

Guía para las especificaciones técnicas del acero

Designer's guide to technical specifications for structural steel

Pilar Crespo Rodríguez^a, Álvaro Serrano Corral^b, Miguel Ortega Cornejo^c, María João Freitas^d, Guillermo Blanco Fernández^e

^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. MC2 Estudio de Ingeniería. Director Técnico. alvaro.serrano@mc2.es

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

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

^e Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de Proyectos. guillermo.blanco@mc2.es

RESUMEN

La necesidad de compatibilizar las normas europeas de producto, ejecución y control con 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 especificar el acero estructural. Una adecuada especificación de los materiales en el proyecto es fundamental para garantizar que éstos presentan las propiedades esperadas y satisfacen las exigencias de durabilidad para el uso previsto, en las condiciones ambientales indicadas.

ABSTRACT

The need to ensure the compatibility between the European product, execution and control standards with *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 ensures compliance with both codes when specifying structural steel. An adequate specification of the materials in the project is essential to guarantee that they present the properties expected and that the durability requirements are satisfied for the intended use, in the environmental conditions indicated.

PALABRAS CLAVE: Eurocódigos, Código Estructural, acero, especificación técnica.

KEYWORDS: Eurocodes, steel, technical specification.

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 y, por tanto, las especificaciones de los materiales deben efectuarse de acuerdo con estas normas. 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”.

La necesidad de resolver la compatibilidad entre las normas europeas de producto, ejecución y control citadas en los Eurocódigos, con el Código Estructural [2], de obligado

cumplimiento en España en lo relativo a materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento, ha motivado la redacción y publicación, por parte de la Dirección General de Carreteras, de la *Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural* [3] (Figura 1) en la que se recogen los criterios que aseguran el cumplimiento de ambos códigos a la hora de especificar el acero estructural.



Figura 1. Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural [3]

2. Contenido de la *Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural*

En la *Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural* [3] se definen los requisitos del acero estructural que permiten una adecuada especificación de este material. En primer lugar, se exponen los requisitos definidos por la normativa europea y, posteriormente, y con el objetivo de compatibilizar la especificación del acero estructural según los Eurocódigos con la

definida en el Código Estructural [2].

A modo de resumen y de forma compacta, en los últimos capítulos de la guía se incluye la información necesaria para la definición de un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural y se concreta con un ejemplo ficticio de una estructura.

3. La especificación técnica del acero estructural según los Eurocódigos

Mediante la especificación del acero estructural se garantiza que el material presenta las propiedades esperadas y admitidas en el cálculo y que se satisfacen las exigencias de durabilidad para el uso previsto.

Según los Eurocódigos 3 y 4 (en particular la parte 1-1 (UNE-EN 1993-1-1 [4] y UNE-EN 1994-1-1 [6]), que establece las reglas generales y reglas para edificación, y la parte 2 (UNE-EN 1993-2 [5] y UNE-EN 1994-2 [7]), que establece los criterios para el proyecto de puentes de acero y mixtos de acero y hormigón, respectivamente), las normas de referencia para la definición de las condiciones técnicas de suministro de productos de acero son la UNE-EN 10025 [8], para aceros laminados en caliente, la UNE-EN 10210-1 [9] y UNE-EN 10219-1 [10], para productos de acero de sección hueca o tubular, laminados en caliente o conformados en frío, respectivamente, y la UNE-EN 10164 [11] para aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

El apartado 2.5 de la *Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural* [3] recoge los requisitos mínimos a incluir en el cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural de un proyecto. Son estos:

- Tipo de acero aplicado a cada elemento de la estructura
- Límite elástico mínimo a tracción para cada rango de espesor de chapas
- Grado del acero (característica de flexión por choque)

- Condiciones de suministro
- Aptitud para una aplicación particular (en su caso)
- Garantía de estricción mínima en la dirección del espesor (en su caso)
- Características de tornillos, tuercas, arandelas y bulones (en su caso)
- Características de los pernos conectadores (en su caso)
- Categoría de corrosividad y durabilidad del sistema de protección
- Coeficiente parcial
- Nivel de control
- Clase de ejecución

La especificación técnica del acero estructural según los Eurocódigos, en general coincide con la especificación técnica según el Código Estructural [2], sin embargo resulta oportuno realizar algunas matizaciones, que se recogen en la guía y en la presente comunicación.

3.1 Denominación de los aceros estructurales

La designación de aceros estructurales según los Eurocódigos se realiza de acuerdo con el contenido de la norma UNE-EN 10027-1 [12]. Esta norma establece las reglas para la designación simbólica de los aceros mediante caracteres alfanuméricos que expresan la aplicación y sus características principales, de tipo mecánico, físico o químico, para identificar de forma abreviada los aceros.

La designación del acero estructural se debe ajustar al siguiente formato:

Snnn an +an1 +an2

siendo:

S: El símbolo principal correspondiente a aceros de construcción

nnn: El símbolo principal correspondiente al valor mínimo especificado del límite elástico en MPa para la gama de espesores más baja

an, an1, an2: Símbolos adicional que aportan información sobre diferentes características del acero: grado,

condición de suministro, aptitud para una cualidad particular, garantía de estricción mínima, etc.

La designación de los aceros en el Código Estructural se realiza de manera semejante.

3.2 Tipo de acero y función estructural

En la especificación de un acero estructural es conveniente incluir una distinción en función del uso para el que se destina, de acuerdo con la tabla 1 de la norma UNE-EN 10027-1 [12] que, para proyectos de puentes, en general, será “S” (acero de construcción).

El Código Estructural define los aceros de construcción, de igual manera, con el símbolo S.

3.2 Límite elástico mínimo a tracción

La clasificación del acero estructural respecto a su límite elástico a tracción para chapas del rango más bajo de espesor se deberá definir de acuerdo con la norma UNE-EN 10027 [12] y cada una de las partes de la norma UNE-EN 10025 [8].

El criterio para la definición del límite elástico a tracción mínimo de un acero estructural es:

S nnn (acero de construcción)

donde **nnn** es el valor mínimo especificado del límite elástico en MPa para la gama de espesores más baja.

A este respecto, la norma UNE-EN 1993-1-1 [4] (apartado 3.2.1. (1)) sólo cubre los aceros hasta 460 MPa.

Adicionalmente al límite elástico para el rango más bajo de espesores, se especificará el límite elástico requerido para los distintos espesores empleados en el proyecto.

3.4 Grado

La norma UNE-EN 1993-1-10 [13] es la norma de referencia para la elección del grado del acero a emplear en un proyecto.

La especificación del grado del acero estructural como medida de su resiliencia o resistencia respecto a la flexión por choque se deberá definir de acuerdo con la norma UNE-EN 10027 [12], el apartado 7.3.2 y las tablas indicadas posteriormente de cada una de las partes de la UNE-EN 10025 [8], los apartados 4.2.2, 4.2.3 y 6.4 de la norma UNE-EN 10210 [9] y los apartados 4.2.2 y 4.2.3 de la norma UNE-EN 10219 [10].

El grado de un acero estructural se determina en base a su resiliencia, que se determinará mediante ensayo de flexión por choque sobre probeta de Charpy a una temperatura específica. Los valores de la temperatura del ensayo y la energía mínima para los distintos grados del acero se muestran, con generalidad, en la siguiente tabla:

Características de flexión por choque [J]			Temperatura de ensayo [°C]
27 J	40 J	60 J	
JR	KR	LR	20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60

En los aceros estructurales de construcción, según normas europeas, los posibles grados del acero estructural se limitan a ciertos grados que se recogen en la guía.

Los grados más habituales en productos de acero para puentes de carretera son JR o J0 en el caso de perfiles laminados y J2 o K2 en el caso de chapas laminadas. Los perfiles de sección hueca suelen especificarse con grado J0 para acero S275 y con grado J2 para acero S355.

La especificación de un grado u otro para el acero estructural se realizará en función de la temperatura de referencia de la estructura, el espesor de chapa en cuestión y su nivel de sollicitación. La norma UNE-EN 1993-1-10 [13] (apartado 3), así como la norma UNE-EN 1993-2 [5], apartados 3.2.3, dan las

indicaciones oportunas sobre la selección del grado de acero a emplear. La norma UNE-EN 1993-1-10 [13] (artículo 2.3) proporciona los espesores máximos de chapa a emplear para cada grado de acero, temperatura de referencia y nivel de sollicitación.

3.5 Condiciones de suministro

La condición o estado de suministro se refiere a la forma en que deben ser suministrados los productos de acero según el tratamiento térmico o mecánico que se les aplique en el proceso de producción. Este concepto se puede referir también al estado superficial, o una combinación de tratamiento y estado superficial, pero esta consideración es inhabitual en productos de acero para puentes de carretera.

Aunque existen una gran variedad de estados de suministro, los más habituales que se pueden especificar en obras de construcción de puentes de carretera son:

- +AR: Estado bruto de laminación
- +N: Laminado de normalización
- +M: Laminación termomecánica
- +A (*'Annealed'*): Recocido blando
- +Q (*'Quenched and tempered'*): Templado y revenido

De todos los anteriores, los más habituales para aceros de límite elástico convencional son los estados de suministro +AR, +N y +M.

El Código Estructural denomina las diferentes condiciones de suministro de manera similar a las normas europeas, sin embargo, el número condiciones de suministro que considera es más reducido.

3.6 Aptitud para una aplicación particular

La condición de aptitud para una aplicación particular se refiere al uso específico que se le va a dar al producto de acero de forma que, debido a dicha aplicación, el acero debe tener unas características especiales.

Aunque existen una gran variedad de condiciones de aptitud para aplicaciones particulares, los más habituales que se pueden especificar en obras de construcción de puentes de carretera son:

+W (*weathering steel*): Acero con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica

+H: Perfil de sección hueca

+L: Aceros con resiliencia mejorada a bajas temperaturas, normalmente asociado al grado

+P (*sheet pile*): Acero para tablestacas

El Código Estructural denomina las diferentes condiciones de aptitud para una aplicación particular de manera similar a las normas europeas, sin embargo, el número aplicaciones que considera es más reducido.

3.7 Garantía de estricción mínima

La norma UNE-EN 1993-1-10 [13] en su apartado 3, así como la norma UNE-EN 1993-2 [5], apartados 3.2.3 y 3.2.4, dan las indicaciones oportunas sobre la selección del valor mínimo de Z a adoptar, con el objeto de que no se produzca el fallo por desgarro laminar en una chapa determinada.

La resistencia al desgarro laminar se incorpora a la denominación del acero como parte de los símbolos que representan requisitos particulares para los productos de acero.

Símbolo	Significado
+Z15	Propiedad que se garantiza en el sentido del espesor, estricción mínima (Z) = 15%
+Z25	Propiedad que se garantiza en el sentido del espesor, estricción mínima (Z) = 25%
+Z35	Propiedad que se garantiza en el sentido del espesor, estricción mínima (Z) = 35%

El Código Estructural, en su apartado 82.2.5, define el valor de Z de forma análoga a la normativa europea.

3.8 Características de los tornillos, tuercas, arandelas y bulones

Cuando la estructura de acero a construir contenga uniones de tipo atornillado, deberá especificarse el material de los tornillos, tuercas y arandelas, junto con su límite elástico mínimo y resistencia última a tracción mínima.

Las uniones de tipo atornillado, se rigen por lo especificado en las normas UNE-EN 1993-1-8 [14] y UNE-EN 1993-2 [5]. En el apartado 1.2.4 de dicha norma, se relacionan las normas de referencia para tornillos, tuercas y arandelas y se establecen las clases resistentes para los tornillos, en función de su límite elástico f_{yb} y su resistencia última f_{ub} .

Clase	4.6	4.8	5.6	5.8	4.8	5.6	5.8
f_{yb} [MPa]	240	320	300	400	320	300	400
f_{ub} [MPa]	400	400	500	500	400	500	500

En el caso de las uniones atornilladas sean pretensadas, solo se podrán utilizar como tornillos pretensados los tornillos de las clases 8.8 y 10.9.

Cuando la estructura de acero a construir contenga uniones con bulones, deberá especificarse el material del acero del bulón, junto con su límite elástico mínimo, resistencia última a tracción mínima, norma de referencia y tratamiento superficial (en su caso).

El Código Estructural, en su artículo 85.2 contempla los tornillos utilizables en uniones de estructuras de acero y los especifica de manera similar a las normas europeas, pero no contempla el uso de tornillos de calidad 4.8 y 5.8.

3.9 Características de los pernos conectadores

Cuando la estructura a construir sea de tipo mixto acero-hormigón, deberá especificarse el material de los pernos conectadores, junto con su límite elástico mínimo y resistencia última a tracción mínima, la norma de referencia y las

características adicionales que se consideren necesarias.

Los pernos conectadores para estructuras mixtas acero-hormigón están considerados en el apartado 3.4.2 de UNE-EN 1994-1-1 [6], que refiere a la norma UNE-EN ISO 13918:2018. La citada norma recoge los distintos materiales que se pueden utilizar en espárragos a cortante para la conexión de los materiales. De entre los múltiples materiales recogidos en la norma, se emplearán para pernos conectadores con cabeza los denominados como SD1 y SD2.

Símbolo	Grupo de materiales	Propiedades mecánicas
SD1	Grupo de materiales 1 con los límites: $C \leq 0.2\%$ $CEV \leq 0.35$ $AI \geq 0.02 \%$	$R_m \geq 450 \text{ MPa}$ $R_{eff} \geq 350 \text{ MPa}$ $A_5 \geq 15 \%$
		$R_m = 400 - 550 \text{ MPa}$ $R_{eff} \geq 235 \text{ MPa}$ $R_{p0.2} \geq 235 \text{ MPa}$ $A_5 \geq 20 \%$
SD2		

El Código Estructural, en su artículo 112.1 establece las características y requerimientos de los pernos conectadores para estructuras mixtas, refiriendo igualmente a la norma UNE-EN ISO 13918, y exigiendo el cumplimiento de las siguientes características:

- Límite elástico: $f_{y,pernos} > 360 \text{ MPa}$
- Carga de rotura: $f_{s,pernos} \geq 460 \text{ MPa}$
- Alargamiento de rotura $e_{u,pernos} > 15 \%$
- Estricción: $e > 50 \%$
- Relación tensión de rotura y límite elástico: $f_s/f_y \geq 1,20$

Como se puede observar, el Código Estructural especifica como válidos los pernos conectadores exclusivamente de la clase SD1, y le aplica ciertas condiciones mecánicas adicionales que, en general, son cumplidas por los pernos comercializados actualmente en España.

3.10 Categoría de corrosividad y durabilidad del sistema de protección

Para una completa designación del acero estructural se hace preciso describir el sistema de

protección frente a la corrosión. Este viene determinado por dos factores: la categoría de corrosividad a la que se encuentra sometido el elemento de acero y la durabilidad del sistema de protección, que determinará la frecuencia de las actuaciones de mantenimiento.

La norma UNE-EN 1993-1-1 [4] indica que la norma de referencia para determinar la categoría de corrosividad del ambiente es la UNE-EN 12944 [15].

La norma UNE-EN 12944-2:2018 [15], define 6 categorías de corrosividad atmosférica, de C1 (muy baja) a C5 (muy alta) y CX (extrema) y 4 categorías de corrosividad para estructuras enterradas o sumergidas y por lo tanto sujetas a la acción directa del terreno o del agua, de Im1 a Im4.

El Código Estructural, en su apartado 80.1 establece las condiciones para la selección de la categoría de corrosividad de una estructura, a la que denomina ‘clase de exposición relativa a la corrosividad del acero estructural’; estas condiciones son equivalentes a las establecidas en la normativa europea.

La durabilidad del sistema de protección frente a la corrosión se define en el apartado 3.5 de la norma UNE-EN 12944-1:2018 [14] como “vida prevista de un sistema de pintura protector hasta el primer trabajo de mantenimiento de pintura importante”.

Según la norma UNE-EN 12944-1:2018 la durabilidad del sistema de protección se expresa en términos de cuatro rangos:

- Bajo (B): hasta 7 años
- Medio (M): de 7 hasta 15 años
- Alto (A): de 15 hasta 25 años
- Muy alto (MA): más de 25 años

En proyectos de puentes se debe especificar siempre una durabilidad ‘Muy alta’ (MA) por razones de conservación y mantenimiento.

Debe tenerse en cuenta que la durabilidad del sistema de protección frente a la corrosión no implica un ‘periodo de garantía’, sino que representa una consideración técnica o parámetro de planificación que debe ayudar al

propietario de la infraestructura a establecer su estrategia de durabilidad y programa de mantenimiento.

El Código Estructural, en su apartado 86.2, trata la durabilidad de los sistemas de pintura, de manera análoga a la normativa europea.

3.11 Nivel de control

El nivel de control debe definirse de acuerdo con la normativa nacional vigente, que, en el caso de España y a la fecha de redacción de la guía y de esta comunicación, es el Código Estructural [2]. Por un lado, se debe definir el nivel la clase de ejecución de todos los elementos de la estructura y, por otro, el nivel de control de ejecución.

3.11.1 Clase de ejecución

La clase de ejecución de la estructura es una medida del nivel de fiabilidad que debe alcanzar la fabricación y montaje de un elemento estructural metálico para garantizar el nivel de seguridad definido.

El Código Estructural define, en su artículo 91.2, las 3 variables diferentes que, combinadas, dan como resultado la clase de ejecución de una estructura metálica. Son las siguientes:

- El nivel de riesgo de una obra define las consecuencias que podría tener su fallo estructural durante su construcción o en fase de servicio. De mayor a menor nivel de riesgo, se establecen 3 categorías: CC3, CC2 y CC1. En general, los puentes de la Red de Carreteras del Estado se clasificarán con nivel de riesgo CC2 o CC3, en función de la importancia de la vía y de la intensidad de la circulación.
- La categoría de uso depende del riesgo ligado al servicio para el que se diseña la estructura. Se establecen 2 categorías: SC1 y SC2. En general, los puentes metálicos y mixtos de la Red de Carreteras del Estado se clasificarán con categoría de uso SC2.

- La categoría de ejecución depende de la complejidad de ejecución y montaje de la estructura metálica, siendo PC1 la más sencilla y PC2 la más compleja. En general, los puentes metálicos y mixtos de la Red de Carreteras del Estado se clasificarán como PC2.

La combinación de las 3 variables anteriores da como resultado la clase de ejecución, clasificada entre 1 (menos exigente) y 4.

El Código Estructural establece que, salvo que una reglamentación específica indique lo contrario, todos los puentes serán clasificados como clase de ejecución 3 o 4. Por lo tanto, de acuerdo con las categorías indicadas anteriormente, la clase de ejecución de los puentes metálicos y mixtos de la Red de Carreteras del estado será siempre 3 o 4.

Adicionalmente al tratamiento normativo establecido en el Código Estructural, es importante señalar que la fabricación y montaje de estructuras metálicas de acero está sometido a marcado CE. La norma de referencia para este marcado es la norma UNE-EN 1090. Esta norma tiene el carácter de norma armonizada.

En el artículo 4.1.2 de la norma UNE-EN 1090-2 se establecen cuatro clases de ejecución para las estructuras de acero: EXC1, EXC2, EXC3 y EXC4. Para la selección de la clase de ejecución, la norma indicada se remite al anejo C del Eurocódigo de estructuras de acero UNE-EN 1993-1-1:2005/A1:2014, que define la clase de ejecución en función de las siguientes variables:

- Clase de consecuencia (CC) o clase de fiabilidad (RC3), equivalente al nivel de riesgo definido en el Código Estructural. Se establecen 3 clases de consecuencia: CC3, CC2 y CC1, que son equivalentes a las definidas en el Código Estructural. En general, los puentes de la Red de Carreteras del Estado se clasificarán con clase de consecuencia CC2 o CC3, en función de la importancia de la vía y de la intensidad de la circulación.

- Tipo de cargas, equivalente a la categoría de uso definida en el Código Estructural. Se establecen dos categorías:
 - o Cargas estáticas, cuasi-estáticas o sísmicas con clase de ductilidad baja según UNE-EN 1998. Equivale a la categoría de uso SC1 del Código Estructural.
 - o Cargas de fatiga o sísmicas con clase de ductilidad media o alta según UNE-EN 1998. Equivale a la categoría de uso SC2 del Código Estructural.

En general, los puentes metálicos y mixtos de la Red de Carreteras del Estado se clasificarán con categoría de uso equivalente a SC2, debido a la existencia de cargas de fatiga.

A partir de las dos categorías anteriores, se obtiene la clase de ejecución, entre las indicadas anteriormente.

La obtención de la clase de ejecución es diferente en el Código Estructural y en las normas vigentes UNE-EN 1990 y UNE-EN 1993, pudiéndose considerar similares a adoptar en todos los casos una categoría de ejecución PC1.

Desde el punto de vista práctico, los puentes de la Red de Carreteras del estado deben clasificarse siempre como clase de ejecución 4 según el Código Estructural o clase de ejecución EXC4 según UNE-EN 1990, cuando se les asigne un nivel de riesgo o clase de consecuencia CC3; y deben clasificarse siempre como clase de ejecución 3 según el Código Estructural o clase de ejecución EXC3 según UNE-EN 1990, cuando se les asigne un nivel de riesgo o clase de consecuencia CC2

3.11.2 Nivel de control de ejecución

El nivel de control de ejecución identifica el nivel de control necesario para garantizar el nivel adecuado de seguridad de una estructura. El Código Estructural [2] contempla, en sus artículos 14.3 y 22.4, dos niveles de control de la conformidad de los procesos de ejecución de las

estructuras de acero y mixtas: nivel normal, correspondiente a una clase de ejecución 2; y nivel intenso, correspondiente a una clase de ejecución 3 o 4.

De acuerdo con el artículo 14.3 del Código Estructural [2], y salvo indicación en contra de la reglamentación específica aplicable, se deberá exigir un nivel de control de ejecución intenso para los elementos de acero de puentes.

3.12 Coeficiente parcial para la resistencia del acero estructural

El coeficiente parcial para la resistencia del acero estructural a emplear en la comprobación de los Estados Límite Últimos se define en la Tabla AN/1 del Anejo Nacional de UNE-EN 1993-1-1 [4]. Los valores aquí incluidos son:

γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	γ_{M3}	γ_{M4}	γ_{M5}	$\gamma_{M6,s}$	γ_{M7}
1.05	1.10	1.25	1.25	1.10	1.10	1.00	1.10

Llama la atención la diferenciación del coeficiente γ_{M0} entre los valores recomendados por el Eurocódigo ($\gamma_{M0}=1.00$) y el Anejo Nacional que, en cualquier caso, permite adoptar para puentes el coeficiente parcial $\gamma_{M0} = 1,00$ siempre que satisfagan ciertas condiciones.

3.13 Notas generales adicionales

Además de la definición de los requisitos que especifican el material, es conveniente incluir alguna información adicional en los cuadros de especificaciones técnicas del acero estructural:

- Vida útil de la estructura de 100 años.

4. Equivalencia entre la especificación del acero estructural según los Eurocódigos y el Código Estructural

En el caso del acero estructural, la especificación establecida en el Código Estructural [2], aunque no se indique explícitamente, ya está adaptada a la designación que se utiliza en los Eurocódigos

y resto de normas europeas puesto que, su norma antecesora en el ámbito de las estructuras de acero, la EAE-11, ya se había redactado en consonancia con la normativa europea.

La principal diferencia en la especificación según Eurocódigos y según el Código Estructural no reside en la forma de designar al material o en sus propiedades, sino en la extensión de los materiales que se aceptan: mientras que los Eurocódigos admiten la totalidad de los aceros recogidos en las normas UNE-EN hasta un límite elástico de 460 MPa, el Código Estructural los limita a aquellos explícitamente recogidos en su articulado.

Son igualmente equivalentes las categorías de exposición ambiental de la estructura metálica, si bien reciben nombres diferentes: “clases de exposición” en el Código Estructural y “categoría de corrosividad” según las normas europeas. La durabilidad de los sistemas de protección también es descrita en idénticos términos, siendo totalmente equivalentes los grados de durabilidad.

El aspecto que presenta una mayor divergencia entre ambos códigos normativos es la determinación de las clases de ejecución de la estructura de acero. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, los puentes de la Red de Carreteras del estado deben clasificarse siempre

como clase de ejecución 4 según el Código Estructural o clase de ejecución EXC4 según UNE-EN 1990, cuando se les asigne un nivel de riesgo o clase de consecuencia CC3; y deben clasificarse siempre como clase de ejecución 3 según el Código Estructural o clase de ejecución EXC3 según UNE-EN 1990, cuando se les asigne un nivel de riesgo o clase de consecuencia CC2.

5. Ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural

Se incluye a continuación, un ejemplo de un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural definido según los Eurocódigos 3 y 4 y la correspondiente normativa europea para un viaducto ficticio.

Este cuadro debe servir únicamente como ejemplo del tipo de información (requisitos) a incluir en un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural; los valores/clases atribuidos a cada requisito pretenden únicamente informar sobre la designación a emplear y, por tanto, se deberán adaptar en función de las características de cada proyecto.

Ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural según los Eurocódigos

Material	Elemento	Tipo	Límite elástico f_y [MPa]	Coef. parcial (ELU)
Acero estructural	Chapa	S355 J2 +N	355 ($e \leq 40$ mm) 335 ($40 \text{ mm} < e \leq 80$ mm)	$\gamma_{M0}=1.05$ $\gamma_{M1}=1.10$ $\gamma_{M2}=1.25$
		S355 K2 +N	315 ($80 \text{ mm} < e \leq 100$ mm)	
	Chapas de acero autopatinable	S355 J2 W +N	355 ($e \leq 40$ mm) 335 ($40 \text{ mm} < e \leq 80$ mm)	
		S355 K2 W +N	315 ($80 \text{ mm} < e \leq 100$ mm)	
	Perfiles laminados	S275 JO	275 ($e \leq 40$ mm)	
	Perfiles tubulares ($e < 8$ mm)	S275 JO H	275	
	Perfiles tubulares ($e \geq 8$ mm)	S355 J2 H	355 ($e \leq 16$ mm)	
		S355 J2 +N + Z35	355 ($e \leq 40$ mm)	

	Chapas indicadas con calificación Z		335 (40 mm < e ≤ 80 mm)	
		S355 K2 +N +Z35	315 (80 mm < e ≤ 100 mm)	
	Chapas de acero de grado fino normalizadas	S355 N	355 (e ≤ 40 mm)	
			335 (40 mm < e ≤ 80 mm)	
	Chapas de acero de grado fino laminadas termomecánicamente	S355 NL	315 (80 mm < e ≤ 100 mm)	
		S460 M	460 (e ≤ 16 mm)	
			430 (40 mm < e ≤ 80 mm)	
		S460 ML	400 (80 mm < e ≤ 100 mm)	
	Tornillos	8.8 (uniones pretensadas)	640 ($f_u > 800$)	
	Pernos conectadores	SD 1 según UNE-EN ISO 13918:2018	350 ($f_u > 450$; $A_5 > 15 \%$)	
Categoría de corrosividad		Superficies interiores: C3; Superficies exteriores: C4. De acuerdo con EN-ISO 12944-2:2018 y PPTP.		
Durabilidad del sistema de protección		Muy alta (> 25 años). De acuerdo con EN-ISO 12944-1:2018 y PPTP.		
Clase de ejecución		Clase de ejecución 4 según Código Estructural) – (Clase de ejecución EXC4. Según EN 1993-1-1:2005/A1:2014 Anejo C y UNE-EN 1090-2:2011)		
Control de ejecución		Intenso, de acuerdo con el Código Estructural		
Vida útil de la estructura		100 años		

Referencias

- [1] Orden circular 1/2019, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.
- [2] Código Estructural, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2021.
- [3] Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2023.
- [4] UNE-EN 1993-1-1, Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificación, AENOR
- [5] UNE-EN 1993-2, Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Puentes de acero, AENOR
- [6] UNE-EN 1994-1-1, Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Reglas generales y reglas para edificación, AENOR
- [7] UNE-EN 1994-2, Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Reglas generales y reglas para puentes, AENOR
- [8] UNE-EN 10025. Productos laminados en caliente de aceros para estructuras, AENOR
- [9] UNE-EN 10210. Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente de acero no aleado y grano fino, AENOR
- [10] UNE-EN 10210. Perfiles huecos de acero soldados conformados en frío para construcción, AENOR
- [11] UNE-EN 10164. Aceros de construcción con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto, AENOR
- [12] UNE-EN 10027. Sistemas de designación de aceros, AENOR
- [13] UNE-EN 1993-1-10, Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Tenacidad de fractura y resistencia transversal, AENOR
- [14] UNE-EN 1993-1-8, Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Uniones, AENOR
- [15] UNE-EN ISO 12944. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura, AENOR