Capítulo 18

Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras de acero

Artículo 81 Generalidades

Este capítulo prescribe los requisitos que deben cumplir los materiales utilizables en las estructuras de acero. El Artículo 82 define las características de composición química, mecánicas y tecnológicas que deben cumplir, así como los métodos de ensayo para su determinación. Los Artículos 83 y 84 se refieren, respectivamente, a los tipos de acero y a los diferentes productos (perfiles y chapas) utilizables.

El Artículo 85 especifica los medios de unión utilizables, y el Artículo 86 se refiere a los sistemas de protección necesarios.

Artículo 82 Características de los aceros

82.1 Composición química

La composición química de los aceros utilizables para la fabricación de perfiles y chapas para estructuras de acero será la especificada en el apartado que corresponda, según el tipo de acero, en el Artículo 83.

82.2 Características mecánicas

A los efectos de este Código, las características fundamentales que se utilizan para definir la calidad de los aceros son las siguientes:

a) Diagrama tensión-deformación (carga unitaria-deformación).

b) Carga unitaria máxima a tracción o resistencia a tracción (f_u).

c) Límite elástico (f_y).

d) Deformación correspondiente a la resistencia a tracción o deformación bajo carga máxima ($\varepsilon_{máx}$).

e) Deformación remanente concentrada de rotura (ε_u).

f) Módulo de elasticidad (E).

g) Estricción (Z) expresada en porcentaje.

h) Resiliencia (K_V).

i) Tenacidad de fractura.

Los fabricantes deberán garantizar, como mínimo, las características indicadas en b), c), d), e), f) y h).

82.3 Requisitos de ductilidad

Los aceros utilizables deberán cumplir los siguientes requisitos, al objeto de garantizar una ductilidad suficiente:

$$f_u/f_y \geq 1{,}10$$

$$\varepsilon_u \geq 0{,}15$$

$$\varepsilon_{máx} \geq 15\ \varepsilon_y$$

siendo ε_u la deformación remanente concentrada de rotura medida sobre una base de longitud $5{,}65\ \sqrt{A_o}$, donde A_o es la sección inicial, $\varepsilon_{máx}$ es la deformación correspondiente a la resistencia a tracción o deformación bajo carga máxima y ε_y la deformación correspondiente al límite elástico, dada por $\varepsilon_y = 0{,}002$

+ f_y/E, siendo E el módulo de elasticidad del acero, para el que puede tomarse el valor convencional de 210.000 N/mm^2, salvo que se disponga de resultados procedentes de ensayos del acero.

82.4 Características tecnológicas

La soldabilidad es la aptitud de un acero para ser soldado mediante los procedimientos habituales sin que aparezca fisuración en frío. Es una característica tecnológica importante, de cara a la ejecución de la estructura. Según la norma ISO 581:1980 "Un acero se considera soldable en un grado prefijado, por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada pueda conseguirse la continuidad metálica de la unión, de tal manera que ésta cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades locales y a su influencia en la construcción de la que forma parte integrante".

La resistencia al desgarro laminar del acero se define como la resistencia a la aparición de fisuras en piezas soldadas sometidas a tensiones de tracción en dirección perpendicular a su superficie. Para evitar el desgarro laminar, se deberá reducir en lo posible dichas tensiones mediante un proyecto adecuado de los detalles constructivos correspondientes y analizar si es preciso emplear aceros poco susceptibles a este defecto, tales como los aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto, indicados en el apartado 83.2.5.

La aptitud al doblado es un índice de la ductilidad del material, y se define por la ausencia o presencia de fisuras en el ensayo de doblado. La aptitud al doblado es una característica opcional que debe verificarse solo si lo exige el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto o si lo indica el pedido.

82.5 Determinación de las características de los aceros

82.5.1 Composición química

En cuanto a la composición química del acero, los contenidos más importantes son los de los elementos que aparecen en la expresión del valor del carbono equivalente (definido en el apartado 82.5.5), así como los contenidos en fósforo y azufre, cuya limitación obedece a la necesidad de minimizar las inclusiones.

La determinación de la composición química se efectuará mediante los métodos especificados en la norma UNE correspondiente al tipo de acero.

82.5.2 Características de tracción

La determinación de las características mecánicas de tracción (f_u, f_y, $\varepsilon_{máx}$, ε_u, E) se efectuará mediante el ensayo de tracción normalizado en la norma UNE-EN ISO 6892-1.

La determinación de la estricción (Z) se realizará a partir de las secciones rectas, inicial y de rotura, de la probeta sometida al ensayo de tracción, mediante la expresión:

$$Z = \frac{A_i - A_u}{A_i} 100$$

siendo A_i y A_u, respectivamente, la sección recta transversal inicial y de rotura.

82.5.3 Resiliencia

La determinación de la resiliencia se efectuará mediante el ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy normalizado en la norma UNE-EN ISO 148-1.

82.5.4 Tenacidad de fractura

La determinación rigurosa de la tenacidad de fractura se efectuará, en los casos especiales en que se requiera, mediante ensayos específicos de Mecánica de Fractura, que deberán realizarse en laboratorios especializados.

82.5.5 Soldabilidad (carbono equivalente)

El parámetro fundamental de los aceros desde el punto de vista de la soldabilidad es el valor del carbono equivalente (CEV) que se establece para cada tipo de acero.

El valor del carbono equivalente se define mediante la siguiente expresión en la que los contenidos de los elementos químicos indicados se expresan en tanto por ciento:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

No obstante, se considerará que se cumple el requisito de soldabilidad en un acero cuyo valor del carbono equivalente supere al establecido en este Código para el mismo, si el procedimiento de soldeo del mismo está cualificado según la norma UNE-EN ISO 15614-1 (o UNE-EN ISO 15613 si precisa utilizar un cupón de prueba no normalizado).

82.5.6 Características de doblado

La determinación de la aptitud al doblado se efectuará comprobando la ausencia de fisuras en el ensayo de doblado simple, normalizado en la norma UNE-EN ISO 7438.

82.5.7 Resistencia al desgarro laminar

La comprobación de que un acero es resistente al desgarro laminar se efectuará mediante la obtención de la estricción en el ensayo de tracción, debiendo cumplirse lo especificado en la tabla 83.2.5.

Artículo 83 Tipos de acero

Este código contempla los siguientes tipos de acero utilizables en perfiles y chapas para estructuras de acero:

- Aceros no aleados laminados en caliente. Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con una microestructura normal de ferrita-perlita.
- Aceros con características especiales. Se consideran los siguientes tipos:
  - Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.
  - Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente.
  - Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables).
  - Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido.
  - Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.
  - Aceros inoxidables laminados en caliente.

A los efectos de este Código, los aceros normalizados en las normas indicadas en la tabla 83 se consideran equivalentes a los tipos de aceros mencionados anteriormente:

Tabla 83 Aceros equivalentes a los tipos de acero expresados

TIPO DE ACERO	NORMA UNE-EN
Aceros no aleados laminados en caliente.	UNE-EN 10025-2
Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.	UNE-EN 10025-3
Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente.	UNE-EN 10025-4
Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables).	UNE-EN 10025-5
Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido.	UNE-EN 10025-6:2007+A1
Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.	UNE-EN 10164 UNE-EN 10025-1
Aceros inoxidables laminados en caliente.	UNE-EN 10088-4 UNE-EN 10088-5

Los apartados 83.1 y 83.2 establecen las características y propiedades para los aceros descritos basadas en las contempladas en las normas de acero para productos laminados en caliente UNE-EN 10025-2, UNE-EN 10025-3, UNE-EN 10025-4, UNE-EN 10025-5 y UNE-EN 10025-6 y son compatibles con los tipos de acero y las características mecánicas de los aceros contemplados en las normas UNE-EN 10210-1 y UNE-EN 10219-1 de perfiles se sección hueca y UNE-EN 10162 de perfiles de sección abierta.

Para el límite elástico característico f_{yk} se tomará el valor nominal indicado en la norma UNE-EN correspondiente al tipo de acero de que se trate, en función del tipo y grado de acero y del espesor nominal de producto o, alternativamente, como simplificación, cuando el acero disponga de unas garantías adicionales según el Artículo 18, el valor nominal establecido en este artículo para el tipo de acero de que se trate. Igualmente se procederá con el resto de las características y propiedades que figuran en los distintos apartados de este artículo.

83.1 Aceros no aleados laminados en caliente

Los aceros no aleados laminados en caliente utilizables a los efectos de este Código son los que corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.1.a.

Tabla 83.1.a Aceros no aleados laminados en caliente

Tipo / Grado	S 235	S 275	S 355	S 450
JR	S 235 JR	S 275 JR	S 355 JR	-
J0	S 235 J0	S 275 J0	S 355 J0	S 450 J0
J2	S 235 J2	S 275 J2	S 355 J2	-
K2	-	-	S 355 K2	-

Se admiten los estados de desoxidación FN (no se admite acero efervescente), en el caso de los grados JR y J0, y FF (acero calmado), en el caso de los grados J2 y K2.

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir la tabla 83.1.b.

Tabla 83.1.b CEV máximo

Tipo	Espesor nominal de producto *t* (mm)			
	≤ 30	30 < *t* ≤40	40 < *t* ≤150	150 < *t* ≤250
S 235	0,35	0,35	0,38	0,40
S 275	0,40	0,40	0,42	0,44
S 355	0,45	0,47	0,47	0,49
S 450	0,47	0,49	0,49	-

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.1.c.

Tabla 83.1.c Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 JR, S275 JR, S355 JR	0,045	0,045
S235 J0, S275 J0, S355 J0, S450 J0	0,040	0,040
S235 J2, S275 J2, S355 J2, S355 K2	0,035	0,035

En la tabla 83.1.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico f_y y resistencia a tracción f_u para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.1.d Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm^2)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		40 < t ≤80	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235	235	360<f_u<510	215	360<f_u<510
S 275	275	430<f_u<580	255	410<f_u<560
S 355	355	490<f_u<680	335	470<f_u<630
S 450	450	550<f_u<720	410	530<f_u<700

En la tabla 83.1.e se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.1.e Resiliencia (*J*), según el espesor nominal de producto t (mm)

Grado	Temperatura de ensayo (ºC)	Resiliencia (*J*)		
		$t \leq 150$	150< $t \leq 250$	250< $t \leq 400$
JR	20	27	27	-
J0	0	27	27	-
J2	-20	27	27	27
K2	-20	40 (*)	33	33

(*) Equivale a una resiliencia de 27*J* a –30ºC.

Para $t \leq 12$ mm se aplicará lo indicado en la norma UNE-EN 10025-1.

Todos los tipos y grados de acero de la tabla 83.1.a son, generalmente, aptos para el soldeo por todos los procedimientos, siendo creciente la soldabilidad desde el grado JR hasta el K2.

83.2 Aceros con características especiales

83.2.1 Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado

Los aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado, utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.1.a.

Tabla 83.2.1.a Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado

Tipo / Grado	S 275	S 355	S 420	S 460
N	S 275 N	S 355 N	S 420 N	S 460 N
NL	S 275 NL	S 355 NL	S 420 NL	S 460 NL

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir la tabla 83.2.1.b.

Tabla 83.2.1.b CEV máximo

Tipo	Espesor nominal t (mm)		
	$t \leq 63$	$63 < t \leq 100$	$100 < t \leq 250$
S 275 N/NL	0,40	0,40	0,42
S 355 N/NL	0,43	0,45	0,45
S 420 N/NL	0,48	0,50	0,52
S 460 N/NL	0,53	0,54	0,55

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.1.c.

Tabla 83.2.1.c Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 N, S355 N, S420 N, S460 N	0,035	0,030
S275 NL, S355 NL, S420 NL, S460 NL	0,030	0,025

En la tabla 83.2.1.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico f_y y resistencia a tracción f_u para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.1.d Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm^2)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 275 N/NL	275	$370<f_u<510$	255	$370<f_u<510$
S 355 N/NL	355	$470<f_u<630$	335	$470<f_u<630$
S 420 N/NL	420	$520<f_u<680$	390	$520<f_u<680$
S 460 N/NL	460	$540<f_u<720$	430	$540<f_u<720$

En la tabla 83.2.1.e se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.1.e Resiliencia (*J*) según la dirección, longitudinal (*L*) o transversal (*T*), de ensayo

Grado	Dirección	Temperatura de ensayo (ºC)						
		20	0	-10	-20	-30	-40	-50
N	*L*	55	47	43	40(*)	-	-	-
	T	31	27	24	20	-	-	-
NL	*L*	63	55	51	47	40	31	27
	T	40	34	30	27	23	20	16

(*) Equivale a una resiliencia de 27*J* a –30ºC.

En esta tabla, la verificación de valores se efectuará, salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares disponga otra cosa, sobre ensayos efectuados en la dirección longitudinal, y a una temperatura de –20ºC, o –50ºC, para los grados N y NL, respectivamente.

Todos los tipos y grados de acero de la tabla 83.2.1.a deben ser aptos para el soldeo por los procedimientos habituales.

83.2.2 Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente

Los aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente, utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.2.a.

Tabla 83.2.2.a Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente

Tipo / Grado	S 275	S 355	S 420	S 460
M	S 275 M	S 355 M	S 420 M	S 460 M
ML	S 275 ML	S 355 ML	S 420 ML	S 460 ML

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir la tabla 83.2.2.b.

Tabla 83.2.2.b CEV máximo

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$63 < t$
S 275 M/ML	0,34	0,34	0,35	0,38
S 355 M/ML	0,39	0,39	0,40	0,45
S 420 M/ML	0,43	0,45	0,46	0,47
S 460 M/ML	0,45	0,46	0,47	0,48

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.2.c.

Tabla 83.2.2.c Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 M, S355 M, S420 M, S460 M	0,035	0,030
S275 ML, S355 ML, S420 ML, S460 ML	0,030	0,025

En la tabla 83.2.2.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico f_y y resistencia a tracción f_u para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.2.d Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm^2)

Tipo	Espesor nominal t(mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 275 M/ML	275	$370<f_u<530$	255	$360<f_u<520$
S 355 M/ML	355	$470<f_u<630$	335	$450<f_u<610$
S 420 M/ML	420	$520<f_u<680$	390	$500<f_u<660$
S 460 M/ML	460	$540<f_u<720$	430	$530<f_u<710$

En la tabla 83.2.2.e se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.2.e Resiliencia (*J*) según la dirección, longitudinal (*L*) o transversal (*T*), de ensayo

Grado	Dirección	Temperatura de ensayo (ºC)						
		20	0	-10	-20	-30	-40	-50
M	*L*	55	47	43	40(*)	-	-	-
	T	31	27	24	20	-	-	-
ML	*L*	63	55	51	47	40	31	27
	T	40	34	30	27	23	20	16

(*) Equivale a una resiliencia de 27*J* a –30ºC.

En esta tabla, la verificación de valores se efectuará, salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares disponga otra cosa, sobre ensayos efectuados en la dirección longitudinal, y a una temperatura de –20ºC, o –50ºC, para los grados M y ML, respectivamente.

Todos los tipos y grados de acero de la tabla 83.2.2.a deben ser aptos para el soldeo por los procedimientos habituales.

83.2.3 Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables)

Los aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (también llamados aceros patinables o aceros auto-protectores) utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.3.a.

Tabla 83.2.3.a Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica

Tipo / Grado	S 235	S 355
J0	S 235 J0 W	S 355 J0 W
J2	S 235 J2 W	S 355 J2 W
K2		S 355 K2 W

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá ser menor o igual que 0,44 para el tipo S235, y que 0,52 para el tipo S 355.

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.3.b.

Tabla 83.2.3.b Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 J0 W, S355 J0 W	0,040	0,040
S235 J2 W	0,040	0,035
S355 J2 W, S355 K2 W	0,035	0,035

En la tabla 83.2.3.c se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico f_y y resistencia a tracción f_u para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.3.c Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm^2)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235 J0W S 235 J2W	235	$360<f_u<510$	215	$360<f_u<510$
S 355 J0W S 355 J2W S 355 K2W	355	$490<f_u<680$	335	$470<f_u<630$

En la tabla 83.2.3.d se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.3.d Resiliencia (*J*)

Grado	Temperatura de ensayo (ºC)	Resiliencia (*J*)
J0	0	27
J2	-20	27
K2	-20	40 (*)

(*) Equivale a una resiliencia de 27*J* a –30ºC.

Para $t \leq 12$ mm se aplicará lo indicado en la norma UNE-EN 10025-1.

Todos los tipos de aceros indicados son soldables, pero su soldabilidad no es ilimitada para los diferentes procesos de soldadura. Por ello, el suministrador deberá facilitar a la dirección facultativa los procedimientos recomendados para realizar, cuando sea necesario, las soldaduras. En todo caso, debe eliminarse antes de la soldadura la pátina autoprotectora que se haya formado en la zona próxima (a menos de 20 mm) de los bordes de la unión. Debe asegurarse que la soldadura sea también resistente a la corrosión atmosférica.

83.2.4 Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido

Los aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.4.a.

Tabla 83.2.4.a Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido

Grado \ Tipo	S 460
Q	S 460 Q
QL	S 460 QL
QL1	S 460 QL1

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.4.b.

Tabla 83.2.4.b. Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S460 Q	0,030	0,017
S460 QL, S460 QL1	0,025	0,012

En la tabla 83.2.4.c se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico mínimo f_y y resistencia a tracción f_u para estos aceros.

Tabla 83.2.4.c Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm^2)

Tipo	Espesor nominal t(mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 460 Q S 460 QL S 460 QL1	460	$550<f_u<720$	440	$550<f_u<720$

En la tabla 83.2.4.d se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.4.d Resiliencia (*J*) según la dirección, longitudinal (*L*) o transversal (*T*), de ensayo

Grado	Dirección	Temperatura de ensayo (ºC)			
		0	-20	-40	-60
Q	*L*	40	30	-	-
	T	30	27	-	-
QL	*L*	50	40	30	-
	T	35	30	27	-
QL1	*L*	60	50	40	30
	T	40	35	30	27

En esta tabla, la verificación de valores se efectuará, salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares disponga otra cosa, sobre ensayos efectuados en la dirección longitudinal, y a una temperatura de –20ºC, -40ºC o –60ºC, para los grados Q, QL y QL1 respectivamente.

Dada su composición química, y al objeto de garantizar la soldabilidad del acero, el suministrador deberá informar a la dirección facultativa de los elementos de aleación que se han incorporado al acero que se suministra, y de los procedimientos recomendados para realizar, cuando sea necesario, las soldaduras.

83.2.5 Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto

Los aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto utilizables a los efectos de este Código son aceros tipificados en alguno de los apartados de este Artículo 83, que cumplen, además, los valores mínimos de estricción de la tabla 83.2.5, obtenida en ensayo de tracción en la dirección del espesor.

Tabla 83.2.5 Grados y valores mínimos de estricción

Grado	Estricción (%)	
	Valor mínimo medio de 3 ensayos	Valor mínimo individual
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

83.2.6 Aceros inoxidables, laminados en caliente

Los aceros inoxidables, utilizables a los efectos de este Código, corresponden a los aceros laminados en caliente de los tipos ferríticos y austenoferríticos recogidos en la tabla 83.2.6.a, así como los incluidos en el Anejo 24, el cual detalla las reglas adicionales para el proyecto de estructuras con aceros inoxidables.

En caso de utilización de otros aceros inoxidables incluidos en la tabla A24.2.1 del Anejo 24, se complementarán los correspondientes parámetros de las tablas 83.2.6.b, 83.2.6.c y 83.26.d a partir de los valores recogidos en la norma UNE-EN 10088.

Tabla 83.2.6.a Aceros inoxidables estructurales

Tipo / Grado	Ferrítico	Austeno-ferrítico	Austeno-ferrítico	Austeno-ferrítico
J0, J2, K2	1.4003	1.4482	1.4362	1.4462

Los porcentajes de carbono, fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.6.b.

Tabla 83.2.6.b Contenidos máximos en C, P y S

Tipo	C (% máx.)	P (% máx.)	S (% máx.)
1.4003	0,030	0,040	0,015
1.4482	0,030	0,035	0,030
1.4362	0,030	0,035	0,015
1.4462	0,030	0,035	0,015

Los porcentajes de aleantes, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.6.c.

Tabla 83.2.6.c Contenido máximo y rango mínimo/máximo de aleantes, en masa (%)

Tipo	N	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
1.4003	0,03	1,00	1,5	10,5/12,5	0,3/1,0	----	----
1.4482	0,05/0,20 0,20	1,00	4,0/6,0 4,0/5,0	19,5/21,5	1,5/3,5 1,0/3,0	0,10/0,60	1,00
1.4362	0,05/0,20 0,20	1,00	2,0	22,0/24,5 22,0/24,0	3,5/5,5	0,10/0,60	0,10/0,60
1.4462	0,10/0,22 0,22	1,00	2,0	21,0/23,0	4,5/6,5	2,5/3,5	----

En la tabla 83.2.6.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico f_y y resistencia a tracción f_u para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.6.d Valor mínimo de límite elástico y rango resistencia a tracción (N/mm^2)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 13,5$		$13,5 < t \leq 75$	
	f_y	f_u	f_y	f_u
1.4003	280 (L) 320 (T)	450/650	250 (L) 280 (T)	450/650
1.4482	480	660/900	450	650/850
1.4362	400	650/850	400	630/800
1.4462	460	700/950	460	640/840

En la tabla 83.2.6.e se detallan las especificaciones de resiliencia mínima de los distintos grados de acero incluidos en la tabla 83.2.6.a.En caso de utilización de otros aceros inoxidables incluidos en la tabla A24.2.1 del Anejo 24, los requisitos de resiliencia serán los indicados en la norma UNE-EN 10088-4.

Tabla 83.2.6.e Resiliencia (*J*)

Temperatura de Ensayo (ºC)	Dirección Longitudinal (J)	Dirección Transversal (J)
20	100	60

A efectos de cálculo, para el análisis global y para determinar la resistencia de elementos y secciones, pueden adoptarse, para el acero inoxidable laminado en caliente, un módulo de elasticidad de 200.000 N/mm^2 para austenoferríticos (220.000 N/mm^2 para ferríticos) y un coeficiente de Poisson en régimen elástico de 0,3.

Todos los tipos de aceros inoxidables son soldables, pero su soldabilidad no es ilimitada para los diferentes procesos de soldadura. Por ello, el suministrador deberá facilitar a la dirección facultativa los procedimientos recomendados para realizar, cuando sea necesario, las soldaduras. Debe asegurarse que la soldadura sea también inoxidable y resistente a la corrosión atmosférica.

Artículo 84 Productos de acero

En las estructuras de acero se utilizarán exclusivamente los perfiles y chapas contemplados en este Artículo, con las dimensiones y tolerancias que en cada caso se indican.

Los perfiles y chapas deben ser elaborados con los aceros especificados en el Artículo 83.

84.1 Perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente

Los perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente, a los efectos de este Código, son los productos obtenidos mediante laminación en caliente, de espesor mayor o igual que 3 mm, de sección transversal llena y constante, empleados en la construcción de estructuras o en la fabricación de elementos de acero estructural.

Deberán corresponder a alguna de las series indicadas en la tabla 84.1.

Tabla 84.1 Series de perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Perfil IPN	UNE 36521	UNE-EN 10024
Perfil IPE	UNE 36526	UNE-EN 10034
Perfil HEB (base)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil HEA (ligero)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil HEM (pesado)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil U Normal (UPN)	UNE 36522	UNE-EN 10279
Perfil UPE	UNE 36523	UNE-EN 10279
Perfil U Comercial (U)	UNE 36525	UNE-EN 10279
Angular de lados iguales (L)	UNE-EN 10056-1	UNE-EN 10056-2
Angular de lados desiguales (L)	UNE-EN 10056-1	UNE-EN 10056-2
Perfil T	UNE-EN 10055	UNE-EN 10055
Redondo	UNE-EN 10060	UNE-EN 10060

Cuadrado	UNE-EN 10059	UNE-EN 10059
Rectangular	UNE-EN 10058	UNE-EN 10058
Hexagonal	UNE-EN 10061	UNE-EN 10061
Chapa (*)	UNE-EN 10029	UNE-EN 10029

(*) La chapa es el producto laminado plano de anchura mayor que 600 mm, utilizado principalmente como material de partida para la fabricación de elementos planos. Según su espesor t, se clasifica en chapa media (3 mm $\leq t \leq$ 4,75 mm) y chapa gruesa ($t >$ 4,75 mm).

84.2 Perfiles de sección hueca acabados en caliente

Los perfiles de sección hueca acabados en caliente, a los efectos de este Código, son los perfiles huecos estructurales de sección transversal constante, de espesor igual o mayor que 2 mm, conformados en caliente, con o sin tratamiento térmico posterior, o conformados en frío con tratamiento térmico posterior, empleados en la construcción de estructuras.

Deberán corresponder a alguna de las series indicadas en la tabla 84.2.

Tabla 84.2 Series de perfiles de sección hueca acabados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	UNE-EN 10210-2	UNE-EN 10210-2
Sección cuadrada		
Sección rectangular		
Sección elíptica		

84.3 Perfiles de sección hueca conformados en frío

Los perfiles de sección hueca conformados en frío, a los efectos de este Código, son los perfiles huecos estructurales soldados conformados en frío sin tratamiento térmico posterior, de espesor mayor o igual que 2 mm, de sección transversal constante, empleados en la construcción de estructuras.

Deberán corresponder a alguna de las series indicadas en la tabla 84.3.

Tabla 84.3 Series de perfiles de sección hueca conformados en frío

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	UNE-EN 10219-2	UNE-EN 10219-2
Sección cuadrada		
Sección rectangular		

84.4 Perfiles de sección abierta conformados en frío

Los perfiles de sección abierta conformados en frío, a los efectos de este Código, son los perfiles de sección constante, con formas diversas, producidos por conformado en frío de chapas planas laminadas en caliente o en frío, empleados en la construcción de estructuras.

Deberán corresponder a alguna de las secciones siguientes:

- Perfil L.
- Perfil U.

- Perfil C.
- Perfil Z.
- Perfil Omega.
- Perfil Tubular con bordes rejuntados.

La norma UNE-EN 10162 establece las dimensiones y tolerancias de los perfiles de sección abierta conformados en frío.

84.5 Perfiles y chapas no normalizados

Además de los perfiles y chapas considerados en los apartados 84.1 a 84.4, que corresponden a series normalizadas, podrán emplearse en la construcción de estructuras perfiles y chapas no normalizados, bien sean de formas abiertas especiales, o variantes de series normalizadas, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Los perfiles y chapas están elaborados con aceros especificados en el Artículo 83.
- El fabricante garantiza las dimensiones y tolerancias, dimensionales y de forma, de los perfiles y chapas.
- El fabricante suministra los valores de los datos de la sección necesarios para el proyecto (área de la sección transversal, momentos de inercia, módulos resistentes, radios de giro, posición del centro de gravedad).

Artículo 85 Medios de unión

85.1 Generalidades

Los medios de unión que contempla este Código son los constituidos por tornillos, tuercas y arandelas, para uniones atornilladas, y el material de aportación, para uniones soldadas.

85.2 Tornillos, tuercas y arandelas

Los tornillos utilizables a los efectos de este Código en uniones de estructuras de acero corresponden a los grados recogidos en la tabla 85.2.a, con las especificaciones de límite elástico f_{yb}, y resistencia a tracción f_{ub} que en la misma se indican.

Tabla 85.2.a Límite elástico mínimo f_{yb} y resistencia a tracción mínima f_{ub} de los tornillos (N/mm^2)

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

No se utilizarán tornillos de grado inferior a 4.6 o superior a 10.9 sin justificación experimental documentada de que son adecuados para la unión a la que se destinan.

Los tornillos normalizados en las normas recogidas en la tabla 85.2.b se consideran tornillos utilizables a los efectos de este Código. En la tabla se indican, para cada grupo normalizado de tornillos, las normas relativas a las tuercas y arandelas que pueden utilizarse con aquéllos. Esta tabla aplica a tornillos, tuercas y arandelas para conjuntos no pretensados, de acuerdo con la norma UNE-EN 15048.

Tabla 85.2.b Compatibilidad de uso de tornillos, tuercas y arandelas

Tornillos normalizados	Tuercas hexagonales normalizadas	Arandelas planas normalizadas
UNE-EN ISO 4014 UNE-EN ISO 4016 UNE-EN ISO 4017 UNE-EN ISO 4018	UNE-EN ISO 4032 UNE-EN ISO 4033 UNE-EN ISO 4034	UNE-EN ISO 7089 UNE-EN ISO 7090 UNE-EN ISO 7091 UNE-EN ISO 7092 UNE-EN ISO 7093-1 UNE-EN ISO 7093-2 UNE-EN ISO 7094

Las arandelas de la serie normal son las normalizadas en las normas UNE-EN ISO 7089, 7090 y 7091; las de la serie estrecha son las normalizadas en UNE-EN ISO 7092; las de la serie ancha son las normalizadas en UNE-EN ISO 7093-1 y 7093-2; finalmente, las de la serie extra ancha son las normalizadas en UNE-EN ISO 7094.

Podrán pretensarse únicamente los tornillos de grados 8.8 y 10.9 normalizados según UNE-EN 14399-1. En este caso, los conjuntos seguirán las partes aplicables de la norma UNE-EN 14399: para tornillo y tuerca, partes 3, 4, 7, 8 y 10; para arandelas, partes 5 y 6.

85.3 Tipos especiales de tornillos

Este Código contempla la utilización, como tipos especiales, de los tornillos de cabeza avellanada, los tornillos calibrados y los tornillos de inyección.

Deben ser fabricados con materiales que cumplan lo establecido en el apartado 85.2. Pueden utilizarse como tornillos sin pretensar o tornillos pretensados (en este último caso, deben cumplir los requisitos establecidos al respecto en el apartado 85.2).

85.3.1 Tornillos de cabeza avellanada

Son tornillos cuya forma y tolerancias dimensionales hacen que, una vez instalados, deben quedar enrasados nominalmente con la cara exterior de la chapa externa.

85.3.2 Tornillos calibrados

Los tornillos calibrados se instalan en agujeros que, cuando están previstos para ser escariados in situ, deben pretaladrarse mediante taladro o punzón con un diámetro, al menos, 3 mm inferior al diámetro definitivo. Cuando el tornillo debe unir varias chapas, deben mantenerse firmemente unidas estas durante el escariado.

El escariado debe realizarse con un dispositivo de husillo fijo, no debiendo emplearse lubricantes ácidos.

85.3.3 Tornillos de inyección

Los tornillos de inyección son tipos especiales de tornillos que disponen de una perforación en la cabeza por donde se inyecta resina para rellenar toda la holgura existente entre su espiga y el agujero.

La cabeza del tornillo de inyección debe presentar un agujero con diámetro mínimo 3,2 mm, al que se acopla la cánula del dispositivo de inyección. Debajo de la cabeza del tornillo debe usarse una arandela especial, cuyo diámetro interior debe ser como mínimo 0,5 mm mayor que el diámetro real del tornillo y que debe tener un lado mecanizado. Debajo de la tuerca debe emplearse una arandela especial ranurada.

El apriete del tornillo debe realizarse antes de iniciar el procedimiento de inyección. Esta consistirá en una resina de dos componentes, cuya temperatura debería estar comprendida entre 15ºC y 25ºC. En el momento de la inyección la unión debe estar limpia de agua.

85.4 Bulones

En la norma UNE-EN 10083-1 se define la calidad de los aceros para los bulones utilizables a los efectos de este Código en uniones de estructuras de acero, con las especificaciones de límite elástico f_{yb}, y resistencia a tracción f_{ub} que se indican a continuación en la tabla 85.4.

Tabla 85.4 Límite elástico mínimo y resistencia a tracción del acero utilizable para bulones (N/mm^2)

Estado	Temple y revenido						Normalizado			
	$d \leq 16$ mm		16 mm$< d \leq$40 mm		40 mm$< d \leq$100 mm		$d \leq 16$ mm		16mm$< d \leq$100mm	
Designación	f_{yb}	f_{ub}	f_{yb}	f_{ub}	f_{yb}	f_{ub}	f_{yb}	f_{ub}	f_{yb}	f_{ub}
C 22	340	500 a 650	290	470 a 620	--	--	240	430	210	410
C 25	370	550 a 700	320	500 a 650	--	--	260	470	230	440
C 30	400	600 a 750	350	550 a 700	300 (*)	500 a 550(*)	280	510	250	480
C 35	430	630 a 780	380	600 a 750	320	550 a 700	300	550	270	520
C 40	460	650 a 800	400	630 a 780	350	600 a 750	320	580	290	550
C 45	490	700 a 850	430	650 a 800	370	630 a 780	340	620	305	580
C 50	520	750 a 900	460	700 a 850	400	650 a 800	355	650	320	610
C 55	550	800 a 950	490	750 a 900	420	700 a 850	370	680	330	640
C 60	580	852 a 1000	520	800 a 950	450	750 a 900	380	710	340	670

(*) Aplicable solo hasta d = 63 mm.

85.5 Material de aportación

El material de aportación utilizable para la realización de soldaduras (alambres, hilos y electrodos) deberá ser apropiado para el proceso de soldeo, teniendo en cuenta el material a soldar y el procedimiento de soldeo; además deberá tener unas características mecánicas, en términos de límite elástico, resistencia a tracción, deformación bajo carga máxima y resiliencia, no inferiores a las correspondientes del material de base que constituye los perfiles o chapas que se pretende soldar.

En el caso de soldar acero con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica, el material de aportación deberá tener una resistencia a la corrosión equivalente a la del metal base, salvo que permita otra cosa el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Artículo 86 Sistemas de protección

Este apartado establece principalmente los tipos de pintura y sistemas de pintura que pueden utilizarse para la protección de estructuras de acero, así como las prescripciones técnicas que deben cumplir, según la durabilidad requerida del sistema de pintura protector.

Otros sistemas de protección de las construcciones en acero de probada eficacia y amplia utilización, como son la “proyección térmica de cinc” o la “galvanización en caliente”, se tratan a continuación y en el Artículo 95.

86.1 Tipos de pintura

Pueden emplearse los siguientes tipos de pintura:

- Pinturas de secado al aire.
- Pinturas de curado físico.
  - Pinturas en base disolvente.
  - Pinturas en base agua.
- Pinturas de curado químico.
  - Pinturas epoxídicas de dos componentes.
  - Pinturas de poliuretano de dos componentes.
  - Pinturas de curado por humedad.

86.2 Sistemas de pintura

Los sistemas de pintura están constituidos por un conjunto de capas de imprimación (1 o 2, según los casos), y de capas de acabado (entre 1 y 4, según los casos) de pintura con espesores nominales de película seca definidos que, aplicados sobre una superficie de acero con un grado de preparación preestablecido, conducen a una durabilidad determinada del sistema de pintura protector.

La durabilidad de un sistema de pintura protector depende del tipo de sistema de pintura, del diseño de la estructura, del estado de la superficie de acero (a su vez función de la condición previa de la superficie y del grado de preparación de la misma), de la calidad de la aplicación, de las condiciones durante la aplicación y de las condiciones de exposición en servicio.

Por ello, el grado de durabilidad de un sistema de pintura es un concepto técnico útil para seleccionar el sistema a emplear en un caso concreto y para definir el programa de mantenimiento correspondiente, pero no puede, en ningún caso, tomarse como un período de garantía.

Se establecen cuatro grados de durabilidad de los sistemas de pintura:

- Bajo (L): hasta 7 años.
- Medio (M): más de 7 y hasta 15 años.
- Alto (H): más de 15 y hasta 25 años.
- Muy alto (H): más de 25 años.

86.3 Prescripciones y ensayos de los sistemas de pintura

Los sistemas de pintura que se utilicen para las estructuras de acero deben cumplir las prescripciones de la tabla 86.3.a, en la cual, para cada clase de exposición de la estructura indicada en el apartado 80.1 y grado de durabilidad del sistema de pintura, se fija la duración en horas de ensayo que debe resistir el sistema de pintura.

En dichas tablas, los ensayos referidos son los siguientes:

- Ensayo de envejecimiento cíclico, según el Anexo B de la norma UNE-EN ISO 12944-6.
- Ensayo de inmersión, según UNE-EN ISO 2812-2, en agua (clase Im1) o en solución acuosa de cloruro sódico al 5 % (clases Im2 e Im3).
- Ensayo de condensación continua de agua, según UNE-EN ISO 6270-1.
- Ensayo de niebla salina neutra, según UNE-EN ISO 9227.

Tabla 86.3.a Prescripciones relativas a los sistemas de pinturas aplicados sobre acero

Clase de exposición	Grado de durabilidad	Ensayo de envejecimiento cíclico h	Ensayo de inmersión h	Ensayo de condensación de agua h	Ensayo de niebla salina neutra h
C2	Bajo Medio Alto Muy alto	- - - -	- - - -	48 48 120 240	- - - 480
C3	Bajo Medio Alto Muy alto	- - - -	- - - -	48 120 240 480	120 240 480 720
C4	Bajo Medio Alto Muy alto	- - 1680	- - -	120 240 480 720	240 480 720 1440
C5	Bajo Medio Alto Muy alto	- - 1680 2688	- - -	240 480 720 -	480 720 1440 -
Im1	Alto Muy alto	- -	3000 4000	1440 2160	- -
Im2	Alto Muy alto	- -	3000 4000	- - -	1440 2160
Im3	Alto Muy alto	- -	3000 4000	- - -	1 440 2160

Las probetas para la realización de los ensayos deben ser del mismo tipo de acero que se vaya a emplear (y, en su caso, con el mismo recubrimiento de cinc que se vaya a utilizar), con un tamaño mínimo de 150 x 75 mm y un espesor, dependiente del ensayo, pero en todo caso no menor que 3 mm. Las probetas cumplirán las condiciones de preparación y estado superficial prescritas en la norma UNE-EN ISO 12944-6.

Un ensayo de una probeta se considera que cumple una determinada prescripción de la tabla 86.3.a cuando:

Antes del ensayo, la clasificación obtenida por la probeta de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 2409 es de 0 a 2. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250 µm, este requisito debe sustituirse por la inexistencia de rotura adhesiva entre la pintura y el acero en el ensayo de adherencia por tracción (método A o B) según UNE-EN ISO 4624, a menos que los valores de la tracción sean mayores o iguales que 5 N/mm^2.

Después del ensayo, con la duración en horas indicada en la tabla 86.3.a, para la clase de exposición y grado de durabilidad exigidos, la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación de las normas UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 y la clasificación obtenida de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 2409 es de 0 a 2. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250 µm, se utiliza la misma sustitución de este último requisito indicada en el párrafo anterior. La evaluación de la condición tras el ensayo según UNE-EN ISO 2409 o según el ensayo sustitutivo se efectúa tras 24 h de reacondicionamiento de la probeta.

Se considera que la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación de las normas UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 cuando se cumplen los siguientes requisitos:

- Según UNE-EN ISO 4628-2: ampollamiento 0 (S0).
- Según UNE-EN ISO 4628-3: óxido Ri 0.
- Según UNE-EN ISO 4628-4: agrietamiento 0 (S0).
- Según UNE-EN ISO 4628-5: descamación 0 (S0).

Además de estos requisitos, que se evalúan de manera inmediata, debe cumplirse, en evaluación realizada tan pronto como sea posible, y siempre dentro de las 8 h siguientes al final del ensayo, que el avance medio de corrosión del sustrato, a partir de la incisión, calculado según UNE-EN ISO 12944-6, no supera 1,5 mm, en el caso del ensayo de niebla salina, ó 3 mm, en el caso del ensayo de envejecimiento cíclico.

En la evaluación de defectos, no debe tenerse en cuenta ninguno que se produzca a menos de 10 mm de los bordes de la probeta.

86.4 Prescripciones para los sistemas de protección con proyección térmica de cinc y de galvanización en caliente

Las duraciones mínimas y máximas (en años) de los recubrimientos de cinc hasta el primer mantenimiento, para las diferentes categorías de corrosividad de la norma ISO 9223, se incluyen en la norma UNE-EN ISO 14713.

Así, por ejemplo, para el caso de recubrimientos de galvanización en caliente (realizada conforme a la norma UNE-EN ISO 1461) de 85 micrómetros de espesor (que es el valor mínimo del espesor medio de recubrimiento exigible sobre elementos estructurales de acero de espesor superior a 6 mm), en la norma UNE-EN ISO 14713 se indican duraciones de la protección (en años) que van desde 40/>100 (para clase de exposición C3), 20/40 (para clase de exposición C4) y 10/20 (para clase de exposición C5).

La aptitud del acero para el recubrimiento por galvanización en caliente, en relación a su contenido en Si y P, debe ser conforme a las normas UNE-EN 10025-2, UNE-EN 10025-3, UNE-EN 10025-4, o UNE-EN 10025-6, según el tipo de acero.