

Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón

Designer's guide to definition of concrete cover

Pilar Crespo^a, Miguel Ortega^b, Maria João Freitas^c, Álvaro Serrano^d

^a ICCP del Estado. Dirección General de Carreteras. MITMS. Jefe del Área de Estructuras. pccrespo@transportes.gob.es

^b Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. TYLin. Director General. miguel.ortega@tylin.com

^c Máster en Ingeniería Civil. TYLin. Jefe de Proyectos. mariajoao.freitas@tylin.com

^d Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Director Técnico. alvaro.serrano@mc2.es

RESUMEN

La necesidad de resolver la compatibilidad entre los Eurocódigos y el Código Estructural, de obligado cumplimiento en España en lo relativo a materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento, ha motivado la redacción de esta guía, de aplicación a las estructuras de la Red de Carreteras del Estado, en la que se recogen los criterios que aseguran el cumplimiento de ambos códigos a la hora de determinar los valores del recubrimiento en elementos de hormigón, esencial para la protección de la armadura activa y pasiva frente a agentes externos.

ABSTRACT

The need to ensure the compatibility between Eurocodes and *Código Estructural*, a Spanish standard of mandatory compliance regarding materials, durability, execution, quality control and maintenance, has motivated the drafting of this guide, applicable to the structures of *Red de Carreteras del Estado* (Spanish highway administration), which includes the criteria that ensure compliance with both codes when determining the values of concrete cover, essential for the protection of reinforcement against external agents.

PALABRAS CLAVE: Eurocódigos, Código Estructural, hormigón, recubrimiento.

KEYWORDS: Eurocodes, concrete, concrete cover.

1. Introducción y antecedentes

Desde la entrada en vigor de la Orden Circular 1/2019 [1], las estructuras de la Red de Carreteras del Estado deben proyectarse con los Eurocódigos. A su vez, el Real Decreto 470/2021 de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural [2], establece 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”.

En lo relativo a la determinación de los valores de recubrimiento de elementos de hormigón, por un lado, la normativa europea incluye una formulación en el Eurocódigo 2 y, a su vez, el Código Estructural [2] define también una formulación en su Capítulo 9, Durabilidad de las estructuras de hormigón, y en sus anejos 19 y 21.

La redacción de la *Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón* [3] (Figura 1) ha sido motivada por la necesidad de estudiar la compatibilidad y clarificar las diferencias entre los criterios y valores de recubrimientos definidos por ambas normas y definir un criterio único a aplicar en los proyectos de las estructuras de la Red de Carreteras del Estado.

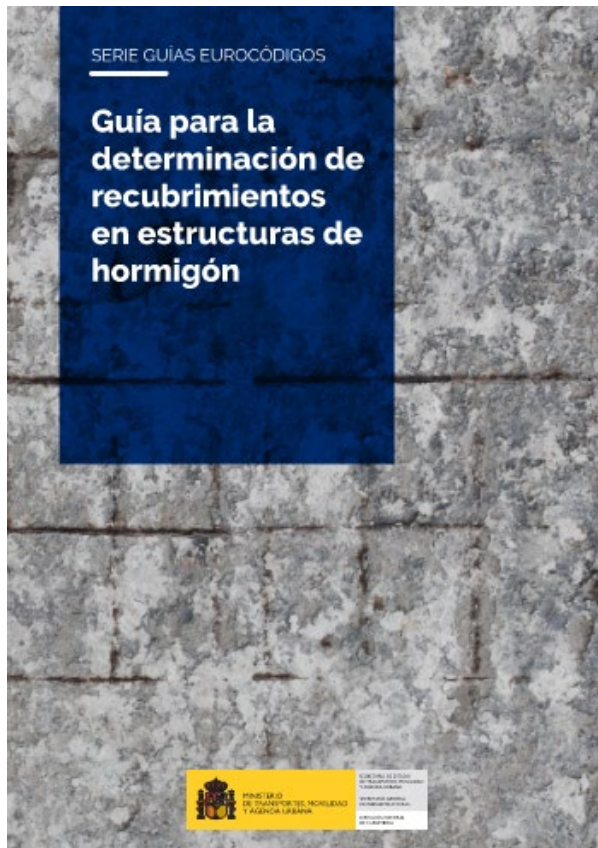


Figura 1. Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón [3]

En este artículo se presenta el contenido de la guía, documento que es parte de la serie *Guías Eurocódigos*, cuyo 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.

2. Contenido de la *Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón*

En la *Guía para la determinación de recubrimientos en*

estructuras de hormigón [3] se expone, por un lado, la formulación para la determinación de los recubrimientos nominales de elementos de hormigón recogida en el Eurocódigo 2 (en particular, en la parte 1-1, Reglas generales y reglas para edificación y en la parte 2, Puentes de hormigón (UNE-EN 1992-1-1 [4] y UNE-EN 1992-2 [5], respectivamente)) y por otro lado la formulación recogida en el Capítulo 9 y anejos 19 y 21 del Código Estructural [2] realizándose, a la vez, una comparación detallada entre ellas. 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 los últimos capítulos se recoge un ejemplo práctico en el que se determinan los valores de los recubrimientos nominales de un puente de hormigón en zona de vialidad invernal, para varios elementos con distintas resistencias y clases de exposición, mediante cada una de las normas referidas anteriormente, así como un resumen de las principales conclusiones obtenidas a lo largo de la guía.

3. Determinación de recubrimientos según el Eurocódigo 2

Los recubrimientos de los elementos de hormigón deben definirse según el apartado 4.4 de UNE-EN 1992-1-1 [4] y su Anejo Nacional y el Capítulo 4 de UNE-EN 1992-2 [5] 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} (expresión (1), conforme a la expresión (4.1) de UNE-EN 1992-1-1 [4]).

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

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

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.

3.1 Recubrimiento mínimo, $c_{\min}$

El recubrimiento mínimo, $c_{\min}$, debe ser tal que garantice la transmisión de las tensiones de adherencia, la protección del acero frente a la corrosión y la resistencia adecuada frente al fuego.

Para la determinación de $c_{\min}$ debe tenerse en cuenta la expresión (2), conforme a la expresión (4.2) del apartado 4.4.1.2 de UNE-EN 1992-1-1 [4], donde:

- $c_{\min,b}$ es el recubrimiento mínimo debido al requisito de adherencia (véase la cláusula 4.4.1.2(3) de UNE-EN 1992-1-1 [4]).
- $c_{\min,dur}$ es el recubrimiento mínimo debido a las condiciones ambientales (véase la cláusula 4.4.1.2(5) de UNE-EN 1992-1-1 [4]).
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ es el término de seguridad adicional (véase la cláusula 4.4.1.2(6) de UNE-EN 1992-1-1 [4]).
- $\Delta c_{dur,st}$ es la reducción del recubrimiento mínimo por el uso de acero inoxidable (véase la cláusula 4.4.1.2(7) de

UNE-EN 1992-1-1 [4]).

- $\Delta c_{dur,add}$ la reducción del recubrimiento mínimo por el uso de protección adicional (véase la cláusula 4.4.1.2(8) de UNE-EN 1992-1-1 [4]).

El valor del recubrimiento mínimo depende, además de la clase de exposición, 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. En el Capítulo 2 de la guía se puede encontrar una definición detallada de los valores correspondientes a cada uno de los parámetros de la expresión (2).

3.1.1 Incremento del recubrimiento mínimo por abrasión

Según la cláusula 4.4.1.2(13) de UNE-EN 1992-1-1 [4] se podrá permitir la abrasión del hormigón mediante el incremento del recubrimiento mínimo. Dicho incremento es función de la clase de abrasión del elemento y debería cumplir con los valores mínimos indicados en el Anejo Nacional de UNE-EN 1992-1-1 [4] (Tabla 1).

Tabla 1. Incremento del recubrimiento por abrasión según el Anejo Nacional de UNE EN 1992-1-1 [4]

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

3.2 Margen de recubrimiento por desviaciones, Δc_{dev}

El valor de Δc_{dev} a adoptar, según el Anejo Nacional de UNE-EN 1992-1-1 [4] (cláusula 4.4.1.3(1)), es de 10 milímetros.

También según el Anejo Nacional de UNE-EN 1992-1-1 [4], cláusula 4.4.1.3(3):

- 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 el 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 [2].

4. Determinación de recubrimientos según el Código Estructural y comparación con la formulación de UNE-EN 1992-1-1

El Código Estructural [2] 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).

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

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 de la expresión (3), donde c_{min} corresponde al recubrimiento mínimo y Δc_{dev} se designa como margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución.

4.1 Recubrimiento mínimo, c_{min}

El recubrimiento mínimo, c_{min} , se determina según lo indicado en los artículos 44.2, 44.3, 44.4 y 44.5 además de lo recogido en el apartado 4.4.1 del Anejo 19 del Código Estructural [2].

Si bien el Código Estructural [2] no define una expresión para la definición del recubrimiento mínimo, los criterios para su determinación son análogos a los definidos por el Eurocódigo 2. Tal como en la formulación del Eurocódigo 2, los recubrimientos mínimos definidos por el Código Estructural [2] dependen de la resistencia del hormigón, tipo de cemento y vida útil de la estructura. No obstante, los valores obtenidos por las dos normas no siempre coinciden.

Adicionalmente, y de acuerdo con la cláusula 4.4.1.3 (4) del Anejo 19 y el artículo 44.2.1.1, el Código Estructural [2] indica que para hormigón vertido sobre hormigón de limpieza el recubrimiento mínimo no debe ser inferior a 0 milímetros y 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; 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. UNE-EN 1992-1-1 [4] también 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 del recubrimiento nominal.

4.1.1 Recubrimiento mínimo por adherencia

En primer lugar, se deberá cumplir un

recubrimiento mínimo que asegure la adecuada transmisión de los esfuerzos de adherencia, $c_{min,b}$, según los criterios recogidos en la cláusula 4.4.1.2(3) del Anejo 19 del Código Estructural [2]. Este recubrimiento mínimo es análogo al definido en la cláusula 4.4.1.2(3) de UNE-EN 1992-1-1 [4]. Además, los criterios para determinar $c_{min,b}$ coinciden en ambas normas tanto para armaduras pasivas como activas.

4.1.2 Recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad

Por otro lado, se deberá cumplir un recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, $c_{min,dur}$, función de la clase de exposición; este recubrimiento mínimo es análogo a la suma entre el recubrimiento mínimo por durabilidad definido en la cláusula 4.4.1.2(5) de UNE-EN 1992-1-1 [4] y el término de seguridad adicional, $\Delta c_{dur,\gamma}$, definido en la cláusula 4.4.1.2(6) de la misma norma.

Tal como en el Eurocódigo 2, este recubrimiento puede ser modificado para tener en cuenta el empleo de acero inoxidable o la adopción de medidas especiales de protección; estas modificaciones son análogas a las definidas en las cláusulas 4.4.1.2(7) y (8) de UNE-EN 1992-1-1 [4].

A pesar de la formulación análoga, los valores del recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad no coinciden en las dos normas. A continuación, se incluye un resumen de las diferencias encontradas; en el Capítulo 3 de la guía se puede encontrar una comparación detallada.

Comparación de los valores del recubrimiento mínimo por durabilidad para las clases de exposición X0 y XC (corrosión por carbonatación)

Para las clases de exposición X0 y XC, en general, los valores del recubrimiento mínimo por durabilidad coinciden en las dos normas. Cuando hay diferencias, estas no sobrepasan los

5 milímetros, siendo, en general, los valores definidos por el Código Estructural los más conservadores.

Comparación de los valores del recubrimiento mínimo por durabilidad para las clases de exposición XS y XD (corrosión por cloruros)

Para las clases de exposición XS1 y XS2 se verifica que, en la mayoría de los casos, Código Estructural [2] y UNE-EN 1992-1-1 [4] coinciden en los recubrimientos definidos; cuando se detectan diferencias, estas no sobrepasan los 5 milímetros, siendo los valores definidos por el Código Estructural [2] los más conservadores. En el caso de la clase de exposición XD1 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 [2] los más conservadores.

No se ha podido realizar una comparación para las clases de exposición XS3, XD2 y XD3 puesto que UNE-EN 1992-1-1 [4] indica que, para estos casos, se debe realizar un estudio específico de comprobación del Estado Límite de Durabilidad.

Comparación de los valores del recubrimiento mínimo por durabilidad para las clases de exposición XF (ataque al hormigón por ciclos de hielo/deshielo)

Se han comparado los valores de los recubrimientos obtenidos mediante las dos normas teniendo en cuenta que:

- UNE-EN 1992-2 [5] 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 [4] para las clases de exposición XD (las tablas 4.4N y 4.5N son parámetro de determinación nacional, por lo que las tablas a consultar, en este caso, serían las tablas

AN/2 y AN/3 del Anejo Nacional de UNE-EN 1992-1-1 [4]).

- Según lo indicado en el Código Estructural [2], 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.

Relativamente a las clases de exposición XF2 y XF4, tanto para elementos de hormigón armado como para elementos de hormigón pretensado, la definición de los recubrimientos según el Código Estructural [2] resulta, en general, en valores superiores a los definidos por las normas UNE-EN 1992-1-1 [4] y UNE-EN 1992-2 [5]. 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.

La norma UNE-EN 1992-1-1 [4] no recoge criterios adicionales para la definición del recubrimiento mínimo de las clases de exposición XF1 y XF3, por lo que no se ha podido realizar una comparación para este caso.

Comparación de los valores del recubrimiento mínimo por durabilidad para las clases de exposición XA (ataque químico)

La norma UNE-EN 1992-1-1 [4] no recoge criterios adicionales para la definición del recubrimiento mínimo de las clases de exposición XA, por lo que no se ha podido realizar una comparación de los recubrimientos para estos casos. En el Capítulo 5 de este artículo se incluye la comparación para un caso particular.

4.1.3 Reducción del 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 [2], si se emplean armaduras de acero inoxidable o se toman otras medidas especiales, se puede proceder a una reducción de los valores de recubrimiento

mínimo, de acuerdo con lo definido en el artículo 43.3 de la misma norma. 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 por motivos de durabilidad, pero nunca inferiores a 30 milímetros.

La norma UNE-EN 1992-1-1 [4] 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 [2] no define valores concretos para esa reducción.

4.1.4 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 [2], si se usan medidas especiales de protección, se pueden reducir los valores del recubrimiento mínimo según los criterios siguientes:

- 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 se podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados por motivos de durabilidad, reducidos en no más de 10 milímetros.
- Cuando el proyecto prescriba el uso de sistemas de protección catódica, se podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases XS y XD iguales a los indicados para una clase XC4.

Como se ha indicado anteriormente en el apartado 3.1 de este artículo, la norma UNE-EN 1992-1-1 [4] 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 [4] no depende del tipo de protección empleada, al contrario de lo indicado en el Código Estructural [2]. 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 [2] no define valores para esta reducción. No obstante, se destaca que, en estos casos, el Código Estructural [2] no permite una reducción del recubrimiento de más de 10 milímetros, pero el Anejo Nacional de la norma UNE-EN 1992-1-1 [4], en su Tabla AN/6, permite una reducción de hasta 25 milímetros para elementos con clase estructural XD1 y XS1.

Para los casos en los que se emplean sistemas de protección catódica se ha verificado que son pocos los casos en los que se obtienen valores de reducción iguales para una misma clase de exposición en las dos normas. En general, la aplicación del Anejo Nacional de la norma UNE-EN 1992-1-1 [4] implica reducciones menores de los recubrimientos (criterio más conservador que el adoptado por el Código Estructural [2]).

4.1.5 Sobre-espesor del recubrimiento mínimo para las clases de exposición XM (abrasión)

En su artículo 44.5, el Código Estructural [2] 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, se emplean los recubrimientos mínimos mecánicos o de durabilidad y a estos se les añade un sobre-espesor de acuerdo con su tabla 44.5 (Tabla 2).

La norma UNE-EN 1992-1-1 adopta un criterio análogo y define los mismos valores de sobre-espesor para las clases XM.

Tabla 2. Sobre-espesor del recubrimiento mínimo para las clases de exposición XM (Tabla 44.5 del Código Estructural [2])

Clase de exposición	Sobre-espesor del recubrimiento [mm]
XM1	5
XM2	10
XM3	15

4.2 Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución, Δc_{dev}

El valor de Δc_{dev} a adoptar, según el artículo 43.4 y la cláusula 4.4.1.3(3) del Anejo 19 del Código Estructural [2] es el indicado en la Tabla 3.

Tabla 3. Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución (Tabla 43.4.1 del Código Estructural [2])

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 in situ con nivel intenso de control de ejecución	5
Otros casos	10

Estos criterios coinciden con los de UNE-EN 1992-1-1 [4].

5. Ejemplo práctico

En el ejemplo práctico incluido en el Capítulo 4 de la guía se determina el recubrimiento mínimo y el recubrimiento nominal de las armaduras 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 el Eurocódigo 2 y, por otro lado, la formulación del Código Estructural [2]. En este artículo (Tabla 4) se incluye únicamente el resumen final en el que se recogen los valores del recubrimiento mínimo por durabilidad y del recubrimiento nominal para cada elemento, así como el análisis de los resultados obtenidos.

Tabla 4. Comparación entre valores de recubrimiento mínimo por durabilidad y recubrimiento nominal determinados según UNE-EN 1992-1-1 y Código Estructural

Elemento	Clase de resistencia a compresión	Clase de exposición	Recubrimiento mínimo por durabilidad		Recubrimiento nominal	
			UNE-EN 1992	Código Estructural	UNE-EN 1992	Código Estructural
			$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma}$ [mm]	$c_{min,dur}$ [mm]	c_{nom} [mm]	
Puntales prefabricados	C50/60	XC4+XD3+XF2	30	40	30	40
Tablero	C50/60	XC4+XD3+XF4	35	45	40	50
Cabeza de pilas	C50/60	XC4+XD3+XF2	30	40	35	45
Alzado de pilas	C40/50	XC4+XD3+XF2	30	40	35	45
Alzado de pilas en contacto con terreno natural	C40/50	XC2+XA1	25(*)	55	30	60
Alzado de 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
Nota *: el recubrimiento mínimo por durabilidad es 20 milímetros; los 25 milímetros indicados corresponden al valor mínimo del recubrimiento mínimo para cumplir el criterio de adherencia, $c_{min,b}$						

En la guía se puede encontrar el análisis completo y detallado de todos los elementos de la estructura analizada.

Se recuerda al lector que el recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, $c_{min,dur}$, del Código Estructural [2] es equivalente a la suma entre el recubrimiento mínimo por durabilidad definido en la cláusula 4.4.1.2(5) de UNE-EN 1992-1-1 [4] y el término de seguridad adicional, $\Delta c_{dur,\gamma}$, definido en la cláusula 4.4.1.2(6) de la misma norma (véanse las columnas 4 y 5 de la Tabla 4).

En este ejemplo no se ha considerado el empleo de acero inoxidable ni la adopción de medidas especiales de protección.

Tal como se ha indicado en el Capítulo 4 de este artículo, 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 observadas en los valores de

recubrimiento nominal no resultan de la definición de estos parámetros, sino de la definición del recubrimiento mínimo por durabilidad.

Como se puede observar en la Tabla 4, 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 [2] contempla valores de recubrimiento mínimo particulares para las clases de exposición XA, al contrario de UNE-EN 1992-1-1 [4] y UNE-EN 1992-2 [5], que solamente definen recubrimientos mínimos por durabilidad para las clases X0, XC, XS, XD, XF2 y XF4. En línea con las conclusiones recogidas en el Capítulo 4 de este artículo, también se detectan diferencias (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 [2] los más conservadores.

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 [4] indica que el recubrimiento nominal de estos elementos debería ser de, al menos, 75 milímetros. Por otro lado, el Código Estructural [2] 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 UNE-EN 1992-1-1 [4].

6. Conclusiones

Como se ha indicado a lo largo de este artículo, se han detectado ciertas diferencias entre los valores de recubrimientos obtenidos mediante las dos normas analizadas. Código Estructural [2] y Eurocódigo 2 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 existentes entre los valores de recubrimiento nominal determinados mediante cada una de las normas tienen su origen en la determinación del recubrimiento mínimo por criterios de durabilidad.

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” [1], el proyecto de las estructuras de la Red de Carreteras del Estado debe realizarse cumpliendo las especificaciones contenidas en los Eurocódigos Estructurales. Asimismo, el

Código Estructural [2], de obligado cumplimiento según el Real Decreto 470/2021 de 29 de junio de 2021, 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 [2] 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 y el Código Estructural [2], sabiendo que, en general, los valores de los recubrimientos obtenidos de según el Código Estructural [2] son, en algunos casos, ligeramente superiores y estando la formulación del Código Estructural [2] para la definición de los recubrimientos recogida en su Capítulo 9 (Durabilidad de las estructuras de hormigón), de obligado cumplimiento según lo indicado en la disposición adicional segunda del mismo, los recubrimientos de los elementos de hormigón en los proyectos de las estructuras de la Red de Carreteras del Estado se deberán determinar según el Código Estructural.

Referencias

- [1] Orden circular 1/2019, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Enlace de descarga:
https://www.transportes.gob.es/recursos/mfom/comodin/recursos/2019-03-18_oc_aplicacion_eurocodigos_0.pdf
- [2] Código Estructural, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2021.
- [3] Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2023. Enlace de descarga:
[Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón. Serie Guías Eurocódigos - Centro de Publicaciones](#)
- [4] UNE-EN 1992-1-1, Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas generales y reglas para edificación, AENOR
- [5] UNE-EN 1992-2, Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón. Puentes de hormigón, AENOR