los componentes del hormigón.

Comentario: La norma UNE-EN 1992-1-1 no recoge criterios adicionales para la definición del recubrimiento mínimo de las clases de exposición XA. En estos casos, los recubrimientos se determinarán en función de las restantes clases de exposición asociadas al elemento.

3.1.5 Sobreepesor del recubrimiento mínimo para las clases de exposición XM

En su artículo 44.5, el Código Estructural indica que el cumplimiento de las especificaciones relativas al desgaste por erosión en el hormigón se puede considerar comprobado si, además de los criterios mínimos de dosificación y los criterios específicos frente al ataque por erosión indicados en los artículos 43.2.1 y 43.3.5 del mismo, se emplean los recubrimientos mínimos mecánicos o de durabilidad recogidos en los artículos 44.2, 44.3 y 44.4 del mismo (apartados anteriores de esta guía) y a estos se les añade un sobreepesor de acuerdo con su Tabla 44.5.

Tabla 25 Sobreespesor del recubrimiento mínimo para las clases de exposición XM
(Tabla 44.5 del Código Estructural)

Clase de exposición	Sobreespesor del recubrimiento [mm]
XM1	5
XM2	10
XM3	15

También en la cláusula 4.4.1.2(13) del Anejo 19 se definen los sobreespesores a aplicar en función de la clase de abrasión, valores que coinciden con los indicados en la Tabla 44.5 del articulado.

Comentario: Tal como se ha indicado en el apartado 2.1.6 de esta guía, la norma UNE-EN 1992-1-1 adopta un criterio análogo y define los mismos valores de sobreespesor para las clases XM.

3.1.6 Reducción de recubrimiento por empleo de acero inoxidable, $\Delta c_{dur,st}$

De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(7) del Anejo 19 del Código Estructural, si se emplean armaduras de acero inoxidable o se toman otras medidas especiales, se puede proceder a una reducción, $\Delta c_{dur,st}$, de los valores de recubrimiento mínimo, de acuerdo con lo definido en el artículo 43.3 del Código Estructural. En dicho artículo se indica que cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras inoxidables, para las clases de exposición XS o XD se podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la Tabla 44.2.1.1.b, pero nunca inferiores a 30 milímetros. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del tipo de acero inoxidable utilizado durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

Comentario: Tal como se ha indicado en el apartado 2.1.4 de esta guía, la norma UNE-EN 1992-1-1 también plantea la posibilidad de reducción de los valores de recubrimiento mínimo en el caso de empleo de armaduras de acero inoxidable. No obstante, en este caso no se podrá proceder a una comparación entre las dos normas una vez que el Código Estructural no define valores para esa reducción.

3.1.7 Reducción del recubrimiento por adopción de medidas especiales de protección

De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(8) del Anejo 19 del Código Estructural, si el autor del proyecto establece medidas especiales de protección, se pueden reducir los valores del recubrimiento mínimo, de acuerdo con lo definido en el artículo 43.3 del Código Estructural. En dicho artículo se indica que:

- Cuando el proyecto prescriba el uso de aditivos inhibidores de la corrosión incorporados a la masa del hormigón o el uso de armaduras galvanizadas, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la Tabla 44.2.1.1.b, reducidos en no más de 10 milímetros.

- Cuando el proyecto prescriba el uso de sistemas de protección catódica, podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases XS y XD iguales a los indicados para una clase XC4.

Tal como se indica en la cláusula 4.4.1.2 (8) del Anejo 19 y a lo largo del artículo 43.3 del Código Estructural, en muchas ocasiones, la vida útil del propio sistema de protección puede ser sensiblemente inferior a la de la estructura por lo que, para poder aplicar la disminución del recubrimiento mencionado anteriormente, el autor del proyecto deberá especificar, además, las medidas necesarias para garantizar el mantenimiento de la eficacia del sistema especial de protección durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

Comentario: Tal como se ha indicado en el apartado 2.1.5 de esta guía, la norma UNE-EN 1992-1-1 también plantea la posibilidad de reducción de los valores de recubrimiento mínimo cuando se adopten medidas especiales de protección.

En primer lugar, se destaca que la reducción del recubrimiento contemplada por la norma UNE-EN 1992-1-1 no depende del tipo de protección empleada, al contrario del Código Estructural.

En el caso del uso de aditivos inhibidores de la corrosión o armaduras galvanizadas, no se puede realizar una comparación directa entre las dos normas una vez que el Código Estructural no define valores para esta reducción. No obstante, se destaca que, en estos casos, el Código Estructural no permite una reducción del recubrimiento de más de 10 milímetros, pero el Anejo nacional de la norma UNE-EN 1992-1-1, en su Tabla AN/5, permite una reducción de hasta 25 milímetros para elementos con clase estructural XD1 y XS1.

Por último, el Código Estructural indica que cuando se empleen sistemas de protección catódica, se atribuyan, a las clases de exposición XS y XD, los recubrimientos mínimos de la clase XC4. Teniendo en cuenta este criterio, en la tabla a continuación se procede a la comparación entre las reducciones permitidas por el Código Estructural y las reducciones permitidas por el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1. En dicha tabla se incluyen los siguientes valores:

- Recubrimientos correspondientes a las clases de exposición XS y XD, de acuerdo con la Tabla 44.2.1.1.b del Código Estructural.
- Recubrimientos correspondientes a la clase de exposición XC4, de acuerdo con la Tabla 44.2.1.1.a del Código Estructural.
- Reducciones a aplicar a los recubrimientos de las clases XS y XD, para obtener los recubrimientos correspondientes a la clase XC4 (valores entre paréntesis).

Además, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el hormigón armado:
 - Las reducciones asociadas a "CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%" y "CEM II/B-S, B-P" se han considerado como correspondientes a un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.
 - Las reducciones asociadas a "Resto de cementos utilizables, según el artículo 28" se han considerado como correspondientes a un cemento "no adecuado".

- Para el hormigón pretensado:
 - Las reducciones asociadas a "CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6%" se han considerado como correspondientes a un cemento "adecuado", de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.
 - Las reducciones asociadas a "Resto de cementos utilizables, según el artículo 28" se han considerado como correspondientes a un cemento "no adecuado".

En la Tabla 26, en color verde, se destacan los casos en los que la reducción del recubrimiento permitida por ambas normas coincide; en color rojo, se destacan los casos para los que se obtienen valores distintos de reducción en función de la norma que se aplica. De estos últimos valores, se señala con (**) los casos en los que el Código Estructural es más conservador, es decir, los casos en los que la reducción permitida por el Código Estructural es inferior a la permitida por UNE-EN 1992-1-1. Por otro lado, los valores destacados en amarillo corresponden a los casos en los que una de las normas indica que se necesita un estudio específico de comprobación del E. L. Durabilidad.

Tabla 26 Recubrimientos reducidos de las clases XS y XD por empleo de protección catódica

Tipo de elemento	Cemento	Vida útil de proyecto [años]	Recubrimiento mínimo [mm]							
			Valores de recubrimiento mínimo de las clases XS y XD, de acuerdo con la Tabla 44.2.1.1.b del Código Estructural (****)						Valores de recubrimiento mínimo de las clases XS y XD teniendo en cuenta la reducción por protección catódica (iguales a los recubrimientos de la clase XC4 definidos en la Tabla 44.2.1.1.a)	
			XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	$25 \leq f_{ck} < 40$	$f_{ck} \geq 40$
Hormigón armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%. (***)	50	25 (-5/-10)	30 (-10/-15)	45 (-25/-30)	35 (-15/-20)	35 (-15/-20)	35 (-15/-20)	20	15
		100	30 (0/-5)	35 (-5/-10)	50 (-20/-25)	40 (-10/-15)	40 (-10/-15)	40 (-10/-15)	30	25
	CEM II/B-S, B-P (***)	50	30 (-10/-15)	35 (-15/-20)	65 (-45/-50)	40 (-20/-25)	40 (-20/-25)	40 (-20/-25)	20	15
		100	35 (-5/-10)	40 (-10/-15)	70 (-40/-45)	45 (-15/-20)	45 (-15/-20)	45 (-15/-20)	30	25
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28	50	40 (-15/-20) (**)	45 (-20/-25)	(*)	(*)	(*)	(*)	25	20
		100	65 (-30/-35)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	35	30
Hormigón pretensado	CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6% (***)	50	30 (-10/-15)	35 (-15/-20)	50 (-30/-35)	40 (-20/-25)	40 (-20/-25)	40 (-20/-25)	20	15
		100	35 (-5/-10)	40 (-10/-15)	65 (-35/-40)	45 (-15/-20)	45 (-15/-20)	45 (-15/-20)	30	25
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28	50	45 (-20/-25)	55 (-30/-35)	(*)	(*)	(*)	(*)	25	20
		100	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	35	30

(*) De acuerdo con la Tabla 44.2.1.1.b del Código Estructural, estas situaciones obligan a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda realizar un estudio específico para establecer el espesor de recubrimiento necesario en función de las condiciones de agresividad y la vida útil requerida.

(**) El Código Estructural es más conservador a la hora de definir este valor, es decir, la reducción permitida por el Código Estructural es inferior a la permitida por UNE-EN 1992-1-1.

(***) Cemento adecuado de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural.

(****) Los valores entre paréntesis corresponden a la reducción a aplicar a los recubrimientos definidos en la Tabla 44.2.1.1.b para obtener los recubrimientos de la clase XC4, de acuerdo con la Tabla 44.2.1.1.a.

Si comparamos los valores de las reducciones permitidas por el Código Estructural (valores entre paréntesis en la Tabla 26) con los valores de las reducciones permitidas por UNE-EN 1992-1-1 (Tabla 11), verificamos que son pocos los casos en los que se obtienen valores de reducción iguales para una misma clase de exposición (celdas destacadas en verde). En la mayoría de los casos no se ha podido realizar una comparación, puesto que alguna de las normas recomienda la realización de un estudio específico de durabilidad. Cuando se detectan diferencias (valores destacados en rojo), en general, la aplicación Anejo nacional de la norma UNE-EN 1992-1-1 implica reducciones menores de los recubrimientos (criterio más conservador que el adoptado por el Código Estructural).

3.1.8 Consideraciones adicionales

Además de los criterios indicados en los apartados anteriores, de acuerdo con el artículo 44.2.1.1 y el apartado 4.4.1 del Anejo 19 del Código Estructural, los recubrimientos mínimos deben cumplir con las siguientes condiciones:

- De acuerdo con la cláusula 44.2.1.1 (a) del articulado, cuando se trata de armaduras principales, el recubrimiento deberá ser igual o superior al diámetro de la 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.
- De acuerdo con la cláusula 44.2.1.1 (b) del articulado, el recubrimiento de las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medido en dirección perpendicular al plano de la curva.
- De acuerdo con la cláusula 44.2.1.1 (d) del articulado, la cláusula 4.4.1.2 (9) del Anejo 19 y la cláusula 4.4.1.2 (109) del Anejo 21, cuando se trate de superficies límites de hormigonado que en situación definitiva queden embebidas en la masa del hormigón, el recubrimiento mínimo entre la armadura y la zona de contacto no será menor que:
 - El recubrimiento mínimo por adherencia (véase el apartado 3.1.1 de esta guía).
 - O 0,80 veces el tamaño máximo del árido.

Se podrán emplear los valores de recubrimiento indicados siempre que:

- La resistencia característica del hormigón, f_{ck} , sea igual o superior a 25 MPa.
- El tiempo de exposición al ambiente exterior de la superficie de hormigón sea corto (< 28 días).
- La zona de contacto sea rugosa.

Comentario: Este criterio coincide con el definido por UNE-EN 1992-1-1 (véase el apartado 2.1.6 de esta guía).

- También de acuerdo con la cláusula 44.2.1.1 (d) del articulado, cuando por exigencias de cualquier tipo (durabilidad, protección frente a incendios o utilización de grupos de barras), el recubrimiento sea superior a 50 milímetros, deberá considerarse la posible conveniencia de colocar una malla de reparto (a valorar la conveniencia

de que sea de acero inoxidable) de diámetro no superior a 12 milímetros colocada en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción y con una cuantía geométrica del 5 por mil del área del recubrimiento.

- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.3 (4) del Anejo 19 y el artículo 44.2.1.1 del Código Estructural, para hormigón vertido sobre hormigón de limpieza, el recubrimiento mínimo no debe ser inferior a 0 milímetros. Para elementos hormigonados contra el terreno, el recubrimiento mínimo será igual o superior a 70 milímetros, salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

Comentario: Como se ha expuesto en el apartado 2.2 de esta guía, también la norma UNE-EN 1992-1-1 establece un valor mínimo de recubrimiento para elementos hormigonados contra el terreno, no obstante, ese valor es de 75 milímetros y se refiere al valor mínimo de recubrimiento nominal.

En relación con el recubrimiento mínimo para elementos hormigonados contra hormigón de limpieza, se recuerda que se deben cumplir, como mínimo, los requisitos de adherencia indicados en el apartado 3.1.1 de esta guía, tal como se ha indicado anteriormente en este apartado.

- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2 (10) del Anejo 19, para armaduras activas no adherentes, el recubrimiento debe establecerse de acuerdo al correspondiente Documento de evaluación europeo.
- De acuerdo con la cláusula 4.4.1.2 (11) del Anejo 19, para superficies irregulares (por ejemplo, con árido expuesto) el recubrimiento mínimo deberá incrementarse como mínimo 5 milímetros.

Comentario: La norma UNE-EN 1992-1-1 incluye este mismo criterio (véase el apartado 2.1.6 de esta guía).

- Por último, y de acuerdo con la cláusula 4.4.1.2(115) del Anejo 21 del Código Estructural, cuando una superficie de hormigón está sometida a abrasión por aguas que arrastren hielo o partículas sólidas, debería aumentarse el recubrimiento, como mínimo, en 10 milímetros.

Comentario: La norma UNE-EN 1992-2 incluye este mismo criterio (véase el apartado 2.1.6 de esta guía).

3.2 Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución, ΔC_{dev}

El margen de recubrimiento en función del nivel de ejecución se define en la Tabla 43.4.1 (artículo 43.4) y en la cláusula 4.4.1.3(3) del Anejo 19 del Código Estructural. El criterio definido es el presentado a continuación:

Tabla 27 Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución
(Tabla 43.4.1 del Código Estructural)

Tipo de elemento	ΔC_{dev} [mm]
Elementos prefabricados con nivel intenso de control en la instalación de prefabricación (en obra o ajena a la obra)	0
Elementos ejecutados <i>in situ</i> con nivel intenso de control de ejecución	5
Otros casos	10

Comentario: La determinación del valor del margen de recubrimiento de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 se ha recogido en el apartado 2.2 de esta guía. Como se puede comprobar, los valores de este parámetro adoptados por el Código Estructural coinciden con los valores adoptados por UNE-EN 1992-1-1.

3.3 Comentarios generales

A continuación, se describen, en líneas generales, los diferentes criterios adoptados por el Código Estructural a la hora de determinar el recubrimiento nominal de elementos de hormigón y se realizan, si corresponde, algunos comentarios relativos a los paralelismos con la UNE-EN 1992-1-1.

Tal como se ha observado al inicio del apartado 3 de esta guía, la formulación general para la determinación del recubrimiento nominal es análoga en ambas normas, por lo que a lo largo del apartado 3 de esta guía se ha podido realizar una comparación de forma prácticamente paralela entre las dos formulaciones.

En relación con la determinación del recubrimiento mínimo, c_{min} , en líneas generales, el Código Estructural define sus valores en función de la clase de exposición del elemento. A continuación, se incluyen algunos comentarios relativos a la determinación de este parámetro:

- Recubrimiento mínimo por adherencia, $c_{min,b}$: el criterio para determinar el recubrimiento mínimo por adherencia coincide con el adoptado por la UNE-EN 1992-1-1, como se describe en el apartado 2.1.1 de esta guía.
- Recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad para las clases de exposición X0, XC, XS y XD: los recubrimientos mínimos definidos por el Código Estructural para las armaduras pasivas y activas pretensas se podrían considerar equivalentes a la suma de los valores de $c_{min,dur}$ y $\Delta c_{dur,y}$ definidos por la norma UNE-EN 1992-1-1 (véanse los apartados 2.1.2 y 2.1.3 de esta guía). Para estas clases de exposición, se han detectado diferencias entre los recubrimientos mínimos por durabilidad determinados mediante el Código Estructural y UNE-EN-1992-1-1. En general, cuando se determinan según el Código Estructural, los valores de recubrimiento son más conservadores.
- Recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad para las clases de exposición XF: por un lado, de acuerdo con el artículo 27 del Código Estructural, si un elemento tiene una clase de exposición XF2 o XF4, necesariamente debe tener también una

clase XD; por otro lado, la UNE-EN 1992-2 indica que los recubrimientos a asignar a elementos con clase de exposición XF2 o XF4 deben corresponder a los recubrimientos de las clases XD. Así, para la determinación de los recubrimientos de elementos con clase de exposición XF2 o XF4 es necesario tener en cuenta los recubrimientos de las clases XD, independientemente de la norma aplicada. También para este caso se han detectado diferencias entre los recubrimientos determinados mediante el Código Estructural y UNE-EN 1992-1-1, siendo los valores definidos por el Código Estructural conservadores cuando comparados con los definidos por UNE-EN 1992-1-1. UNE-EN 1992-1-1 no define valores particulares de recubrimiento para las clases de exposición XF1 y XF3. Así, en este caso, no se ha realizado una comparación entre esta norma y el Código Estructural.

- Recubrimiento mínimo para las clases de exposición XA: el Código Estructural define unos valores de recubrimiento mínimo particulares para los elementos expuestos al ataque químico. Por su parte, la norma UNE-EN 1992-1-1 no establece criterios adicionales para esta clase de exposición.
- Sobreespesor del recubrimiento mínimo para las clases de exposición XM: el Código Estructural define un sobreespesor para el recubrimiento mínimo de elementos sometidos a desgaste por erosión. La norma UNE-EN 1992-1-1 adopta un criterio análogo y define los mismos valores de sobreespesor que define el Código Estructural.
- Reducciones de recubrimiento por el empleo de armaduras de acero inoxidable y adopción de medidas especiales de protección: en el caso de la reducción de los valores de recubrimiento mínimo por empleo de armaduras de acero inoxidable, aditivos inhibidores de la corrosión o armaduras galvanizadas, no se ha podido realizar una comparación directa entre las dos normas por falta de definición de valores concretos por parte del Código Estructural. En el caso de empleo de sistemas de protección catódica, la comparación directa entre las normas ha detectado que en pocos casos se verifica una coincidencia entre los valores de reducción definidos por cada una de ellas, siendo, en general, las reducciones permitidas por el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 más conservadoras.
- Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución: los valores adoptados por el Código Estructural coinciden con los valores adoptados por la UNE-EN 1992-1-1, como se puede ver en el apartado 2.2 de esta guía.
- Por último, el Código Estructural establece un valor mínimo para el recubrimiento mínimo de elementos hormigonados contra el terreno de 70 milímetros. Al sumar a este valor el margen de recubrimiento en función del nivel de control que, con control intenso de ejecución (obligatorio en elementos de hormigón de puentes, de acuerdo con el artículo 14.3.1 del Código Estructural), es de 5 milímetros, se obtiene un recubrimiento nominal de 75 milímetros, valor que coincide con el criterio recomendado por la UNE-EN 1992-1-1 (véase el apartado 2.2 de esta guía).

4

EJEMPLO PRÁCTICO

En este apartado se determinará el recubrimiento nominal de las armaduras pasivas de varios elementos de un viaducto con tablero de hormigón pretensado en zona de vialidad invernal, teniendo en cuenta, por un lado, la formulación incluida en los Eurocódigos (UNE-EN 1992-1-1) y, por otro lado, la formulación del Código Estructural. Para obtener resultados lo más diversos posible, en este ejemplo se determinará el recubrimiento de elementos de hormigón prefabricado y hormigón *in situ* con diferentes clases de resistencia y de exposición.

En la tabla a continuación se incluye un resumen de los elementos analizados y respectivas características.

Tabla 28 Ejemplo práctico. Características de los elementos analizados

Material	Elemento	Tipo de hormigón	Clase de resistencia a compresión	Tamaño máximo de árido [mm]	Clase de exposición
Hormigón prefabricado	Puntales prefabricados	Armado	C50/60	20	XC4+XD3+XF2
Hormigón <i>in situ</i>	Tablero	Pretensado	C50/60	20	XC4+XD3+XF4
	Cabeza de pilas	Armado	C50/60	20	XC4+XD3+XF2
	Alzado de pilas	Armado	C40/50	20	XC4+XD3+XF2
	Alzado de pilas en contacto con terreno natural	Armado	C40/50	20	XC2+XA1
	Alzado estribos	Armado	C30/37	20	XC4+XD3+XF2+XA1
	Encepados de pilas	Armado	C35/45	20	XC2+XA1
	Zapatas de pilas y estribos	Armado	C30/37	20	XC2+XA1
	Pilotes	Armado	C30/37	20	XC2+XA1
Vida útil de la estructura	100 años				

Empleo de cemento adecuado en la fabricación del hormigón, de acuerdo con el Anejo 6 del Código Estructural

Nivel de control de ejecución: intenso

La información recogida en la tabla anterior, imprescindible para la definición de los valores de recubrimientos, deberá incluirse en el cuadro de especificaciones técnicas del proyecto. Los requisitos a incluir en los cuadros de especificaciones técnicas de los materiales se definen en detalle en las guías para la definición de los cuadros de especificaciones técnicas de los materiales (aceros y hormigón) de la Dirección General de Carreteras.

4.1 Determinación de recubrimientos según la UNE-EN 1992-1-1

En este apartado se determinarán los valores de los recubrimientos nominales de los elementos de hormigón presentados anteriormente, de acuerdo con la formulación de UNE-EN 1992-1-1 (véase el apartado 2 de esta guía).

4.1.1 Determinación de c_{min}

Tal como se ha indicado en el apartado 2.1 de esta guía, para la determinación de c_{min} de acuerdo con la expresión (4.2) del apartado 4.4.1.2 de UNE-EN-1992-1-1 (expresión (2) de esta guía), es necesaria la determinación de los parámetros:

- $c_{min,b}$
- $c_{min,dur}$
- $\Delta C_{dur,\gamma}$
- $\Delta C_{dur,st}$
- $\Delta C_{dur,add}$

4.1.1.1 $c_{min,b}$

Para la determinación del recubrimiento mínimo que garantiza la adherencia de las barras y garantiza la adecuada compactación del hormigón, $c_{min,b}$, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- El armado de los elementos analizados está constituido por barras aisladas.
- De acuerdo con la Tabla 28, el diámetro máximo del árido es de 20 milímetros.
- A efectos de este ejemplo práctico, se considera que el diámetro máximo de las barras empleadas es de 25 milímetros.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho y de acuerdo con el apartado 2.1.1 de esta guía y la Tabla 4.2 de UNE-EN 1992-1-1, en este ejemplo práctico $c_{min,b}$ se toma igual a 25 milímetros.

El valor del recubrimiento mínimo determinado en este apartado corresponde al recubrimiento mínimo para las armaduras pasivas. En el caso de las armaduras activas, estas deben

cumplir con los requisitos de distancias indicados en el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 (véase el apartado 2.1.1 de esta guía).

4.1.1.2 *C_{min,dur}*

El primer paso en la determinación del recubrimiento mínimo debido a las condiciones ambientales es la determinación de la clase estructural de cada elemento, de acuerdo con la Tabla AN/2 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 (Tabla 2 de esta guía). Para ello, se ha tenido en cuenta:

- La vida útil de la estructura de 100 años, tal como se indica en la Tabla 28.
- El empleo de cemento adecuado en la fabricación del hormigón tal como se indica en la Tabla 28.
- La clase de resistencia de cada elemento indicada en la Tabla 28.
- La clase de exposición de cada elemento indicada en la Tabla 28.

Partiendo de la clase estructural base, S4, y teniendo en cuenta lo anteriormente dicho se obtienen las siguientes clases estructurales:

Tabla 29 Determinación de la clase estructural de acuerdo con la Tabla AN/2 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1

Elemento	Clase de resistencia a compresión	Clase de exposición		Clase de referencia	Vida útil = 100 años	$f_{ck} \geq 40$ MPa?	Cemento adecuado y vida útil de 100 años
Puntales prefabricados	C50/60	XC4+XD3+XF2	XC4	S4	Subir 2 clases: S6	Sí. Bajar 1 clase: S5	Bajar 1 clase: S4
			XD3+XF2 (*)		Subir 2 clases: S6	Sí. No modifica: S6	Bajar 4 clases: S2
Tablero	C50/60	XC4+XD3+XF4	XC4		Subir 2 clases: S6	Sí. Bajar 1 clase: S5	Bajar 1 clase: S4
			XD3+XF4 (*)		Subir 2 clases: S6	Sí. No modifica: S6	Bajar 4 clases: S2
Cabeza de pilas	C50/60	XC4+XD3+XF2	XC4		Subir 2 clases: S6	Sí. Bajar 1 clase: S5	Bajar 1 clase: S4
			XD3+XF2 (*)		Subir 2 clases: S6	Sí. No modifica: S6	Bajar 4 clases: S2
Alzado de pilas	C40/50	XC4+XD3+XF2	XC4		Subir 2 clases: S6	Sí. Bajar 1 clase: S5	Bajar 1 clase: S4
			XD3+XF2 (*)		Subir 2 clases: S6	Sí. No modifica: S6	Bajar 4 clases: S2
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	C40/50	XC2+XA1	XC2 (**)		Subir 2 clases: S6	Sí. Bajar 1 clase: S5	Bajar 1 clase: S4
Alzado estribos	C30/37	XC4+XD3+XF2+XA1 (***)	XC4		Subir 2 clases: S6	No. S6	Bajar 1 clase: S5
			XD3+XF2 (*)		Subir 2 clases: S6	No. S6	Bajar 4 clases: S2
			XC2 (+XA1) (**)		Subir 2 clases: S6	No. S6	Bajar 1 clase: S5
Encepados de pilas	C35/45	XC2+XA1	XC2 (**)		Subir 2 clases: S6	No. S6	Bajar 1 clase: S5
Zapatillas de pilas y estribos	C30/37	XC2+XA1	XC2 (**)		Subir 2 clases: S6	No. S6	Bajar 1 clase: S5
Pilotes	C30/37	XC2+XA1	XC2 (**)	Subir 2 clases: S6	No. S6	Bajar 1 clase: S5	

(*) Las clases XF2 y XF4 se estudian como clase XD, de acuerdo con la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2 (véase el apartado 2.1.2.2 de esta guía).

(**) El Eurocódigo 2 no define recubrimientos específicos para la clase de exposición XA, por lo que la definición de los recubrimientos de este elemento se hace en función de la clase de exposición correspondiente a la corrosión por carbonatación (XC).

(***) La clase de exposición XA se incluye para tener en cuenta el ataque químico existente en el trasdós del estribo, en contacto con el terreno. A las caras del estribo en contacto con el terreno corresponde una clase de exposición XC2+XA1; a las caras del estribo en contacto con el aire corresponde una clase de exposición XC4+XD3+XF4. El recubrimiento de los alzados de los estribos corresponde al recubrimiento máximo resultante del análisis de las dos caras.

Conocida la clase estructural de cada elemento (véase la Tabla 29) y de acuerdo con la Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, se determina el valor de $C_{min,dur}$ (véase la Tabla 30).

Tabla 30 Determinación de $C_{min,dur}$ de acuerdo con la Tabla AN/3 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1

Elemento	Clase de exposición	Clase estructural (***)	$C_{min,dur}$ [mm]
Puntales prefabricados	XC4	S4	25
	XD3+XF2 (*)	S2	35
Tablero	XC4	S4	25
	XD3+XF4(*)	S2	35
Cabeza de pilas	XC4	S4	25
	XD3+XF2 (*)	S2	35
Alzado de pilas	XC4	S4	25
	XD3+XF2 (*)	S2	35
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	XC2 (**)	S4	20
Alzado estribos	XC4	S5	30
	XD3+XF2 (*)	S2	35
	XC2 (+XA1) (**)	S5	25
Encepados de pilas	XC2 (**)	S5	25
Zapatillas de pilas y estribos	XC2 (**)	S5	25
Pilotes	XC2 (**)	S5	25

(*) Las clases XF2 y XF4 se estudian como clase XD, de acuerdo con la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2 (véase el apartado 2.1.2.2 de esta guía).

(**) El Eurocódigo 2 no define recubrimientos específicos para la clase de exposición XA, por lo que la definición de los recubrimientos de este elemento se hace en función de la clase de exposición correspondiente a la corrosión por carbonatación (XC).

(***) La Clase estructural de cada elemento se determina en la Tabla 29 de esta guía.

4.1.1.3 $\Delta C_{dur,\gamma}$

Para la determinación del incremento adicional de seguridad del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad se debe tener en cuenta la clase de exposición de cada elemento, definida en la Tabla 28 de esta guía.

De acuerdo con la Tabla AN/4 del Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1, a las clases de exposición de los elementos estudiados no corresponde ningún incremento adicional por motivos de durabilidad, es decir, $\Delta C_{dur,\gamma}=0$.

4.1.1.4 $\Delta C_{dur,st}$ y $\Delta C_{dur,add}$

En este ejemplo práctico no se emplean ni armaduras de acero inoxidable ni sistemas de protección adicionales, por lo que tanto $\Delta C_{dur,st}$ como $\Delta C_{dur,add}$ se toman iguales a cero.

4.1.1.5 C_{min}

Teniendo en cuenta la expresión (2) de esta guía (conforme a la expresión (4.2) del apartado 4.4.1.2 de UNE-EN 1992-1-1) y los apartados anteriores, tenemos:

Tabla 31 Determinación de $C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} + \Delta C_{dur,st} + \Delta C_{dur,add}$

Elemento	Clase de exposición	$C_{min,dur}$ [mm]	$\Delta C_{dur,\gamma}$ [mm]	$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma}$ [mm]	$\Delta C_{dur,st}$ y $\Delta C_{dur,add}$ [mm]	$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} + \Delta C_{dur,st} + \Delta C_{dur,add}$ [mm]
Puntales prefabricados	XC4	25	0	25	0	35
	XD3+XF2 (*)	35	0	35	0	
Tablero	XC4	25	0	25	0	35
	XD3+XF4 (*)	35	0	35	0	
Cabeza de pilas	XC4	25	0	25	0	35
	XD3+XF2 (*)	35	0	35	0	
Alzado de pilas	XC4	25	0	25	0	35
	XD3+XF2 (*)	35	0	35	0	
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	XC2 (**)	20	0	20	0	20
Alzado estribos	XC4	30	0	30	0	30
	XD3+XF2 (*)	35	-5	30	0	
	XC2 (+XA1) (**)	25	0	25	0	
Encepados de pilas	XC2 (**)	25	0	25	0	25
Zapatas de pilas y estribos	XC2 (**)	25	0	25	0	25
Pilotes	XC2 (**)	25	0	25	0	25

(*) Las clases XF2 y XF4 se estudian como clase XD, de acuerdo con la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2 (véase el apartado 2.1.2.2 de esta guía).

(**) El Eurocódigo 2 no define recubrimientos específicos para la clase de exposición XA, por lo que la definición de los recubrimientos de este elemento se hace en función de la clase de exposición correspondiente a la corrosión por carbonatación (XC).

Tabla 32 Determinación de C_{min}

Elemento	Clase de exposición	$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} + \Delta C_{dur,st} + \Delta C_{dur,add}$ [mm]	$C_{min,b}$ [mm]	C_{min} [mm]					
Puntales prefabricados	XC4	35	25	35					
	XD3+XF2 (*)								
Tablero	XC4	35		25	35				
	XD3+XF4 (*)								
Cabeza de pilas	XC4	35			25	35			
	XD3+XF2 (*)								
Alzado de pilas	XC4	35				25	35		
	XD3+XF2 (*)								
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	XC2 (**)	20					25	25	
Alzado estribos	XC4	30						25	30
	XD3+XF2 (*)								
	XC2 (+XA1) (**)								
Encepados de pilas	XC2 (**)	25							25
Zapatillas de pilas y estribos	XC2 (**)	25	25						
Pilotes	XC2 (**)	25	25						

(*) Las clases XF2 y XF4 se estudian como clase XD, de acuerdo con la cláusula 4.2(106) de UNE-EN 1992-2 (véase el apartado 2.1.2.2 de esta guía).

(**) El Eurocódigo 2 no define recubrimientos específicos para la clase de exposición XA, por lo que la definición de los recubrimientos de este elemento se hace en función de la clase de exposición correspondiente a la corrosión por carbonatación (XC).

4.1.2 Determinación de ΔC_{dev}

Para la determinación del margen de recubrimiento por desviaciones se debe tener en cuenta, tal como se indica en la Tabla 28 de esta guía, que el control de ejecución previsto es intenso.

De acuerdo con el apartado 4.4.1.3 de UNE-EN 1992-1-1 y su Anejo nacional (véase el apartado 2.2 de esta guía), en este ejemplo práctico se toma ΔC_{dev} igual a 5 milímetros para elementos hormigonados *in situ* e igual a 0 milímetros para elementos pre-fabricados.

4.1.3 Determinación de c_{nom}

Teniendo en cuenta la expresión (1) y los apartados 4.1.1.5 y 4.1.2 de esta guía, en la tabla a continuación se recogen los valores del recubrimiento nominal determinados según la UNE-EN 1992-1-1 para cada elemento estructural analizado en este ejemplo práctico.

Se destaca que, en el caso particular de los elementos hormigonados contra el terreno (pilotes) y de acuerdo con la cláusula 4.4.1.3(4) del Anejo nacional de UNE-EN-1992-1-1, el recubrimiento nominal mínimo se toma igual a 75 milímetros.

Tabla 33 Determinación de c_{nom}

Elemento	Clase de resistencia a compresión	Clase de exposición	c_{min} [mm]	Δc_{dev} [mm]	c_{nom} min [mm]	c_{nom} [mm]
Puntales prefabricados	C50/60	XC4+XD3+XF2	35	0	-	35
Tablero	C50/60	XC4+XD3+XF4	35	5	-	40
Cabeza de pilas	C50/60	XC4+XD3+XF2	35	5	-	40
Alzado de pilas	C40/50	XC4+XD3+XF2	35	5	-	40
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	C40/50	XC2+XA1	25	5	-	30
Alzado estribos	C30/37	XC4+XD3+XF2+XA1	30	5	-	35
Encepados de pilas	C35/45	XC2+XA1	25	5	-	30
Zapatas de pilas y estribos	C30/37	XC2+XA1	25	5	-	30
Pilotes	C30/37	XC2+XA1	25	5	75	75

4.2 Determinación de recubrimientos según el Código Estructural

En este apartado se determinarán los valores de recubrimientos nominales de los elementos presentados al inicio del apartado 4 de esta guía, de acuerdo con el Código Estructural (véase el apartado 3 de esta guía).

4.2.1 Determinación de c_{min}

Tal como se ha indicado en el apartado 3.1 de esta guía, para la obtención de c_{min} es necesaria la determinación de los parámetros:

- Recubrimiento mínimo por adherencia, $c_{min,b}$.
- Recubrimiento mínimo por durabilidad, $c_{min,dur}$.
- Reducción del recubrimiento por empleo de armaduras con acero inoxidable, $\Delta c_{dur,st}$.
- Reducción del recubrimiento por empleo de medidas especiales de protección.

4.2.1.1 $c_{min,b}$

Para la determinación del recubrimiento mínimo que garantiza la adherencia de las barras, $c_{min,b}$, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- El armado de los elementos analizados está constituido por barras aisladas.
- De acuerdo con la Tabla 28, el diámetro máximo del árido es de 20 milímetros.
- A efectos de este ejemplo práctico, se considera que el diámetro máximo de las barras empleadas es de 25 milímetros.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho y de acuerdo con el apartado 3.1.1 de esta guía y la Tabla A19.4.2 del Código Estructural, en este ejemplo práctico se toma $c_{min,b}$ igual a 25 milímetros.

El valor del recubrimiento mínimo determinado en este apartado corresponde al recubrimiento mínimo para las armaduras pasivas. En el caso de las armaduras activas, estas deben cumplir con los requisitos de distancias indicados en el Código Estructural (véase el apartado 3.1.1 de esta guía).

4.2.1.2 $c_{min,dur}$

Para la determinación del recubrimiento mínimo por durabilidad según el Código Estructural (véanse los apartados 3.1.2 a 3.1.5 de esta guía), se ha tenido en cuenta:

- La vida útil de la estructura de 100 años, tal como se indica en la Tabla 28.
- La clase de resistencia de cada elemento indicada en la Tabla 28.
- La clase de exposición de cada elemento indicada en la Tabla 28.

Teniendo esto en cuenta y considerando los artículos 44.2, 44.3, 44.4 y 44.5 del Código Estructural, se obtienen los siguientes valores de recubrimiento mínimo por durabilidad:

Tabla 34 Determinación del recubrimiento mínimo por durabilidad según el Código Estructural

Elemento	Clase de resistencia a compresión	Clase de exposición	Tipo de cemento	$C_{min,dur}$ [mm]	$C_{min,dur}$ [mm]
Puntales prefabricados	C50/60	XC4	CEM II/A-D	30	40
		XD3/XF2		40/35	
Tablero	C50/60	XC4		30	45
		XD3/XF4		45/35	
Cabeza de pilas	C50/60	XC4		30	40
		XD3/XF2		40/35	
Alzado de pilas	C40/50	XC4		30	40
		XD3/XF2		40/35	
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	C40/50	XC2		25	55
		XA1		55	
Alzado estribos	C30/37	XC4		35	55
		XD3/XF2		40/50	
		XA1		55	
Encepados de pilas	C35/45	XC2		30	55
		XA1		55	
Zapatatas de pilas y estribos	C30/37	XC2		30	55
		XA1	55		
Pilotes	C30/37	XC2	30	55	
		XA1	55		

4.2.1.3 Reducciones del recubrimiento mínimo por empleo de armaduras de acero inoxidable o empleo de medidas especiales de protección

En este ejemplo práctico no se emplean ni armaduras de acero inoxidable ni medidas especiales de protección, por lo que no se reducen los valores del recubrimiento mínimo.

4.2.1.4 C_{min}

Teniendo en cuenta lo indicado en los apartados anteriores, tenemos:

Figura 35 Determinación del recubrimiento mínimo, C_{min} , según el Código Estructural

Elemento	$C_{min,b}$ [mm]	$C_{min,dur}$ [mm]	Reducciones de recubrimiento por empleo de armaduras con acero inoxidable o medidas especiales de protección [mm]	Valor mínimo de C_{min} [mm]	C_{min} [mm]
Puntales prefabricados	25	40	0	-	40
Tablero		45	0	-	45
Cabeza de pilas		40	0	-	40
Alzado de pilas		40	0	-	40
Alzado de pilas en contacto con terreno natural		55	0	-	55
Alzado estribos		55	0	-	55
Encepados de pilas		55	0	-	55
Zapatas de pilas y estribos		55	0	-	55
Pilotes		55	0	70 (*)	70

(*) elemento hormigonado contra el terreno. Véase el apartado 3.1.8 de esta guía.

Se destaca que, en el caso particular de los elementos hormigonados contra el terreno (pilotes) y de acuerdo con el artículo 44.2.1.1 del Código Estructural, el recubrimiento mínimo se toma igual a 70 milímetros.

4.2.2 Determinación de Δc_{dev}

Para la determinación del margen de recubrimiento por desviaciones se debe tener en cuenta, tal como se indica en la Tabla 28 de esta guía, que el control de ejecución previsto es intenso.

De acuerdo con Tabla 43.4.1 (artículo 43.4) del Código Estructural (véase el apartado 3.2 de esta guía), en este ejemplo práctico se toma Δc_{dev} igual a 5 milímetros para elementos hormigonados *in situ* e igual a 0 milímetros para elementos prefabricados.

4.2.3 Determinación de c_{nom}

Teniendo en cuenta la expresión (3) y los apartados 4.2.1.4 y 4.2.2 de esta guía, en la tabla a continuación se recogen los valores del recubrimiento nominal determinado de acuerdo con el Código Estructural para cada elemento estructural analizado en este ejemplo práctico.

Tabla 36 Determinación de c_{nom} según el Código Estructural

Elemento	Clase de resistencia a compresión	Clase de exposición	c_{min} [mm]	Δc_{dev} [mm]	c_{nom} min [mm]	c_{nom} [mm]
Puntales prefabricados	C50/60	XC4+XD3+XF2	40	0	-	40
Tablero	C50/60	XC4+XD3+XF4	45	5	-	50
Cabeza de pilas	C50/60	XC4+XD3+XF2	40	5	-	45
Alzado de pilas	C40/50	XC4+XD3+XF2	40	5	-	45
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	C40/50	XC2+XA1	55	5	-	60
Alzado estribos	C30/37	XC4+XD3+XF2+XA1	55	5	-	60
Encepados de pilas	C35/45	XC2+XA1	55	5	-	60
Zapatas de pilas y estribos	C30/37	XC2+XA1	55	5	-	60
Pilotes	C30/37	XC2+XA1	70	5	-	75

4.3 Comparación y análisis de los resultados obtenidos

En los apartados 4.1 y 4.2 se han determinado los recubrimientos nominales de varios elementos de hormigón de acuerdo con los Eurocódigos (UNE-EN 1992-1-1) y de acuerdo con el Código Estructural. Tal como se ha indicado en los apartados 3.1.1 y 3.2 de esta guía, los valores del margen de recubrimiento por desviaciones (Δc_{dev}) y del recubrimiento mínimo por adherencia ($c_{min,b}$) adoptados por ambas normas coinciden, por lo que las diferencias que se puedan observar no resultan de la definición de estos parámetros, sino de la definición del recubrimiento mínimo por durabilidad.

A continuación, se incluye una comparación entre los recubrimientos mínimos por durabilidad y los recubrimientos nominales obtenidos con cada una de las normas. En el caso de los valores de recubrimiento nominal, se somborean en rojo los valores más conservadores y en verde los casos en los que los recubrimientos obtenidos mediante las dos normas coinciden.

Como se puede observar, las mayores diferencias entre los valores de los recubrimientos nominales se detectan en los elementos con clase de exposición XA1 (ataque químico), una vez que el Código Estructural contempla valores de recubrimiento mínimo particulares (y más elevados) para las clases de exposición XA, al contrario de UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 1992-2, que solamente definen recubrimientos mínimos por durabilidad para las clases X0, XC, XS, XD, XF2 y XF4. De acuerdo con las conclusiones obtenidas en el apartado 3.1.2.2 de esta guía, también se detectan diferencias (de hasta 10 milímetros) en los recubrimientos de los elementos con clase de exposición XC4+XD3+XF2 y XC4+XD3+XF4, siendo los valores obtenidos mediante el Código Estructural los más conservadores.

Tabla 37 Comparación entre valores de recubrimiento mínimo por durabilidad y valores de recubrimiento nominal determinados de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 y Código Estructural

Elemento	Clase de resistencia a compresión	Clase de exposición	$C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma}$ [mm]	$C_{min,dur}$ [mm]	C_{nom} [mm]	
			UNE-EN 1992-1-1	Código Estructural	UNE-EN 1992-1-1	Código Estructural
Puntales prefabricados	C50/60	XC4+XD3+XF2	35	40	35	40
Tablero	C50/60	XC4+XD3+XF4	35	45	40	50
Cabeza de pilas	C50/60	XC4+XD3+XF2	35	40	40	45
Alzado de pilas	C40/50	XC4+XD3+XF2	35	40	40	45
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	C40/50	XC2+XA1	20	55	30	60
Alzado estribos	C30/37	XC4+XD3+XF2+XA1	30	55	35	60
Encepados de pilas	C35/45	XC2+XA1	25	55	30	60
Zapatas de pilas y estribos	C30/37	XC2+XA1	25	55	30	60
Pilotes	C30/37	XC2+XA1	25	55	75	75

Por último, en ambas normas se define un valor mínimo para el recubrimiento de los elementos hormigonados contra el terreno, como es el caso de los pilotes. La norma UNE-EN 1992-1-1 indica que el recubrimiento nominal de estos elementos debería ser de, al menos, 75 milímetros. Por otro lado, el Código Estructural indica que el recubrimiento mínimo de dichos elementos debe ser 70 milímetros, a los que habría que sumar el margen de recubrimiento en función del nivel de control para elementos hormigonados *in situ*, que, con control intenso de ejecución, es de 5 milímetros, obteniéndose un recubrimiento nominal de 75 milímetros, valor que coincide con el criterio recomendado por la UNE-EN 1992-1-1.



5

CONCLUSIONES

La *Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón* se ha desarrollado con el objetivo de facilitar la aplicación del Eurocódigo 2 a la hora de determinar los valores de los recubrimientos de elementos de hormigón y estudiar la compatibilidad entre los criterios definidos por los Eurocódigos y los criterios definidos por el Código Estructural. A lo largo del apartado 3 de esta guía se han comparado los criterios adoptados por las dos normas, se han destacado las diferencias y equivalencias de ambas formulaciones y se han analizado los resultados obtenidos.

La aplicación de formulaciones análogas por ambas normas para la determinación de los recubrimientos nominales ha permitido realizar una comparación prácticamente paralela entre las mismas. Tras dicha comparación, se ha verificado que existen ciertas diferencias entre los valores de recubrimientos obtenidos mediante las dos normas. No obstante, Código Estructural y UNE-EN 1992-1-1 coinciden a la hora de definir los valores del recubrimiento mínimo por adherencia ($c_{min,b}$) y los valores del margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución (Δc_{dev}), no estando, por tanto, en estos parámetros, las diferencias que puedan existir a nivel de los valores de recubrimientos nominales.

La mayoría de las diferencias detectadas entre los valores de recubrimiento determinados mediante cada una de las normas tienen su origen en la determinación del recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad, $c_{min,dur}$. Tras el análisis realizado se ha verificado que:

- Cuando existen, las diferencias en la definición de los recubrimientos mínimos de las clases de exposición XO y XC no sobrepasan los 5 milímetros, siendo en estos casos los valores definidos por el Código Estructural los más conservadores. Para estas clases de exposición, en general, los recubrimientos definidos por ambas normas coinciden.
- En el caso de las clases de exposición XD, la comparación se ha limitado a la clase XD1. En este caso, la mayoría de las diferencias detectadas son de 10 milímetros, pero pueden llegar a ser, en algunos casos, de 15 milímetros.

- Para las clases de exposición XS, en general, los recubrimientos definidos por ambas normas coinciden. Cuando se detectan diferencias, estas no sobrepasan los 5 milímetros.

También para las clases de exposición XD y XS, son más conservadores los recubrimientos determinados según el Código Estructural.

- Se ha verificado que para las clases de exposición XF2 y XF4 no hay coincidencia entre los valores de recubrimiento definidos por el Código Estructural y por UNE-EN 1992-1-1. En la mayoría de los casos, los recubrimientos difieren en 10 milímetros; no obstante, en algunos casos, la diferencia puede ser superior a 15 milímetros. Los valores definidos por el Código Estructural son conservadores frente a los definidos por UNE-EN 1992-1-1. Puesto que UNE-EN-1992-1-1 no define valores particulares de recubrimiento para las clases de exposición XF1 y XF3, en este caso no se ha realizado una comparación entre esta norma y el Código Estructural.
- Por último, en el caso de elementos con clase de exposición XA (ataque químico), no se ha podido realizar una comparación directa entre las dos normas, puesto que la UNE-EN 1992-1-1 no define valores de recubrimiento particulares para esta clase de exposición, al contrario del Código Estructural. Con el ejemplo práctico incluido en el apartado 4, se ha verificado que para esta clase de exposición las diferencias obtenidas pueden llegar a ser de 30 milímetros.

En el caso de la reducción de los valores de recubrimiento mínimo por empleo de armaduras de acero inoxidable, aditivos inhibidores de la corrosión o armaduras galvanizadas, no se ha podido realizar una comparación directa entre las dos normas por falta de definición de valores concretos por parte del Código Estructural (se define un límite para la reducción, pero no un valor concreto). En el caso de empleo de sistemas de protección catódica, la comparación directa entre las normas ha detectado que los valores de reducción son dispares, en pocos casos se verifica una coincidencia entre los valores de reducción definidos por cada una de ellas y, en general, el Anejo nacional de UNE-EN 1992-1-1 adopta reducciones inferiores (más conservadoras) a las permitidas por el Código Estructural.

Actualmente, y de acuerdo con la Orden Circular 1/2019 de 25 de marzo de 2019 sobre aplicación de los Eurocódigos a los proyectos de carreteras, el proyecto de los puentes de la Red de Carreteras del Estado debe realizarse cumpliendo las especificaciones contenidas en los Eurocódigos Estructurales. Asimismo, el Código Estructural, de obligado cumplimiento de acuerdo con el Real Decreto 470/2021 de 29 de junio de 2021 que, además, deroga la EHE-08 (y la EAE-11), reconoce en su disposición adicional segunda que "...se podrán adoptar soluciones técnicas de acuerdo a los procedimientos que contemplen los Eurocódigos estructurales, constituidos por las normas de la serie EN 1990 a 1999 que se refieran al ámbito de este Código y en la versión en vigor en el momento de aprobación de este Código, cuya aplicación puede considerarse un medio para demostrar el cumplimiento de las exigencias establecidas en el Código Estructural, respetando en cualquier caso su ámbito de aplicación. Cuando se publiquen actualizaciones de dichos Eurocódigos, podrán utilizarse una vez que sus correspondientes anejos nacionales estén publicados en la página web del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana." A su vez, la disposición adicional segunda del Código Estructural establece que "Además, se cumplirán las prescripciones recogidas en

este Código relativas a los materiales, la durabilidad, la ejecución, el control de calidad y el mantenimiento de la estructura".

Dada la existencia de ciertas diferencias entre los valores de los recubrimientos obtenidos mediante el Eurocódigo 2 (UNE-EN 1992-1-1 y UNE-EN 1992-2) y el Código Estructural, sabiendo que, en general, los valores de los recubrimientos obtenidos de acuerdo con el Código Estructural son superiores a los obtenidos de acuerdo con UNE-EN 1992-1-1 (comparativa que se ha desarrollado en esta guía) y estando la formulación para la definición de los recubrimientos recogida en el capítulo 9 (Durabilidad) del Código Estructural, de obligado cumplimiento de acuerdo con la disposición adicional segunda del mismo, los recubrimientos de los elementos de hormigón en proyectos de puentes de carretera se deberán determinar de acuerdo con el capítulo 9 del Código Estructural.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL
TÉCNICA

CENTRO
DE PUBLICACIONES