

SERIE GUÍAS EUROCÓDIGOS

Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural



MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

SERIE GUÍAS EUROCÓDIGOS

Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural

DGC

Abril 2022

----- PENDIENTE DE EDICIÓN -----

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 sólo 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 2ª 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 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 LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

Desde la entrada en vigor de la Orden Circular 1/2019, 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, 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 la *Guía para las especificaciones técnicas del acero estructural* se definen los requisitos del acero estructural necesarios para una adecuada especificación de este material de acuerdo con 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 geométricas, mecánicas y de durabilidad para el uso previsto, en las condiciones de ambiente indicadas. La guía se ha desarrollado con el objetivo de facilitar la aplicación de los Eurocódigos 3 y 4 junto con las normas UNE-EN 10027, para la denominación de los aceros, UNE-EN 10025 para la especificación de los aceros estructurales, UNE-EN 10210 para los aceros

estructurales de sección hueca laminados en caliente, UNE-EN 10219 para los aceros estructurales de sección hueca conformados en frío y UNE-EN 10164 para los aceros de construcción con resistencia mejoradas a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie, asegurando a su vez la compatibilidad con el Código Estructural. Incluye, para ello, un análisis de la equivalencia entre los parámetros definidos en cada una de las normas.

Los criterios para el proyecto de estructuras de acero están definidos en el Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993), que consta de seis partes (UNE-EN 1993-1 a UNE-EN 1993-6) en las que se definen los criterios para el proyecto de estructuras de acero, la parte UNE-EN 1993-1, a su vez se divide en 12 normas (UNE-EN 1993-1-1 a UNE-EN 1993 1-12). En la redacción de esta guía se han tenido como referencia la parte 1-1 (UNE-EN 1993-1-1) que establece las reglas generales y reglas para edificación, la parte 1-10 (UNE-EN 1993-1-10) que establece las reglas referentes a la tenacidad de fractura y resistencia transversal y la parte 2 (UNE-EN 1993-2) que establece los criterios para el proyecto de puentes de acero estructural; y la parte

Asimismo, los criterios para el proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón están definidos en el Eurocódigo 4 (UNE-EN 1994) que está dividido en 3 partes (UNE-EN 1994-1-1, UNE-EN 1994-1-2 y UNE-EN 1994-2). En la redacción de la guía se han tenido como referencia la parte 1-1 (UNE-EN 1994-1-1) que establece las reglas generales y reglas para edificación y la parte 2 (UNE-EN 1994-2) establece los criterios para el proyecto de puentes mixtos de acero y hormigón.

Los aspectos relacionados con especificaciones, prestaciones, suministro y conformidad del acero estructural laminado en caliente se rigen por la norma UNE-EN 10025 citada como norma de referencia para el material acero por la UNE-EN 1993-1-1 y la UNE-EN-1994-1-1. Se señala que todas las referencias a la norma UNE-EN 10025 contenidas en esta guía corresponden a sus versiones UNE-EN 10025-1:2006, UNE-EN 10025-2:2020, UNE-EN 10025-3:2020, UNE-EN 10025-4:2020, UNE-EN 10025-5:2020 y UNE-EN 10025-6:2020.

Los aspectos relacionados con especificaciones, prestaciones, suministro y conformidad del acero estructural de secciones huecas laminado en caliente se rigen por la norma UNE-EN 10210 citada como norma de referencia para el material acero en la forma indicada por la UNE-EN 1993-1-1. Todas las referencias a la norma UNE-EN 10210 contenidas en esta guía corresponden a su versión UNE-EN 10210-1:2007.

Los aspectos relacionados con especificaciones, prestaciones, suministro y conformidad del acero estructural de secciones huecas conformado en frío se rigen por la norma UNE-EN 10219 citada como norma de referencia para el material acero en la forma indicada por la UNE-EN 1993-1-1. Todas las referencias a la norma UNE-EN 10210 contenidas en esta guía corresponden a su versión UNE-EN 10219-1:2007 y UNE-EN 10219-1:2007 ERRATUM:2010.

Finalmente, los aspectos relacionados con las propiedades del acero con resistencia mejoradas a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie rigen por la norma UNE-EN 10164 citada como norma de referencia para el material acero en la forma indicada por la UNE-EN 1993-1-1. Todas las referencias a la norma UNE-EN 10164 contenidas en esta Guía corresponden a su versión UNE-EN 10164-1:2019.

Índice

1	Introducción.....	9
1.1	Objeto y ámbito de aplicación	9
1.2	Contenido de la Guía.....	9
2	Definición del cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural según los Eurocódigos	11
2.1	Formato de designación del acero estructural según la UNE-EN 10027	12
2.2	Requisitos básicos para la especificación del acero estructural según las normas europeas.....	12
2.3	Requisitos adicionales para la especificación del acero estructural según las normas europeas.....	13
2.4	Otros requisitos a incluir en el cuadro de especificaciones técnicas	14
2.5	Requisitos mínimos a incluir en el cuadro de especificaciones técnicas	14
2.5.1	Tipo y función estructural.....	15
2.5.2	Límite elástico mínimo a tracción.....	15
2.5.3	Grado del acero	21
2.5.4	Condiciones de suministro.....	25
2.5.5	Aptitud para una aplicación particular.....	26
2.5.6	Garantía de estricción mínima	26
2.5.7	Características de los tornillos, tuercas, arandelas, y bulones	27
2.5.8	Características de los pernos conectadores	28
2.5.9	Categoría de corrosividad y durabilidad del sistema de protección.....	29
2.5.10	Nivel de control	32
2.5.10.1	Clase de ejecución	32
2.5.10.2	Nivel de control de ejecución.....	35
2.5.11	Coefficiente parcial.....	35
2.5.12	Notas generales a incluir.....	36
3	Equivalencia entre la especificación del acero estructural según los Eurocódigos y el Código Estructural.....	37
4	Resumen de la Guía y ejemplo de especificaciones técnicas del acero estructural	40
4.1	Resumen de la Guía.....	40
4.2	Ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural	43

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, ayudando a definir adecuadamente el cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural mediante la selección de los requisitos correspondientes, de acuerdo con los Eurocódigos y normas UNE-EN asociadas, y asegurando al mismo tiempo el cumplimiento de los requisitos establecidos a este respecto en el Código Estructural.

Mediante la especificación del acero estructural se garantiza que el material presente las propiedades esperadas y admitidas en el cálculo y que se satisfacen las exigencias geométricas, mecánicas y de durabilidad para el uso previsto, en las condiciones de ambiente indicadas. La especificación del acero estructural debe reflejarse tanto en los planos (cuadro de especificaciones técnicas) como en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

1.2 CONTENIDO DE LA GUÍA

Esta guía se estructura en cuatro capítulos. En el capítulo 1, Introducción, se explica el objeto, ámbito y contenido de este documento.

En el capítulo 2 se exponen, en una primera fase, los requisitos recogidos por las normas UNE-EN 10027, UNE-EN 10025, UNE-EN 10210, UNE-EN 10219 y UNE-EN 10164 para la especificación de los aceros estructurales. Además, se incluyen algunos requisitos adicionales que se consideran de necesaria definición para obtener una especificación de este material lo más completa posible.

Con el objetivo de compatibilizar la especificación del acero estructural definida en los Eurocódigos y la definida en el Código Estructural (en cumplimiento de la disposición adicional segunda de su Real Decreto de aprobación), una vez descritos los requisitos y la forma de definición de estos de acuerdo con los Eurocódigos, se procede, en el capítulo 3, a describir la equivalencia entre la especificación técnica de los aceros estructurales mediante los Eurocódigos y la especificación mediante el Código Estructural. En este mismo capítulo se exponen las diferencias y compatibilidades existentes entre las dos normas.

En el capítulo 4 se incluye, a modo de resumen compacto, la información necesaria para la definición de un cuadro de especificaciones técnica de los aceros estructurales y se concreta, además, un ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas de acero estructural definido acorde a los Eurocódigos (UNE-EN 1993-1-1, UNE-EN 10027, UNE-EN 10025, UNE-EN 10210, UNE-EN 10219 y UNE-EN 10164).

Si bien esta guía trata de ser un documento orientado a la aplicación de los Eurocódigos, a lo largo de sus capítulos se incluye información (criterios, comentarios,

recomendaciones, etc.) extraída del Código Estructural. Para facilitar la distinción entre el contenido extraído del Código Estructural y el contenido de los Eurocódigos, el primero se destaca **en color verde** en todo el documento.

Por motivos de concisión, en la guía se tratan exclusivamente los aceros estructurales laminados en calientes y los de sección hueca o tubos que son los más habituales en el proyecto y ejecución. No se tratan los aceros moldeados, los aceros inoxidable, ni los perfiles abiertos conformados en frío que, si bien son susceptibles de ser usados en obras de puentes de carretera, su uso en la actualidad es poco habitual.

Asimismo, la guía se centra en el acero estructural como material, sus propiedades y los requisitos que se le deben exigir, entrando mínimamente en los productos del acero a los que dan lugar (chapas, perfiles, etc.).

2 DEFINICIÓN DEL CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN LOS EUROCÓDIGOS

En este capítulo se incluyen directrices para la elección de los requisitos a incluir en la especificación del acero estructural de acuerdo con los Eurocódigos y se recogen los criterios de las normas de referencia y algunas recomendaciones a tener en cuenta en la definición de cada requisito.

De acuerdo con la normas UNE-EN 1993-1-1 (estructuras de acero) y UNE-EN 1994-1-1 (estructuras mixtas de acero y hormigón), las normas de referencia para la definición de las condiciones técnicas de suministro de productos de acero son la UNE-EN 10025, para aceros laminados en caliente, la UNE-EN 10210-1 y UNE-EN 10219-1, para productos de acero de sección hueca o tubular, laminados en caliente o conformados en frío, respectivamente, y la UNE-EN 10164 para aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto. En concreto, el alcance tratado en cada una de las normas indicadas o parte de la norma es el siguiente:

- Condiciones técnicas generales de suministro de aceros estructurales laminados en caliente: UNE-EN 10025-1:2006
- Aceros estructurales no aleados: UNE-EN 10025-2:2020
- Aceros estructurales soldables de grano fino en la condición de normalizado/laminado de normalización: UNE-EN 10025-3:2020
- Aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente: UNE-EN 10025-4:2020
- Aceros estructurales con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica: UNE-EN 10025-5:2020
- Aceros estructurales de alto límite elástico en la condición de templado y revenido: UNE-EN 10025-6:2020
- Aceros estructurales de sección hueca o tubular laminados en caliente: UNE-EN 10210-1:2007
- Aceros estructurales de sección hueca o tubular conformados en frío: UNE-EN 10219-1:2007
- Aceros de construcción con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto: UNE-EN 10164:2019

Finalmente, la designación de los aceros estructurales, en general, se trata en la norma UNE-EN 10027-1, adoptándose la designación simbólica.

2.1 FORMATO DE DESIGNACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN LA UNE-EN 10027

La designación de aceros estructurales según Eurocódigos se realiza de acuerdo con el contenido de la norma UNE-EN 10027-1.

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.

En el ámbito de esta norma, se empleará la designación simbólica calificada como categoría 1, en función de la utilización y características mecánicas o físicas del acero estructural.

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:** Símbolo adicional correspondiente al grupo 1 o grupo 2
 - Grupo 1:
 - o Grado del acero (resiliencia) o
 - o Condición de suministro en el caso de aceros de grado fino
 - Grupo 2:
 - o Condición de suministro en general
 - o Aptitud para una aplicación particular
- +an:** Símbolo adicional correspondiente a características especiales del acero:
 - Tipo de templabilidad
 - Garantía de estricción mínima en el sentido del espesor

2.2 REQUISITOS BÁSICOS PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN LAS NORMAS EUROPEAS

El autor del proyecto debe asegurarse que todos los requisitos para la obtención de las propiedades del acero están incluidos en la especificación definida en el proyecto.

La designación del acero estructural según los Eurocódigos se establece en la norma UNE-EN 10027-1.

La especificación del acero estructural laminado en caliente según los Eurocódigos se establece en las normas UNE-EN 10025 para aceros laminados en caliente, la UNE-EN 10210-1 y UNE-EN 10219-1 para productos de acero de sección hueca o tubular laminados en caliente o conformados en frío, respectivamente, y la UNE-EN 10164 para los aceros con especiales características de estricción.

Los requisitos que se aplican y son exigibles para la designación de cada tipo de acero se establecen, en el apartado 4.2 de la parte apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6 y en el apartado 7 de la norma UNE-EN 10027. De acuerdo con dichas normas, la especificación del acero estructural debe incluir los siguientes requisitos básicos (símbolos principales y símbolos adicionales) en función de su utilización y de sus características mecánicas y físicas, a indicar en todos los casos:

- Valor mínimo especificado del límite elástico para la gama de espesores más baja, según las tablas de la parte apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6, UNE-EN 10210 o UNE-EN 10219; o de forma simplificada según UNE-EN 1993-1-1
- Grado, según sea el valor de la energía de flexión por choque especificado, cuando proceda, según las tablas de la parte apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6, UNE-EN 10210 o UNE-EN 10219
- La indicación de su aptitud para una aplicación particular, cuando proceda, según las tablas de la parte apropiada de las normas europeas UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-6, UNE-EN 10210 o UNE-EN 10219
- La indicación de las condiciones de suministro '+N', '+AR' o '+M' cuando el acero estructural se solicite su suministro según dichas condiciones

Además, las características del acero estructural deben hacerse acompañar de una referencia a la necesidad de cumplimiento de las normas UNE-EN correspondientes al producto de acero especificado.

2.3 REQUISITOS ADICIONALES PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN LAS NORMAS EUROPEAS

De acuerdo con el apartado apartado 7.2 de la norma UNE-EN 10027, cuando sea necesario, los requisitos básicos, definidos anteriormente, pueden ser complementados con los siguientes requisitos adicionales suplementarios para los productos del acero:

- Requisitos particulares para los productos de acero:
 - Tipo de templabilidad
 - Garantía de estricción mínima en el sentido del espesor
- Tipo de recubrimiento para los productos de acero

- Condición de tratamiento del producto de acero, en caso de que no se hubiera indicado antes

2.4 OTROS REQUISITOS A INCLUIR EN EL CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Además de los requisitos básicos y adicionales indicados por las normas de referencia indicadas previamente, como criterio de buena práctica y para una definición más completa del material, se deben incluir en el cuadro de especificaciones técnicas los siguientes requisitos:

- Tipo de acero aplicado a cada elemento de la estructura
- Especificación de los pernos conectadores (en su caso)
- Especificación de tornillos, tuercas, arandelas y bulones (en su caso)
- Nivel de control de las propiedades del acero estructural durante el suministro y el nivel de control de ejecución
- Coeficiente parcial del acero estructural

2.5 REQUISITOS MÍNIMOS A INCLUIR EN EL CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Teniendo en cuenta lo indicado en los apartados 2.2, 2.3 y 2.4, los requisitos mínimos a incluir en el cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural son los siguientes:

- 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

En los apartados siguientes, se proporciona la información necesaria para la correcta definición de los requisitos mínimos que debe incluir el cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural para proyectos de puentes de carretera.

Adicionalmente, y cuando sea pertinente, se podrán incluir otros requisitos definidos por la norma UNE-EN 10027 e indicados en el apartado 2.3 de esta Guía.

2.5.1 TIPO 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 que, para proyectos de puentes, en general, será:

- Acero de construcción: S

La inclusión de esta información permite establecer el proceso de fabricación de los productos de acero. En general, en puentes de carretera el acero estructural será siempre acero de construcción (S), sin perjuicio de que para aplicaciones concretas se pueda emplear también acero moldeado (GS) o de otros tipos, siendo esto relativamente inhabitual; por lo que no se tratan en la presente guía.

De igual manera, la norma UNE-EN 10025-2 incluye los aceros de construcción mecánica (E), que no se suelen emplear para uso estructural, por lo que tampoco se tratan en esta guía.

2.5.2 LÍMITE ELÁSTICO MÍNIMO A TRACCIÓN

La clasificación del acero estructural respecto a su límite elástico a tracción para chapas de espesor menor de 16 mm se deberá definir de acuerdo con la tabla 1 de la norma UNE-EN 10027 y las tablas indicadas posteriormente de cada una de las partes de la norma UNE-EN 10025.

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

$$S_{nnn} \text{ (acero de construcción)}$$

donde:

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

La determinación de las características mecánicas de tracción (resistencia última, límite elástico y alargamiento) se efectuará mediante el ensayo de tracción normalizado UNE-EN ISO 6892-1:2020. Los valores de las características de tracción requeridas para cada tipo de acero se muestran en las siguientes tablas. A este respecto, la norma UNE-EN 1993-1-1 sólo cubre los aceros hasta 460 MPa, por lo que se indican en gris aquellos aceros que se sitúan por encima de dicho valor.

Tabla 1 **Valores del límite elástico mínimo del acero estructural según su designación**

Especificación	Valor del límite elástico para espesores ≤ 16 mm
	R_{eH} [MPa]
S235	235
S275	275
S355	355
S420	420
S460	460
S500	500

Adicionalmente al límite elástico para espesores de chapa menores de 16 mm, se especificará el límite elástico requerido para los distintos espesores empleados en el proyecto, según se indica en las siguientes tablas.

Tabla 2 **Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente no aleado (Tabla 6 UNE-EN 10025-2:2020)**

Designación	Límite elástico mínimo								
	R_{eH} [MPa]								
	Espesor nominal [mm]								
	≤ 16	>16 ≤ 40	>40 ≤ 63	>63 ≤ 80	>80 ≤ 100	>100 ≤ 150	>150 ≤ 200	>200 ≤ 250	>250 ≤ 400
S235	235	225	215	215	215	195	185	175	165
S275	275	265	255	245	235	225	215	205	195
S355	355	345	335	325	315	295	285	275	265
S460	460	440	420	400	390	390	-	-	-
S500	500	480	460	450	450	450	-	-	-

Tabla 3 Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente de grado fino en la condición de normalizado (Tabla 4 UNE-EN 10025-3:2020)

Designación	Límite elástico mínimo							
	R_{eH}							
	[MPa]							
Designación	Espesor nominal							
	[mm]							
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250
S275	275	265	255	245	235	225	215	205
S355	355	345	335	325	315	295	285	275
S420	420	400	390	370	360	340	330	320
S460	460	440	430	410	400	380	370	370

Tabla 4 Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente de grado fino laminados termomecánicamente (Tabla 4 UNE-EN 10025-4:2020)

Designación	Límite elástico mínimo					
	R_{eH}					
	[MPa]					
Designación	Espesor nominal					
	[mm]					
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150
S275	275	265	255	245	245	240
S355	355	345	335	325	325	320
S420	420	400	390	380	370	365
S460	460	440	430	410	400	385
S500	500	480	460	450	450	450

Tabla 5 Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente con resistencia mejorada a la corrosión (Tabla 4 UNE-EN 10025-5:2020)

Designación	Límite elástico mínimo					
	R_{eH}					
	[MPa]					
Designación	Espesor nominal					
	[mm]					
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150
S235	235	225	215	215	215	195
S355J0WP S355J2WP	355	345	-	-	-	-
S355 (resto de grados)	355	345	335	325	315	295

S420	420	400	390	380	370	365
S460	460	440	430	410	400	385

Tabla 6 **Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente de alto límite elástico en la condición de templado y revenido (Tabla 4 UNE EN 10025-6:2020)**

Designación	Límite elástico mínimo R_{eH} [MPa]			
	Espesor nominal [mm]			
	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 125	> 125 ≤ 200
S460	460	440	400	
S500	500	480	440	
S550	550	530	490	
S620	620	580	560	
S690	690	650	630	
S890	890	830	830	--
S960	960	850	850	--

Tabla 7 **Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente para secciones huecas de acero no aleado (Tabla A3 UNE EN 10210-1:2007)**

Designación	Límite elástico mínimo R_{eH} [MPa]					
	Espesor nominal [mm]					
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 120
S235	235	225	215	215	215	195
S275	275	365	255	245	235	225
S355	355	345	335	325	315	295

Tabla 8 **Valores del límite elástico mínimo del acero estructural laminado en caliente para secciones huecas de acero de grano fino (Tabla B3 UNE EN 10210-1:2007)**

Designación	Límite elástico mínimo R_{eH} [MPa]		
	Espesor nominal [mm]		
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 65

S275	275	265	255
S355	355	345	335
S420	420	400	390
S460	460	440	430

Tabla 9 Valores del límite elástico mínimo del acero estructural conformado en frío para secciones huecas de acero no aleado (Tabla A3 UNE EN 10219-1:2007)

Designación	Límite elástico mínimo R_{eH} [MPa]	
	Espesor nominal [mm]	
	≤16	>16 ≤40
S235JRH	235	225
S275J0H	275	265
S355J0H	355	345

Tabla 10 Valores del límite elástico mínimo del acero estructural conformado en frío para secciones huecas de acero de grano fino. Material de base en estado normalizado (Tablas B4 y B5 UNE EN 10219-1:2007)

Designación	Límite elástico mínimo R_{eH} [MPa]	
	Espesor nominal [mm]	
	≤16	>16 ≤40
S275	275	265
S355	355	345
S460	460	440

Tabla 11 Valores del límite elástico mínimo del acero estructural conformado en frío para secciones huecas de acero de grano fino. Material de base en estado de laminación termomecánica (Tablas B4 y B5 UNE EN 10219-1:2007)

Designación	Límite elástico mínimo R_{eH} [MPa]	
	Espesor nominal [mm]	
	≤16	>16 ≤40
S275	275	265

S355	355	345
S420	420	400
S460	460	440

De forma alternativa y simplificada, se puede utilizar la tabla 3.1 de la norma UNE-EN 1993-1-1, que cubre los aceros de hasta 460 MPa de límite elástico.

Tabla 12 **Valores nominales del límite elástico para acero estructural laminado en caliente y para perfiles tubulares estructurales (Tabla 3.1 UNE EN 1993-1-1)**

Norma y tipo de acero	Límite elástico mínimo f_y [MPa]	
	Espesor nominal [mm]	
	≤40	>40 ≤80
EN 10025-2 S 235 S 275 S 355 S 450	235 275 355 440	215 255 335 410
EN 10025-3 S 275 N/NL S 355 N/NL S 420 N/NL S 460 N/NL	275 355 420 460	255 335 390 430
EN 10025-4 S 275 M/ML S 355 M/ML S 420 M/ML S 460 M/ML	275 355 420 460	255 335 390 430
EN 10025-5 S 235 W S 355 W	235 355	215 335
EN 10025-6 S 460 Q/QL/QL1	460	440
EN 10210-1 S 235 H S 275 H S 355 H S 275 NH/NLH S 355 NH/NLH S 420 NH/NLH S 460 NH/NLH	235 275 355 275 355 420 460	215 255 335 255 335 390 430
EN 10219-1 S 235 H S 275 H S 355 H S 275 NH/NLH	235 275 355 275	-

S 355 HN/NLH	355	
S 460 NH/NLH	460	
S 275 MH/MLH	275	
S 355 MH/MLH	355	
S 420 MH/MLH	420	
S 460 MH/MLH	460	

2.5.3 GRADO DEL ACERO

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 tabla 1 de la norma UNE-EN 10027, el apartado 7.3.2 y las tablas indicadas posteriormente de cada una de las partes de la UNE-EN 10025, los apartados 4.2.2, 4.2.3 y 6.4 de la norma UNE-EN 10210 y los apartados 4.2.2 y 4.2.3 de la norma UNE-EN 10219.

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. El ensayo de flexión por choque debe realizarse conforme a la norma UNE-EN ISO 148-1:2017. Los valores de la temperatura del ensayo y la energía mínima para los distintos grados del acero se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 13 **Valores de resistencia característica a flexión por choque (resiliencia) para aceros en general (Tabla 1 UNE-EN 10027-1:2017)**

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 los indicados en las siguientes tablas:

Tabla 14 **Valores de resistencia característica a flexión por choque (resiliencia) para acero estructural laminado en caliente no aleado (Tabla 8 UNE-EN 10025-2:2020)**

Designación	Temp. [°C]	Energía mínima KV_2 [J]	Energía mínima KV_2 [J]	Energía mínima KV_2 [J]
		$t \leq 150$ mm	$150 < t \leq 250$ mm	$250 < t \leq 400$ mm
S235JR S275JR S355JR S460JR	20	27	27	27
S235J0	0	27	27	27

S275J0 S355J0 S460J0 S500J0				
S235J2 S275J2 S355J2 S460J2	-20	27	27	27
S355K2 S460K2	-20	40	33	33

Tabla 15 **Valores de resiliencia del acero estructural laminado en caliente de grado fino en la condición de normalizado (Tabla 5 UNE-EN 10025-3:2020)**

Designación	Probetas longitudinales		Probetas transversales	
	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]
S275N S355N S420N S460N	20	55	20	31
	0	47	0	27
	-10	43	-10	24
	-20	40	-20	20
	-30	[27]	-30	-
	-40	-	-40	-
	-50	-	-50	-
S275NL S355NL S420NL S460NL	20	63	20	40
	0	55	0	34
	-10	51	-10	30
	-20	47	-20	27
	-30	40	-30	23
	-40	31	-40	20
	-50	27	-50	16

Tabla 16 **Valores de resiliencia del acero estructural laminado en caliente de grado fino laminado termomecánicamente (Tabla 5 UNE-EN 10025-4:2020)**

Designación	Probetas longitudinales		Probetas transversales	
	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]
S275M S355M S420M S460M	20	55	20	31
	0	47	0	27
	-10	43	-10	24
	-20	40	-20	20
	-30	[27]	-30	-
	-40	-	-40	-
	-50	-	-50	-
S275ML S355ML S420ML	20	63	20	40
	0	55	0	34
	-10	51	-10	30

S460ML	-20	47	-20	27
	-30	40	-30	23
	-40	31	-40	20
	-50	27	-50	16

Tabla 17 **Valores de resiliencia del acero estructural laminado en caliente con resistencia mejorada a la corrosión (Tabla 5 UNE-EN 10025-5:2020)**

Designación	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]
S235J0W S355J0WP S355J0W S420J0W S460JW	0	27
S235J2W S355J2WP S355J2W S460J2W	-20	27
S355K2W S420K2W S460K2W	-20	40
S355J4W S420J4W S460J4W	-40	27
S355J5W S420J5W S460J5W	-50	27

Tabla 18 **Valores de resiliencia del acero estructural laminado en caliente de alto límite elástico en la condición de templado y revenido (Tabla 4 UNE-EN 10025-6:2020)**

Designación	Probetas longitudinales		Probetas transversales	
	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]	Temperatura [°C]	Energía mínima KV_2 [J]
S460Q S500Q	0	40	0	30
S550Q S620Q	-20	30	-20	27
S690Q S890Q S960Q	-40	--	-40	--
	-60	--	-60	--
S460QL S500QL	0	50	0	35
S550QL S620QL	-20	40	-20	30
S690QL S890QL S960QL	-40	30	-40	27
	-60	--	-60	--

S460QL1	0	60	0	40
S550QL1	-20	50	-20	35
S620QL1	-40	40	-40	30
S690QL1	-60	30	-60	27

En los perfiles tubulares especificados según las normas UNE-EN 10210 y UNE-EN 10219 se definirá su grado de forma análoga a los aceros definidos en las partes 2, 3 ó 4 de la norma UNE-EN 10025, en función de si son no aleados o de grado fino.

Los grados más habituales en productos de acero para puentes de carretera son JR ó J0 en el caso de perfiles laminados y J2 ó 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 (apartado 3), así como la norma UNE-EN 1993-2, apartados 3.2.3, dan las indicaciones oportunas sobre la selección del grado de acero a emplear. La norma UNE-EN 1993-1-10 (artículo 2.3) proporciona los espesores máximos de chapa a emplear para cada grado de acero, temperatura de referencia y nivel de sollicitación.

Tabla 19 **Máximos espesores de chapa admisibles en mm**
(Tabla 2.1 UNE-EN 1993-1-10)

Tipo de acero	Grado	Energía mínima KV		Temperatura de referencia T_{Ed} [°C]																				
		a T [°C]	[J]	$\sigma_{Ed} = 0.75 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0.50 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0.25 f_y(t)$				
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	60	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	25	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M, N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
S355	ML, NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	85	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2, M, N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
S420	ML, NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
	M, N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
S460	ML, NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	M, N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
S690	ML, NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	M, N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95

2.5.4 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.

Las abreviaturas se basan, con algunas excepciones, en las normas originales europeas redactadas en inglés. El estado de suministro +AR significa «as rolled», es decir, bruto de laminación. +N designa en inglés al estado de suministro «normalized rolled», es decir, laminación de normalización. La laminación termomecánica, por su parte, se designa con la letra +M, «thermomechanical rolling».

Estado de suministro +AR

Los productos fabricados con aceros estructurales S235JR o S275JR se laminan generalmente sin modificar las temperaturas de laminación ni las condiciones de tratamiento térmico. La denominación del material para un producto laminado de este modo recibe la abreviatura +AR, o directamente se omite la especificación.

Estado de suministro +N

El estado de suministro +N puede lograrse mediante recocido en un horno o mediante laminación con conformación posterior en un rango de temperaturas determinado. Esto da lugar a un estado del material equivalente al que se consigue tras el recocido de normalización.

Cuando un acero estructural se ha sometido a un recocido de normalización en horno o se ha normalizado mediante el proceso de laminación, a la denominación del material se le añadirá la abreviatura +N.

Los aceros que han recibido estos tratamientos presentan una estructura homogénea de grano fino y tienen buena conformabilidad.

Estado de suministro +M

El estado de suministro +M se refiere a un proceso de laminación con conformación posterior en un rango de temperaturas determinado. Esto conduce a un estado del material con unas propiedades determinadas, que no es posible alcanzar aplicando únicamente un tratamiento térmico y que no es repetible.

En el caso de los aceros estructurales con laminación termomecánica, las propiedades mecánicas se consiguen mediante el proceso de laminación. En cambio, en los aceros estructurales habituales, sometidos a laminación en caliente o a laminación de normalización, las propiedades mecánicas se logran mediante el contenido de carbono. Este proceso permite fabricar productos semiacabados de grano muy fino y con buena soldabilidad.

Una particularidad digna de mención de estos tres estados de suministro es que, con independencia del estado de suministro, los valores teóricos de las propiedades mecánicas son los mismos según las condiciones técnicas de suministro.

La especificación de una condición de suministro u otra se realizará en función de los requerimientos de soldabilidad, la temperatura de referencia de la estructura, el espesor de chapa en cuestión y su nivel de sollicitación; según se recoge en el apartado 2.5.3.

2.5.5 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

2.5.6 GARANTÍA DE ESTRICCIÓN MÍNIMA

Los requisitos correspondientes a las características de deformación en la dirección perpendicular a la superficie se establecen en la norma UNE-EN 10164:2019. Los ensayos a tracción para la determinación de esta característica deben realizarse de acuerdo con el apartado 9 de dicha norma. En concreto, se evalúa la reducción de área en estos ensayos, descrita en la siguiente expresión y recogida en la norma UNE-EN ISO 6892-1:2020.

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100$$

Siendo S_0 el área inicial de la sección probeta y S_u el área mínima de la sección de la probeta tras fractura.

Los valores de Z mínimos requeridos para cumplir con una de las características mejoradas en dirección perpendicular a la superficie se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 20 **Categoría de los aceros con condiciones mejoradas en dirección perpendicular a la superficie en función del resultado de la estricción en el ensayo de tracción (Tabla 1 UNE-EN 10164:2019)**

Tipo	Estricción en %	
	Valor medio mínimo de tres ensayos	Valor mínimo individual
Z15	15	10
Z25	25	15
Z35	35	25

La norma UNE-EN 1993-1-10 en su apartado 3, así como la norma UNE-EN 1993-2, 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 simbólica del acero como parte de los símbolos que representan requisitos particulares para los productos de acero, tal y como se recoge en la Tabla 16 de la norma UNE-EN-10027-1

Tabla 21 **Requisitos particulares para los productos de acero, entre los que se encuentran aquellos con características mejoradas de resistencia mejorada en dirección perpendicular a la superficie (Tabla 16 UNE-EN-10027-1)**

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%

2.5.7 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 la norma UNE-EN 1993-1-8. En el apartado 1.2.4 de dicha norma, se relacionan las normas de referencia para tornillos, tuercas y arandelas. En la tabla 3.1 del apartado 3.1.1 de la

norma se establecen las clases resistentes para los tornillos, en función de su límite elástico f_{yb} y su resistencia última f_{ub} .

Tabla 22 **Valores nominales de límite elástico y resistencia última de tornillos**
(Tabla 3.1 UNE-EN 1993-8:2005)

Clase de tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} [MPa]	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} [MPa]	400	400	500	500	600	800	1000

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 (en su caso) y tratamiento superficial (en su caso).

El Código Estructural, en su artículo 85.2 contempla los tornillos utilizables en uniones de estructuras de acero.

Tabla 23 **Valores nominales de límite elástico y resistencia última de tornillos**
(Tabla 85.2.a del Código Estructural)

Tipo	Tornillos ordinarios			Tornillos de alta resistencia	
Grado	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} [MPa]	240	300	480	640	900
f_{ub} [MPa]	400	500	600	800	1000

Como se puede observar, el Código Estructural especifica los tornillos de manera similar a las normas europeas, pero no contempla el uso de tornillos de calidad 4.8 y 5.8.

2.5.8 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, que refiere a la norma UNE-EN ISO 13918:2018. La citada norma en la tabla 2 del apartado 5.3.3.2 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.

Tabla 24 **Materiales y características mecánicas de espárragos terminados**
(Tabla 2 (parcial) UNE-EN ISO 13918)

Símbolo	Grupo de materiales	Norma	Propiedades mecánicas
SD1	Grupo de materiales 1 con los límites: C ≤ 0.2% CEV ≤ 0.35 Al ≥ 0.02 %	ISO/TR 15608	$R_m \geq 450$ MPa $R_{eff} \geq 350$ MPa $A_5 \geq 15$ %
SD2			$R_m = 400 - 550$ MPa $R_{eff} \geq 235$ MPa $R_{p0,2} \geq 235$ MPa $A_5 \geq 20$ %

Los pernos conectadores más habituales para uso en estructuras mixtas son los que corresponden a la clase SD1.

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: $f_{y,pernos} > 360$ MPa
- Carga de rotura: $f_{s,pernos} \geq 460$ MPa
- Alargamiento de rotura $\varepsilon_{u,pernos} > 15$ %
- 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. En la especificación, igualmente, una diferencia menor en el límite elástico y de rotura requeridos.

2.5.9 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 12944-2:2018, de acuerdo con la norma ISO 9223, define 6 categorías de corrosividad atmosférica y 4 categorías de corrosividad para estructuras enterradas o sumergidas y por lo tanto sujetas a la acción directa del terreno o del agua.

Las categorías de corrosividad atmosférica se establecen a partir de la pérdida de masa que se produce en probetas normalizadas de acero o zinc expuestas a la acción atmosférica durante un año. En la siguiente tabla se recogen los parámetros que sirven de referencia para la elección de la categoría de corrosividad.

Tabla 25 **Categorías de corrosividad atmosférica (Tabla 1 UNE-EN 12944-2:2018)**

Categoría de corrosividad	Pérdida de masa por unidad de superficie/ pérdida de espesor (después del primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes habituales (sólo informativo)	
	Acero de bajo contenido de carbono		Zinc		Exterior	Interior
	Pérdida de masa [g/m ²]	Pérdida de espesor [μm]	Pérdida de masa [g/m ²]	Pérdida de espesor [μm]		
C1 Muy baja	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edificios acondicionados con atmósferas limpias, por ejemplo, oficinas, tiendas, escuelas, hoteles.
C2 Baja	> 10 a 200	> 1,3 a 25	> 0,7 a 5	> 0,1 a 0,7	Atmósferas con un nivel bajo de contaminación: básicamente áreas rurales	Edificios sin acondicionamiento donde se puede dar condensación, por ejemplo, depósitos, polideportivos
C3 Media	> 200 a 400	> 25 a 50	> 5 a 15	> 0,7 a 2,1	Atmósferas urbanas e industriales, contaminación moderada de dióxido de azufre: áreas costeras con baja salinidad	Áreas de producción con humedad elevada y con cierta contaminación, por ejemplo, plantas de procesamiento alimentaria, tintorerías, destiladoras empresas lácteas
C4 Alta	> 400 a 650	> 50 a 80	> 15 a 30	> 2,1 a 4,2	Áreas industriales y áreas costeras con salinidad moderada	Plantas químicas, piscinas, embarcaderos y astilleros
C5 Muy alta	> 650 a 1500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas industriales con elevada humedad y atmósfera agresiva y áreas costeras con elevada salinidad	Edificios o áreas con condensación casi permanente y con elevada contaminación
CX Extrema	> 1500 a 5500	> 200 a 700	> 60 a 180	> 8,4 a 25	Áreas de ultramar con elevada salinidad y áreas	Áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva

					industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva y atmósferas subtropical y tropical	
NOTA Los valores de pérdida utilizados para la categoría de corrosividad son idénticos de aquellos mostrados en la norma ISO 9223						

Las categorías de corrosividad en estructuras sumergidas o enterradas son difícilmente objetivables por estar sujetas a un gran número de variables, debiendo ser el autor del proyecto especialmente prudente en la elección del sistema de protección, puesto que la corrosión en estas circunstancias puede tener un carácter local y acelerado. Las categorías definidas en la norma UNE-EN-12944-2:2018 son las indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 26 **Categorías de corrosividad para estructuras sumergidas o enterradas (Tabla 2 UNE-EN 12944-2:2018)**

Categoría	Ambiente	Ejemplos de ambientes y estructuras
Im1	Agua dulce	Instalaciones en ríos, plantas generadoras hidroeléctricas
Im2	Mar o agua salobre	Estructuras sumergidas sin protección catódica (por ejemplo, áreas portuarias con estructuras como diques, compuertas o embarcaderos)
Im3	Tierra	Tanques enterrados, pilas de acero, tuberías de acero
Im4	Mar o agua salobre	Estructuras sumergidas con protección catódica (por ejemplo, estructuras en ultramar)
Nota: Para la categoría de corrosividad Im1 y Im3, se puede utilizar protección catódica con un sistema de pintura ensayado de manera acorde		

Se llama la atención sobre que una exposición ambiental de tipo enterrada o sumergida en el acero estructural es bastante inhabitual en proyectos de puentes, y en general, debe tender a evitarse.

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 como “vida prevista de un sistema de pintura protector hasta el primer trabajo de mantenimiento de pintura importante”. Es, por tanto, un factor relevante en el plan de mantenimiento de la estructura a proyectar.

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.

2.5.10 NIVEL DE CONTROL

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

2.5.10.1 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 con categoría de ejecución PC2.

La combinación de las 3 variables anteriores da como resultado la clase de ejecución.

Tabla 27 Clases de ejecución de la estructura metálica (Tabla 91.1 Código Estructural)

Nivel de Riesgo		CC1		CC2		CC3	
Categoría de uso		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categoría de ejecución	PC1	1	2	2	3	3	3
	PC2	2	2	2	3	3	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.

Se pueden establecer diferentes clases de ejecución para distintos elementos de la estructura, si bien es recomendable que se establezca una única clase de ejecución para conjuntos globales homogéneos de la obra.

En casos particulares puede ser conveniente imponer una clase de ejecución superior para ciertos elementos particulares. Asimismo, la clasificación anterior no limita la inclusión de requisitos adicionales que explícitamente se indiquen en el proyecto.

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, según se estableció en la Comunicación de la Comisión 2010/C 344/01, traspuesta en la Resolución de 4 de marzo de 2011, siendo obligatorio desde mediados del año 2014. La norma de referencia para este marcado es la norma UNE-EN 1090-1:2011+A1:2012, que se complementa con la norma de apoyo para estructuras de acero UNE-EN 1090-2:2019 y otras normas europeas de ensayo. Esta norma está reconocida por el Reglamento nº 305/2011 del Parlamento del Consejo Europeos, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, y que por lo tanto tiene el carácter de norma armonizada.

En el artículo 4.1.2 de la norma UNE-EN 1090-2:2018 se establecen cuatro clases de ejecución para las estructuras de acero: EXC1, EXC2, EXC3 y EXC4. Los requisitos exigibles a cada clase de ejecución quedan recogidos en el apartado A.3 de la misma norma. 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 conciencia (CC) o clase de fiabilidad (RC3), equivalente al nivel de riesgo definido en el Código Estructural. Ambos conceptos se definen en la norma UNE-EN 1990 (Anexo B). Se establecen 3 clases de consecuencia: CC3, CC2 y CC1, que son equivalentes a la 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.

Tabla 28 **Clases de ejecución de la estructura metálica**
(Tabla C.1 UNE-EN 1993-1-1:2005/A1:2014)

Clase de fiabilidad (RC) o Clase de consecuencia (CC)	Tipo de cargas	
	Estáticas, cuasi-estáticas o sísmicas DLC	Fatiga o sísmicas DCM o DCH
RC3 o CC3	EXC3*	EXC3*
RC2 o CC2	EXC2	EXC3
RC1 o CC1	EXC1	EXC2

*La clase de ejecución EXC4 se puede especificar para estructuras con consecuencias extremas en caso de fallo estructural

Como se puede observar, 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. Esto se debe a que en el Código Estructural se ha incluido la especificación que existía en la norma UNE-EN 1990-2:2011+A1:2011, que fue sustituida por la indicada UNE-EN 1990-2:2019, que refiere a la UNE-EN 1993-1-1:2005/A1:2014.

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.

2.5.10.2 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 contempla, en sus apartados 14.3 y 22.4, dos niveles de control de la conformidad de los procesos de ejecución de las estructuras de acero: nivel normal y nivel intenso, que se encuentran relacionadas con la clase de ejecución.

Tabla 29 **Relación entre niveles de control y clases de ejecución**
(Tabla 14.3.1 del Código Estructural)

Nivel de control de ejecución, según el Código Estructural	Clase de ejecución para los elementos de acero (conforme al apartado 91.2)
Intenso.	Clase 3 o 4.
Normal.	Clase 2.

El Código Estructural establece, asimismo, que salvo que una reglamentación específica indique lo contrario, todos los puentes serán clasificados como clase de ejecución 3 ó 4 y tendrán un nivel de control de ejecución Intenso.

2.5.11 COEFICIENTE PARCIAL

Los coeficientes parciales de seguridad del acero para puentes se definen en el apartado 6.1 de la UNE-EN 1993-2:2013, donde se indica que estos coeficientes se pueden definir también en el Anejo Nacional. Los valores recomendados son los indicados en la siguiente tabla.

Tabla 30 **Coeficientes parciales de seguridad recomendados en UNE-EN 1993-2:2013**
(Apartado 6.1)

γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	γ_{M3}	$\gamma_{M3,ser}$	γ_{M4}	γ_{M5}	$\gamma_{M6,ser}$	γ_{M7}
1,00	1,10	1,25	1,25	1,10	1,10	1,10	1,00	1,10

A continuación, se incluyen los coeficientes de seguridad recogidos en el apartado 6.1 del Anejo Nacional de UNE-EN 1993-2 en el que se definen dichos coeficientes.

Tabla 31 **Coeficientes parciales de seguridad recomendados en el Anejo Nacional de UNE-EN 1993-2:2013 (Apartado 6.1)**

γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	γ_{M3}	$\gamma_{M3,ser}$	γ_{M4}	γ_{M5}	$\gamma_{M6,ser}$	γ_{M7}
1,05	1,10	1,25	1,25	1,10	1,10	1,10	1,00	1,10

Llama la atención la diferenciación del coeficiente γ_{M0} entre los valores recomendados por el Eurocódigo y el Anejo Nacional que, en cualquier caso, permite adoptar para

puentes el coeficiente parcial $\gamma_{Mo}=1,00$ siempre que satisfagan las condiciones incluidas en el apartado AN.4.3 del citado Anejo Nacional. Las condiciones a cumplir son las siguientes:

- Tolerancias más “estrictas” según el Artículo 80 de la Instrucción EAE, aprobada por Real Decreto 751/2011.
- Garantías adicionales para el acero según el Artículo 84 de la Instrucción EAE, aprobada por Real Decreto 751/2011. Se deberá garantizar que el límite elástico del acero empleado en la obra presente una dispersión acorde con el coeficiente parcial reducido, según un análisis basado en la teoría de fiabilidad estructural.
- Control de ejecución intenso según el Artículo 89 de la Instrucción EAE, aprobada por Real Decreto 751/2011.

Con la derogación de la EAE-11 (Real Decreto 470/2021, de 29 de junio), todas las referencias, en los Anejos Nacionales de los Eurocódigos, a la EAE-11 en temas relacionados con las propiedades de los materiales, durabilidad, ejecución, control de calidad y mantenimiento de las estructuras se sustituyen por la referencia al Código Estructural, normativa que la sustituye. En este caso, la equivalencia entre los artículos de la Instrucción EAE y los correspondientes al Código Estructural son los siguientes:

- El artículo 80º de la EAE-11 (Tolerancias) corresponde al Anejo 16 del Código Estructural (Tolerancias en elementos de acero)
- El artículo 84º de la EAE-11 (Niveles de garantía y distintivos de calidad) corresponde al Artículo 18 del Código Estructural (Garantía de la conformidad de productos y procesos de ejecución, distintivos de calidad).
- El artículo 89º de la EAE-11 (Criterios generales para el control de ejecución) corresponde al Capítulo 24 del Código Estructural, artículo 101 (Programación del control de las estructuras de acero).

El Código Estructural en su Anejo 29 (apartado 6.1) define los coeficientes parciales de seguridad para el acero estructural de forma equivalente a lo indicado en el Anejo Nacional de la UNE-EN 1993-2.

2.5.12 NOTAS GENERALES A INCLUIR

Además de la definición de los requisitos que especifican el material, es importante incluir alguna información adicional, en especial en cuanto a las consideraciones adoptadas en la definición de aquellos:

- Vida útil de la estructura de 100 años (para puentes)
- Referencia a la normativa que rige el acero constitutivo de cada elemento
- Posible ajuste de los requisitos definidos en el cuadro de especificaciones técnicas en zonas particulares dentro de un elemento

3 EQUIVALENCIA ENTRE LA ESPECIFICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN LOS EUROCÓDIGOS Y EL CÓDIGO ESTRUCTURAL

En este capítulo se expone la equivalencia entre la especificación del acero estructural según el Código Estructural y la especificación según los Eurocódigos, tratada con detalle en el capítulo anterior.

En el caso del acero estructural, la especificación establecida en el Código Estructural, 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.

Tabla 32 **Comparación de aceros estructurales contemplados según normas europeas y Código Estructural**

Norma europea de referencia	Aceros estructurales según norma europea	Aceros estructurales según Código Estructural
UNE-EN 10025-2	S235JR	S235JR
	S235J0	S235J0
	S235J2	S235J2
	S275JR	S275JR
	S275J0	S275J0
	S275J2	S275J2
	S355JR	S355JR
	S355J0	S355J0
	S355J2	S355J2
	S355K2	S355K2
	-	S450J0
	S460JR	-
	S460J0	-
	S460J2	-
	S460K2	-
S500J0	-	
UNE-EN 10025-3	S275N	S275N
	S275NL	S275NL
	S355N	S355N
	S355NL	S355NL

Norma europea de referencia	Aceros estructurales según norma europea	Aceros estructurales según Código Estructural
	S420N S420NL S460N S460NL	S420N S420NL S460N S460NL
UNE-EN 10025-4	S275M S275ML S355M S355ML S420M S420ML S460M S460ML S500M S500ML	S275M S275ML S355M S355ML S420M S420ML S460M S460ML - -
UNE-EN 10025-5	S235J0W S235J2W S355J0WP S355J2WP S355J0W S355J2W S355K2W S355J4W S355J5W S420J0W S420J2W S420K2W S420J4W S420J5W S460J0W S460J2W S460K2W S460J4W S460J5W	S235J0W S235J2W - - S355J0W S355J2W S355K2W - - - - - - - - - - - - -
UNE-EN 10025-6	S460Q S460QL S460QL1 S500Q S500QL S500QL1 S620Q S620QL S620QL1 S690Q S690QL S690QL1 S890Q S890QL S890QL1	S460Q S460QL S460QL1 - - - - - - - - - - - - -

Norma europea de referencia	Aceros estructurales según norma europea	Aceros estructurales según Código Estructural
	S960Q	-
	S960QL	-
	S960QL1	-

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.

Idénticos son también los coeficientes parciales de seguridad aplicables a la resistencia, como se indicó previamente.

El aspecto que presenta una mayor divergencia entre ambos códigos normativos es la determinación de las clases de ejecución de la estructura de acero, según lo indicado en el apartado 2.5.8.1, si bien las diferencias se deben a que en el Código Estructural se ha incluido la especificación que existía en la norma UNE-EN 1990-2:2011+A1:2011, que fue sustituida por la indicada UNE-EN 1990-2:2019.

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.

4 RESUMEN DE LA GUÍA Y EJEMPLO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

A lo largo de los capítulos 2 y 3 de esta guía, se ha descrito la información recogida en la normativa en relación con la especificación técnica del acero estructural. En esta guía se ha reunido en un solo documento la información definida en varias normas (UNE-EN 1993-1-1, UNE-EN 1993-1-10, UNE-EN 1993-2, UNE-EN 1994-1-1, UNE-EN 1994-2, UNE-EN 10027, UNE-EN 10025, UNE-EN 10210, UNE-EN 10219 y UNE-EN 10164 y Código Estructural, entre otras) con el objetivo de facilitar la correcta definición y consideración de todos los requisitos necesarios y exigidos por la normativa para realizar la especificación técnica del acero estructural.

A modo de resumen, se incluye en este capítulo de forma compacta la información necesaria para la definición de un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural, y se concreta, además, un ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural definido según los Eurocódigos (UNE-EN 1993-1-1, UNE-EN 1993 2, UNE-EN 1994-1-1, UNE-EN 1994-2 y normas UNE-EN asociadas).

4.1 RESUMEN DE LA GUÍA

. El resumen de la guía, presentado en la tabla 33, incluye la siguiente información:

- Requisitos a incluir en un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural, según los Eurocódigos (columna “Requisitos”)
- Designación tipo de cada uno de los requisitos, según los Eurocódigos (en la columna “Designación tipo”)
- Normativa y apartado de ésta a consultar para la definición de cada requisito (en las columnas “Norma de aplicación” y “Apartado de la norma de aplicación a consultar”)
- Apartado de esta guía en el que se explican los criterios para la definición de cada uno de los requisitos y particularidades en la definición de los mismos (en la columna “Comentarios”)

Dado que se trata de un resumen compacto, esta tabla se debe entender como una ayuda rápida para orientar a la definición de los parámetros a incluir en un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural, que además conviene leer de manera conjunta con el ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas definido en el apartado 4.2. Los criterios y explicaciones detalladas para la definición de cada uno de los requisitos a incluir en el cuadro de especificaciones técnicas de los aceros estructurales se realizan en los apartados correspondientes de esta guía.

Tabla 33 **Requisitos a definir y normas a aplicar para la correcta especificación técnica del acero estructural según a los Eurocódigos**

Requisitos mínimos a incluir en un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural prescrito por propiedades, definido según los Eurocódigos (UNE-EN 1993, UNE-EN 1994 y normas UNE-EN asociadas)				
Requisito	Designación tipo	Norma de aplicación	Apartado de la norma de aplicación a consultar	Comentarios
Referencia a las normas UNE-EN 10027, UNE-EN 10025, UNE-EN 10210, UNE-EN 10219 y UNE-EN 10164	-	-	-	-
Tipo y función estructural	S (acero de construcción)	-	-	Se trata en el apartado 2.5.1 de esta guía.
Valor mínimo del límite elástico para el rango más bajo de espesores (MPa)	235, 275, 355, 420, 450, 460	UNE-EN 10025-2:2020 a UNE-EN 10025-6:2020, UNE-EN 10210:2006 y UNE-EN 10219:2006	Apartado 4.1.2 de cada una de las normas	Solo los aceros más comunes (S275, S355, S450/S460) se encuentran recogidos en todas las normas. El resto es específico de una o varias de las normas citadas. Se trata en el apartado 2.5.1 de esta guía.
Grado	Combinación de una primera letra (J, K o L) en función de la energía del ensayo y un segundo carácter (R, 0, 2, 3, 4, 5 o 6) en función de la temperatura del ensayo.	UNE-EN 10027-1:2017	Apartado 7.3, tabla 1	Esta nomenclatura es solo de aplicación a los aceros laminados en caliente no aleados (UNE-EN 10025-2:2020, UNE-EN 10210:2006 y UNE-EN 10219:2006) y a los aceros laminados en caliente con resistencia mejorada a la corrosión (UNE-EN 10025 5:2020). Se trata en el apartado 2.5.3 de esta guía. En el resto de los aceros no se emplea esta denominación del grado, estando su energía de flexión por choque implícita en la denominación de la condición de suministro. En aquellos con características mejoradas se emplean solamente los códigos "L" o "L1" tras el código de la condición de suministro. Este código se encuentra definido en "Aptitud para una aplicación particular"
Condición de suministro	+AR, +N, +M, +A, +Q	UNE-EN 10027-1:2017	Apartado 7.3, tabla 1	El empleo del código "AR" normalmente se omite. Se trata en el apartado 2.5.4 de esta guía.
		UNE-EN 10025-2:2020 a UNE-EN 10025-6:2020,	Apartado 4.2.2	
		UNE-EN 10210:2006 y UNE-EN 10219:2006	Anexo B	
Aptitud para una aplicación particular	+W, +H, +L (L1), +P	UNE-EN 10027-1:2017	Apartado 7.3, tabla 1	Se trata en el apartado 2.5.5 de esta guía.
		UNE-EN 10025-2:2020 a UNE-EN 10025-6:2020,	Apartado 4.2.2	

Requisitos mínimos a incluir en un cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural prescrito por propiedades, definido según los Eurocódigos (UNE-EN 1993, UNE-EN 1994 y normas UNE-EN asociadas)					
Requisito	Designación tipo	Norma de aplicación	Apartado de la norma de aplicación a consultar	Comentarios	
		UNE-EN 10210:2006 y UNE-EN 10219:2006	Apartado 4.2.2		
Garantía de estricción mínima	+Z15, +Z25, +Z35	UNE-EN 10164:2019	Apartado 6.1, Tabla 1	Se trata en el apartado 2.5.6 de esta guía.	
		UNE-EN 10027-1:2017	Apartado 7.3, Tabla 16		
Tornillos y bulones	4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9	Las indicadas en UNE-EN 1993-1-8	Apartado 3.1.1, Tabla 3.1	Se trata en el apartado 7 de esta guía.	
Pernos conectadores	Grupo de materiales 1	UNE-EN ISO 13918 ISO/TR 15608	Apartado 5.3.3.2, Tabla 2	Se trata en el apartado 2.5.68 de esta guía.	
Categoría de corrosividad y durabilidad del sistema de protección	Categoría de corrosividad: C1, C2, C3, C4, C5, CX (corrosividad ambiental); Im1, Im2, Im3, Im4 (estructuras sumergidas o enterradas)	UNE-EN 12944-2:2018	Apartado 5.1, Tablas 1 y 2	Se trata en el apartado 2.5.9 de esta guía. En general, todos los puentes deben tener una categoría de durabilidad Muy alta (MA)	
	Categoría de durabilidad: Baja (B), Media (M), Alta (A), Muy Alta (MA)	UNE-EN 12944-1:2018	Apartado 5.5		
Clase de ejecución y nivel de control	Clase de ejecución: Clase 2, 3 o 4	Código Estructural (UNE-EN 1990)	Artículo 91.2, Tabla 91.1	Se trata en el apartado 2.5.10 de esta guía. Los puentes serán clase de ejecución 3 o 4 y tendrán un nivel de control intenso	
	Nivel de control: Normal o Intenso		Artículos 14.3 y 22.4		
Coefficiente parcial		Anejo Nacional UNE-EN 1993-2:2009	Apartado 6.1	Cuando se satisfagan ciertas condiciones, los coeficientes γ_{M0} y γ_{M1} pueden reducirse. Ver el apartado 2.5.11 de esta Guía para mayor detalle.	
	Puentes				
	γ_{M0}				1.05
	γ_{M1}				1.10
	γ_{M2}	1.25			
Notas generales	<ul style="list-style-type: none"> Vida útil de la estructura de 100 años; Normativa de proyecto CEV (soldabilidad; en caso necesario) 			Se trata en el apartado 2.5.12 de esta Guía.	

4.2 EJEMPLO DE CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

A continuación, se incluye un ejemplo de cuadro de especificaciones técnicas del acero estructural definido según los Eurocódigos y normas europeas asociadas.

Este cuadro debe servir únicamente como ejemplo del tipo de información (requisitos) a incluir en un cuadro de especificaciones técnicas. 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.

Tabla 34 Ejemplo de cuadro de especificación técnica del acero estructural

CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN UNE-EN 1993, UNE-EN 1994 Y NORMAS ASOCIADAS					
Material	Elemento	Tipo	Límite elástico f_y [MPa]	Coficiente Parcial en Estado Límite Último	Equivalencia con Código Estructural
Acero estructural	Chapas (1)	S355 J2 +N	355 (e ≤ 40 mm) 335 (40 mm < e ≤ 80 mm)	$\gamma_{M0}=1.05$ $\gamma_{M1}=1.10$ $\gamma_{M2}=1.25$	S355 J2 +N
		S355 K2 +N	315 (80 mm < e ≤ 100 mm)		S355 K2 +N
	Chapas de acero autopatinable (4)	S355 J2 W +N	355 (e ≤ 40 mm) 335 (40 mm < e ≤ 80 mm)		S355 J2 W +N
		S355 K2 W +N	315 (80 mm < e ≤ 100 mm)		S355 K2 W +N
	Perfiles laminados (1)	S275 JO	275		S275 JO
	Perfiles tubulares (e < 8 mm) (5)	S275 JO H	275		S275 JO H
	Perfiles tubulares (e ≥ 8 mm) (5)	S355 J2 H	355		S355 J2 H
	Chapas indicadas con calificación Z (6)	S355 J2 +N + Z35	355 (e ≤ 40 mm) 335 (40 mm < e ≤ 80 mm)		S355 J2 +N + Z35
		S355 K2 +N +Z35	315 (80 mm < e ≤ 100 mm)		S355 K2 +N +Z35
	Chapas de acero de grado fino normalizadas (2)	S355 N	355 (e ≤ 40 mm) 335 (40 mm < e ≤ 80 mm)		S355 N
		S355 NL	315 (80 mm < e ≤ 100 mm)		S355 NL
	Chapas de acero de grado fino laminadas termomecánicamente (3)	S460 M	460 (e ≤ 16 mm) 430 (40 mm < e ≤ 80 mm)		S460 M
		S460 ML	400 (80 mm < e ≤ 100 mm)		S460 ML
	Tornillos	8.8 (uniones pretensadas)	640 ($f_u > 800$)		8.8
	Pernos conectadores	SD 1 según UNE-EN ISO 13918:2018 Grupo de materiales 1	350 ($f_u > 450$; $A_5 > 15\%$)		SD1
Normativa de proyecto		UNE-EN 1990, UNE-EN 1991, UNE-EN 1993, UNE-EN 1994, UNE-EN 1997 y UNE-EN 1998 (según la O.C.1/2019 de la Dirección General de Carreteras)			
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			
(1) De acuerdo con UNE-EN 10025-2:2020 (2) De acuerdo con UNE-EN 10025-3:2020 (3) De acuerdo con UNE-EN 10025-4:2020 (4) De acuerdo con UNE-EN 10025-5:2020 (5) De acuerdo con UNE-EN 10219-1:2020 (6) De acuerdo con UNE-EN 10164:2019 y UNE-EN 10025-1:2016					



MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA