

CÓDIGO ESTRUCTURAL

Título 3. ESTRUCTURAS DE ACERO

Capítulo 17

Criterios generales para las estructuras de acero

Contenidos del capítulo

Artículo 79	Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de acero	3
Artículo 80	Criterios específicos para las estructuras de acero	3
80.1	Clases de exposición relativas a la corrosividad del acero estructural.....	3

Artículo 79 **Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de acero**

Este Título es aplicable a todas las estructuras y elementos de acero estructural, de edificación o de obra pública, de conformidad con lo indicado en el ámbito de aplicación general definido en el Artículo 2 y con las excepciones siguientes:

- los elementos estructurales realizados con aceros especiales tales como los aceros de alto límite elástico, o los aceros inoxidables, que presenten un límite elástico superior a 700 N/mm^2 , salvo en elementos de unión (tornillos, bulones, etc.), y los aceros provenientes de aleaciones especiales como el acero inoxidable con un límite elástico superior a 480 N/mm^2 ,
- perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío,
- los elementos estructurales mixtos de acero estructural y hormigón que se regirán por lo contemplado en el Título 4 en aquello que les es específico y,
- en general, las estructuras mixtas de acero y cualquier otro material de distinta naturaleza con función resistente.

En el caso de que la estructura de acero se pretense con armaduras activas, todo aquello que concierna al pretensado, en lo que se refiere a bases de proyecto, análisis estructural, dimensionamiento y comprobación, ejecución y control, se llevará a cabo de acuerdo con lo establecido en el Título 2.

Cuando, en función de las características de la estructura, exista reglamentación específica de acciones, este Código se aplicará complementariamente a la misma.

Cuando a la vista de las características de la obra, definidas por la propiedad, la estructura pueda considerarse como una obra especial o singular, este Código será de aplicación con las adaptaciones y disposiciones adicionales que, bajo su responsabilidad, establezca el autor del proyecto para satisfacer las exigencias definidas en este Código, con su mismo nivel de garantía.

Artículo 80 **Criterios específicos para las estructuras de acero**

80.1 **Clases de exposición relativas a la corrosividad del acero estructural**

A los efectos de este Código, se definen como clases de exposición relativas a la corrosividad del acero estructural las recogidas en las tablas 80.1.a y 80.1.b.

Se distingue entre estructuras o elementos estructurales expuestos a la corrosión atmosférica (tabla 80.1.a) y estructuras o elementos estructurales sumergidos en agua o enterrados en el suelo (tabla 80.1.b). En el caso de que existan procesos mecánicos (erosión eólica por arena, abrasión por la acción de las olas o de los sólidos transportados por el agua), biológicos (acción de organismos vivos), térmicos

(temperaturas superiores a 60°C), o agentes químicos particularmente agresivos (caso de ciertas instalaciones industriales especiales, como industrias papeleras, factorías de tintes y refinerías de petróleo), cuyo efecto agrava fuertemente la posible corrosión, deberá tenerse en cuenta este hecho, al objeto de reforzar la protección de la estructura.

Debe tenerse en cuenta el peligro de formación de condensaciones, que puede producirse en las áreas más frías de estructuras en el interior de edificios, en espacios cerrados y elementos huecos cuya hermeticidad no haya sido garantizada (caso de emplear soldaduras discontinuas o uniones no herméticas con pernos), o en instalaciones especiales (como las estaciones de bombeo o los circuitos de refrigeración por agua). La formación de condensaciones supone siempre un agravamiento de la corrosión.

En el caso de puentes de carretera o pasarelas peatonales, debe prestarse especial atención al riesgo de corrosión en zona inferior de pilas y en la cara inferior de tableros en que se utilicen sales fundentes, por efecto de los aerosoles salinos producidos. A estos efectos, en las zonas con más de cinco nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C, se considerará que la clase de exposición es la C5-I.

CÓDIGO ESTRUCTURAL

Capítulo 17. Criterios generales para las estructuras de acero

Designación	Clase de exposición (corrosividad)	Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de espesor (tras el primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes típicos en un clima templado	
		Acero de bajo contenido en carbono		Cinc		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 con calefacción y con atmósferas limpias, por ejemplo: oficinas, tiendas, colegios, hoteles.
C2	baja	> 10 y hasta 200	> 1,3 y hasta 25	> 0,7 y hasta 5	> 0,1 y hasta 0,7	Atmósferas con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales en su mayor parte.	Edificios sin calefacción donde pueden ocurrir condensaciones, por ejemplo: almacenes, polideportivos.
C3	media	> 200 y hasta 400	> 25 y hasta 50	> 5 y hasta 15	> 0,7 y hasta 2,1	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad.	Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación del aire, por ejemplo: plantas de procesamiento de alimentos, lavanderías, plantas cerveceras, plantas lácteas. Interior de puentes-cajón.
C4	alta	> 400 y hasta 650	> 50 y hasta 80	> 15 y hasta 30	> 2,1 y hasta 4,2	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Plantas químicas, piscinas, barcos costeros y astilleros.
C5-I	muy alta (industrial)	> 650 y hasta 1.500	> 80 y hasta 200	> 30 y hasta 60	> 4,2 y hasta 8,4	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada.
C5-M	muy alta (marina)	> 650 y hasta 1.500	> 80 y hasta 200	> 30 y hasta 60	> 4,2 y hasta 8,4	Áreas costeras y marítimas con elevada salinidad.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada.

Tabla 80.1.a. Clases de exposición relativas a la corrosividad atmosférica del acero estructural

Designación	Clase de exposición	Ejemplos
Im1	Agua dulce	Instalaciones ribereñas, plantas hidroeléctricas
Im2	Agua de mar o salobre	Estructuras en zonas portuarias en contacto con el agua de mar; estructuras off-shore.
Im3	Suelo	Tanques enterrados, pilotes de acero, tuberías de acero.

Tabla 80.1.b. Clases de exposición relativas al agua y suelo

Capítulo 18

Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 81	GENERALIDADES.....	4
ARTÍCULO 82	CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS	4
82.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA	4
82.2	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	4
82.3	REQUISITOS DE DUCTILIDAD.....	4
82.4	CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS	5
82.5	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS	5
82.5.1	<i>Composición química.....</i>	5
82.5.2	<i>Características de tracción</i>	5
82.5.3	<i>Resiliencia</i>	6
82.5.4	<i>Tenacidad de fractura.....</i>	6
82.5.5	<i>Soldabilidad (carbono equivalente).....</i>	6
82.5.6	<i>Características de doblado</i>	6
82.5.7	<i>Resistencia al desgarro laminar.....</i>	6
ARTÍCULO 83	TIPOS DE ACERO	6
83.1	ACEROS NO ALEADOS LAMINADOS EN CALIENTE.....	8
83.2	ACEROS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.....	10
83.2.1	<i>Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.</i>	10
83.2.2	<i>Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente</i>	12
83.2.3	<i>Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables)..</i>	14
83.2.4	<i>Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido</i>	16
83.2.5	<i>Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto</i>	17
83.2.6	<i>Aceros inoxidables, laminados en caliente</i>	18
ARTÍCULO 84	PRODUCTOS DE ACERO	20
84.1	PERFILES Y CHAPAS DE SECCIÓN LLENA LAMINADOS EN CALIENTE	20
84.2	PERFILES DE SECCIÓN HUECA ACABADOS EN CALIENTE	21
84.3	PERFILES DE SECCIÓN HUECA CONFORMADOS EN FRÍO.....	21
84.4	PERFILES DE SECCIÓN ABIERTA CONFORMADOS EN FRÍO.....	22
84.5	PERFILES Y CHAPAS NO NORMALIZADOS	22
ARTÍCULO 85	MEDIOS DE UNIÓN	23
85.1	GENERALIDADES	23
85.2	TORNILLOS, TUERCAS Y ARANDELAS.....	23
85.3	TIPOS ESPECIALES DE TORNILLOS.....	24
85.3.1	<i>Tornillos de cabeza avellanada.....</i>	24
85.3.2	<i>Tornillos calibrados.....</i>	24
85.3.3	<i>Tornillos de inyección.....</i>	24
85.4	BULONES.....	25
85.5	MATERIAL DE APORTACIÓN	26
ARTÍCULO 86	SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	26
86.1	TIPOS DE PINTURA	26
86.2	SISTEMAS DE PINTURA.....	26
86.3	PRESCRIPCIONES Y ENSAYOS DE LOS SISTEMAS DE PINTURA	27

CÓDIGO ESTRUCTURAL

Capítulo 18. Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras de acero

86.4	PRESCRIPCIONES PARA LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CON PROYECCIÓN TÉRMICA DE CINC Y DE GALVANIZACIÓN EN CALIENTE.....	30
------	---	----

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 ($\epsilon_{máx}$).
- 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:

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

$$\epsilon_u \geq 0,15$$

$$\varepsilon_{m\acute{a}x} \geq 15 \varepsilon_y$$

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, $\varepsilon_{m\acute{a}x}$ 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 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 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 sólo 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 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 , $\varepsilon_{m\acute{a}x}$, ε_u , E) se efectuará mediante el ensayo de tracción normalizado en 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 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 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 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 10025-6:2007+A1 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 de 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

Grado \ Tipo	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	$30 < t \leq 40$	$40 < t \leq 150$	$150 < t \leq 250$
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/mm²)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	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 (°C)	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 27J a -30°C.

Para $t \leq 12$ mm se aplicará lo indicado en 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

Grado \ Tipo	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/mm²)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 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 (°C)						
		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 -30°C.

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 -20°C, o -50°C, 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

Grado \ Tipo	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/mm²)

Tipo	Espesor nominal t(mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 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 (°C)						
		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 27J a -30°C.

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 -20°C, o -50°C, 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

Grado \ Tipo	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/mm²)

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 (°C)	Resiliencia (J)
J0	0	27
J2	-20	27
K2	-20	40 (*)

(*) Equivale a una resiliencia de 27J a -30°C.

Para $t \leq 12$ mm se aplicará lo indicado en 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/mm²)

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 (°C)			
		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 -20°C, -40°C o -60°C, 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 2.1 del Anejo 24, se complementarán los correspondientes parámetros de las Tablas 83.2.6.b, 83.2.6.c y 83.2.6.d a partir de los valores recogidos en la 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/mm²).

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 de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.6.e. Resiliencia (J)

Grado	Temperatura de ensayo (°C)	Resiliencia (J)
J0	0	60
J2	-20	40
K2	-20	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/mm² para austenoferríticos (220.000 N/mm² para ferríticos) y un coeficiente de Poisson en régimen elástico de 0,3.

Todos los tipos de aceros inoxidable 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 ($3 \text{ mm} \leq t \leq 4,75 \text{ mm}$) y chapa gruesa ($t > 4,75 \text{ mm}$).

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/mm²)

Tipo	Tornillos ordinarios			Tornillos de alta resistencia	
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
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 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 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 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 15°C y 25°C. 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/mm²)

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 < $d \leq 100$ mm	
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 sólo 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 tres grados de durabilidad de los sistemas de pintura:

- Durabilidad baja (L): de 2 a 5 años.
- Durabilidad media (M): de 5 a 15 años.
- Durabilidad alta (H): más de 15 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. La tabla 86.3.b establece las prescripciones de adherencia de los sistemas de pintura aplicados sobre acero recubierto de cinc.

En dichas tablas, los ensayos referidos son los siguientes:

- Ensayo de resistencia química, según UNE-EN ISO 2812-1.
- 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 resistencia química	Ensayo de inmersión	Ensayo de condensación de agua	Ensayo de niebla salina neutra
		h	h	h	h
C2	Baja	-	-	48	-
	Media	-	-	48	-
	Alta	-	-	120	-
C3	Baja	-	-	48	120
	Media	-	-	120	240
	Alta	-	-	240	480
C4	Baja	-	-	120	240
	Media	-	-	240	480
	Alta	-	-	480	720
C5-I	Baja	168	-	240	480
	Media	168	-	480	720
	Alta	168	-	720	1 440
C5-M	Baja	-	-	240	480
	Media	-	-	480	720
	Alta	-	-	720	1 440
Im1	Baja	-	-	-	-
	Media	-	2 000	720	-
	Alta	-	3 000	1 440	-
Im2	Baja	-	-	-	-
	Media	-	2 000	-	720
	Alta	-	3 000	-	1 440
Im3	Baja	-	-	-	-
	Media	-	2 000	-	720
	Alta	-	3 000	-	1 440

Tabla 86.3.b. Prescripciones relativas a la adherencia de los sistemas de pintura aplicados sobre acero recubierto de cinc

Clase de exposición	Grado de durabilidad	Ensayo de condensación de agua h
C2	Baja	240
	Media	240
	Alta	240
C3	Baja	240
	Media	240
	Alta	240
C4	Baja	240
	Media	240
	Alta	480
C5-I	Baja	240
	Media	480
	Alta	720
C5-M	Baja	240
	Media	480
	Alta	720

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 70 mm y un espesor, dependiente del ensayo, pero en todo caso no menor que 2 mm. Las probetas cumplirán las condiciones de preparación y estado superficial prescritas en UNE-EN ISO 12944-6.

Un ensayo de una probeta se considera que cumple una determinada prescripción de las tablas 86.3.a o 86.3.b cuando:

Antes del ensayo, la clasificación obtenida por la probeta de acuerdo con UNE-EN ISO 2409 es 0 o 1. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250 μm , este requisito debe sustituirse por la inexistencia de desprendimiento de la pintura del sustrato (A/B) en el ensayo de adherencia según UNE-EN ISO 4624, a menos que los valores de la tracción sean mayores o iguales que 5 N/mm².

Después del ensayo, con la duración en horas indicada en la tabla 86.3.a o en la 86.3.b, según sea el caso, para la clase de exposición y grado de durabilidad exigidos,

la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación de las UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 y la clasificación obtenida de acuerdo con UNE-EN ISO 2409 es 0 o 1. 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 UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 cuando cumple 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, después del envejecimiento artificial prescrito en UNE-EN ISO 9227, que no existe ningún avance de corrosión del sustrato, a partir de la incisión, calculado según UNE-EN ISO 12944-6, mayor que 1 mm.

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 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 ambientes de categoría C3), 20/40 (para ambientes C4) y 10/20 (para ambientes 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 UNE-EN 10025 partes 2 a 4 y parte 6.

Capítulo 19

Durabilidad de las estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 87. ESTRATEGIA DE DURABILIDAD EN LOS ELEMENTOS DE ACERO	3
87.1. SELECCIÓN DE LA FORMA ESTRUCTURAL	3
87.2. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	4
87.3. MEDIDAS ESPECÍFICAS FRENTE A LA CORROSIÓN	5
87.3.1. <i>Sistemas de protección superficial</i>	5
87.3.2. <i>Sobreespesores de la sección de acero</i>	6
87.3.3. <i>Sistemas de protección catódica</i>	6
87.4. DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	7
87.5. MEDIDAS DE MANTENIMIENTO DURANTE LA FASE DE USO	9

Artículo 87. Estrategia de durabilidad en los elementos de acero

De acuerdo con lo indicado en el apartado 11.3, el proyecto de la estructura debe incluir una estrategia de durabilidad para los elementos de acero que defina las medidas necesarias para que se pueda alcanzar la vida útil establecida por la propiedad, en función de las condiciones de agresividad ambiental a la que van a estar sometidos.

La agresividad a la que está sometido cada elemento de acero se identificará por el tipo de ambiente, definido en el apartado 80.1.

En el caso de los elementos de acero, las uniones pueden suponer un punto de debilidad frente a la agresividad del ambiente, si no están correctamente ejecutadas de acuerdo con lo indicado en el capítulo 21 de este código.

En este artículo se recogen los criterios para el desarrollo en el proyecto de la estrategia de durabilidad que incluirá, al menos, las siguientes fases:

- Selección de formas estructurales adecuadas, de acuerdo con lo indicado en el apartado 87.1,
- Selección de materiales, según el apartado 87.2,
- Medidas específicas frente a la corrosión, según el apartado 87.3,
- Detalles constructivos, según el apartado 87.4
- Medidas de mantenimiento durante la fase de uso, según el apartado 87.5.

Además de la corrosión, puede haber otros mecanismos de daño en función de las condiciones de exposición específicas de cada elemento estructural (por ejemplo, ataque por erosión, etc.). En este caso, el autor del proyecto deberá valorar si concurren tales circunstancias e incluir las medidas específicas adicionales que sean necesarias dentro de la estrategia de durabilidad. Asimismo, debe valorar la posibilidad de ataques localizados en alguna zona del elemento. Se pondrá especial cuidado en el análisis de zonas que no serán accesibles durante la vida de servicio.

87.1. Selección de la forma estructural

En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura. El proyecto debe facilitar la preparación de las superficies, el pintado, las inspecciones y el mantenimiento.

Se procurará evitar el empleo de diseños estructurales que conduzcan a una susceptibilidad elevada a la corrosión. Para ello, se recomienda que las formas de los elementos estructurales sean sencillas, evitando una complejidad excesiva, y que los métodos de ejecución de la estructura sean tales que no se reduzca la eficacia de los sistemas de protección empleados (por daños en el transporte y manipulación de los elementos).

Se tenderá a reducir al mínimo el contacto directo entre las superficies de acero y el agua, evitando la formación de depósitos de agua, facilitando la rápida evacuación de esta e impidiendo el paso de agua sobre las zonas de juntas. Para ello, deben adoptarse precauciones, tales como:

- evitar la disposición de superficies horizontales que promuevan la acumulación de agua, o suciedad,
- la eliminación de secciones abiertas en la parte superior que faciliten dicha acumulación,
- la supresión de cavidades y huecos en los que puede quedar retenida el agua, o
- la disposición de sistemas adecuados y de sección generosa para conducción y drenaje de agua.

Cuando la estructura presente áreas cerradas (interior accesible) o elementos huecos (interior inaccesible), debe cuidarse que estén protegidos de manera efectiva contra la corrosión. Para ello, debe evitarse que quede agua atrapada en su interior durante el montaje de la estructura, deben disponerse las medidas necesarias para la ventilación y drenaje (interiores accesibles), y deben sellarse de manera efectiva frente a la entrada de aire y humedad, mediante soldaduras continuas, los interiores inaccesibles.

Debe evitarse la corrosión potencial en orificios estrechos, hendiduras ciegas y uniones solapadas, mediante un sellado eficaz, que en general estará constituido por soldaduras continuas.

Debe prestarse una atención especial a la protección contra la corrosión de las uniones, tanto atornilladas (de manera que los tornillos, tuercas y arandelas tengan la misma durabilidad que el resto de la estructura) como soldadas (cuidando que la superficie de la soldadura esté libre de imperfecciones, como fisuras, cráteres y proyecciones, que son difíciles de cubrir eficazmente por la pintura posterior), así como tener en cuenta, en el caso de disposición de refuerzos o de ejecución de entallas (en almas, refuerzos, etc.), la necesidad de permitir una adecuada preparación de la superficie y aplicación de la pintura (soldando de manera continua la intersección entre el refuerzo y el elemento reforzado, disponiendo un radio mínimo de 50 mm en las entallas y evitando cualquier retención de agua).

Debe evitarse la aparición de pares galvánicos, que se producen cuando existe continuidad eléctrica entre dos metales de diferente potencial electroquímico (tales como acero inoxidable y acero al carbono), aislando eléctricamente mediante pintado u otros procedimientos, las superficies de ambos metales.

87.2. Selección de materiales

En el caso de ambientes especialmente agresivos, el proyecto podrá considerar el uso de acero con comportamiento mejorado frente a la corrosión como, por ejemplo:

- aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica, según el apartado 83.2.3,
- aceros inoxidables, según el apartado 83.2.6, o

- aceros con tratamiento de galvanizado en caliente, según el apartado 86.4.

Los aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica de acuerdo con lo indicado en el apartado 83.2.3, podrán utilizarse sin pintura de protección en las superficies exteriores en ambientes no expuestos a iones cloruro, incrementando el espesor nominal, obtenido en el cálculo, en 1 mm para la superficie expuesta al ambiente exterior. En la superficie interior de secciones cerradas inaccesibles se aplicarán las disposiciones establecidas en el apartado 87.3 (sistema de protección adecuado a la vida útil prevista y sobreespesor de acero). El empleo de estos aceros en los casos en que se prevé que su superficie va a estar en contacto con el terreno o el agua durante largos períodos, permanentemente húmeda, o sometida a ambiente marino con salinidad moderada o elevada, ambiente industrial con alto contenido en SO₃, o presencia de sales de deshielo, precisa un estudio detallado de su conveniencia, debiendo en tales casos protegerse superficialmente el acero.

El proyecto considerará, en su caso, el uso de sistemas de protección, como por ejemplo, los indicados en el apartado 87.3.1.

87.3. Medidas específicas frente a la corrosión

Como criterio general, el autor del proyecto adoptará uno de los siguientes procedimientos:

- sistemas de protección superficial, conformes con el apartado 87.3.1, o
- disposición de sobreespesores, conforme con el apartado 87.3.2.

En cualquier caso, se deberá cumplir también el resto de las consideraciones derivadas de la estrategia de durabilidad adoptada y, en particular, las relativas a detalles constructivos indicados en el apartado 87.4.

87.3.1. Sistemas de protección superficial

Como criterio general de protección de la estructura de acero frente a la corrosión, se utilizarán sistemas de protección superficial, conformes con lo indicado en los apartados 86.2 y 86.3 de este Código.

En función de la agresividad a la que está sometida el elemento, el autor del proyecto seleccionará un sistema de protección que considere adecuado, definiéndolo por:

- grado de preparación de la superficie,
- tipo, ligante, espesor total y número de capas de la imprimación
- ligante, espesor total y número de capas de acabado,
- durabilidad del sistema de protección y frecuencia de reposición durante la vida de servicio.

87.3.2. Sobreespesores de la sección de acero

En ausencia de estudios más detallados, el sobreespesor (incremento del espesor nominal) tendrá el siguiente valor mínimo, expresado en mm por cara inaccesible y por cada 30 años de vida útil prevista de la estructura:

- Clases de exposición C4 (corrosividad alta), C5-I y C5-M (corrosividad muy alta): 1,5 mm.
- Clase de exposición C3 (corrosividad media): 1 mm.
- Clase de exposición C2 (corrosividad baja): 0,5 mm.

No se precisa sobreespesor en el caso de la clase de exposición C1 (corrosividad muy baja).

El espesor resultante (espesor nominal más sobreespesor) en los cajones inaccesibles de puentes no podrá ser inferior a 8 mm.

En el caso de aceros patinables con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica de acuerdo con lo indicado en 83.2.3, podrán utilizarse sin pintura de protección en las superficies exteriores, incrementando el espesor nominal, obtenido en el cálculo, en 1 mm para la superficie expuesta al ambiente exterior. En el caso de superficies interiores de secciones cerradas inaccesibles, se adoptará un sistema de protección superficial o un sobreespesor con los mismos criterios que se aplicarían en el caso de un acero convencional. Además, se requerirá de un estudio específico que analice su conveniencia y, en su caso, la necesidad de sistemas de protección adicionales, cuando se prevea que la superficie del elemento va a estar en alguna de las siguientes circunstancias:

- en contacto con el terreno
- en contacto con agua durante largos períodos,
- permanentemente húmeda,
- sometida a ambiente marino con salinidad moderada o elevada,
- sometida a un ambiente industrial con alto contenido en SO₃,
- en presencia de sales de deshielo.

87.3.3. Sistemas de protección catódica

El autor del proyecto podrá incluir en la estrategia de durabilidad un sistema de protección catódica. El proyecto deberá incluir una memoria específica en la que se justifique técnicamente las características del sistema a disponer.

En cualquiera de los casos, todas las características del sistema, incluido el procedimiento para su instalación y el sistema de seguimiento y registro, deberán ser conformes con UNE-EN ISO 12499.

Estos sistemas requieren de un mantenimiento específico que deberá estar incluido en el plan de mantenimiento desarrollado durante el proyecto.

87.4. Detalles constructivos

Se recomienda evitar los detalles constructivos indicados como inadecuados en las figuras 87.4.a a 87.4.f, empleando los considerados adecuados en las mismas.

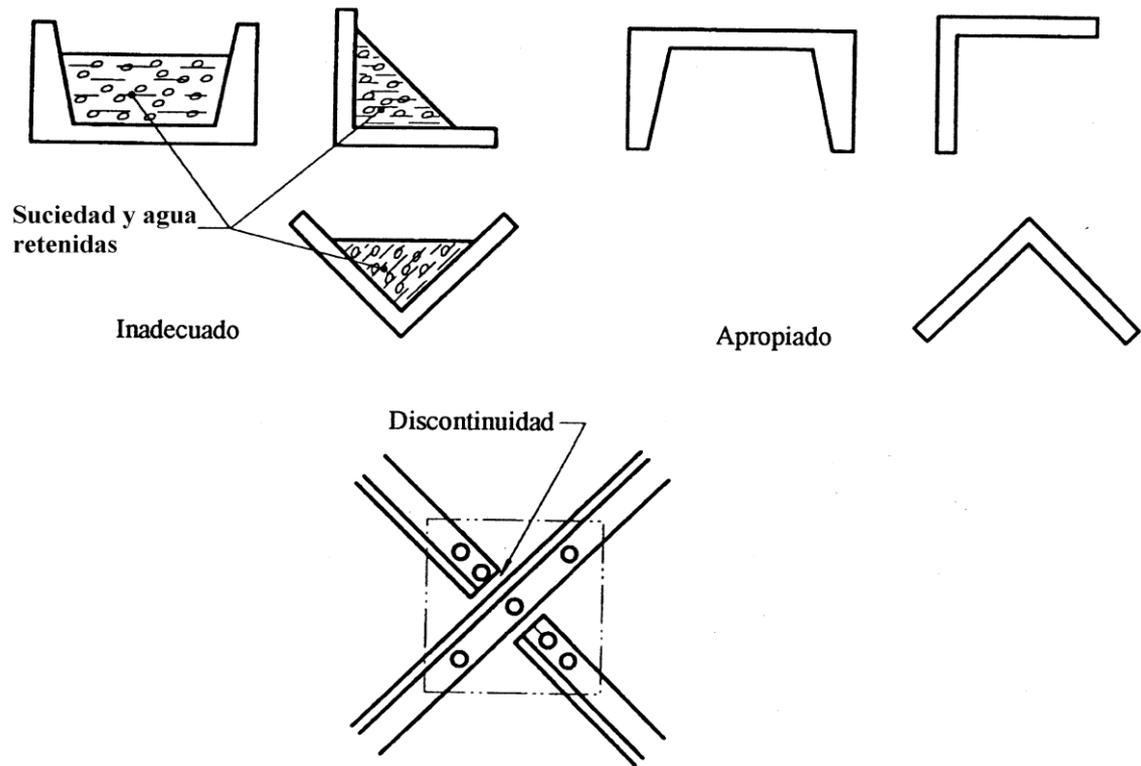


Figura 87.4.a. Prevención de la acumulación de agua y suciedad

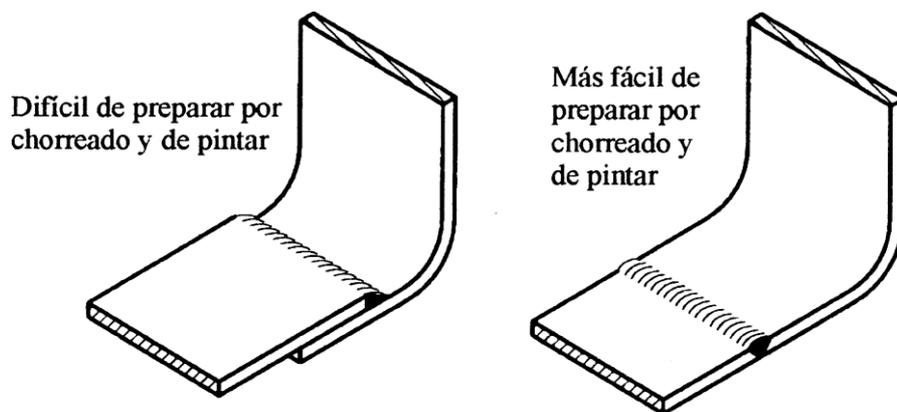


Figura 87.4.b. Realización de soldaduras

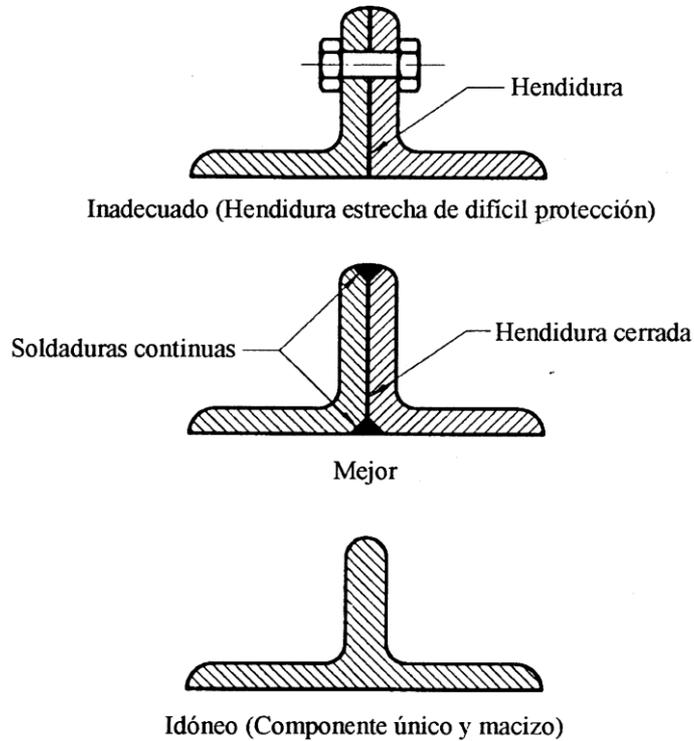


Figura 87.4.c. Tratamiento de huecos

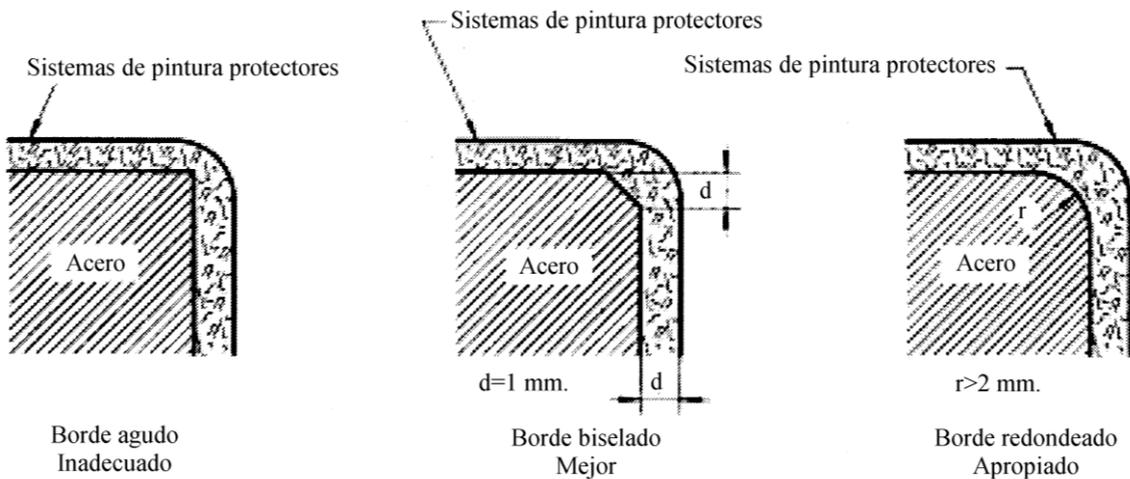


Figura 87.4.d. Eliminación de bordes agudos

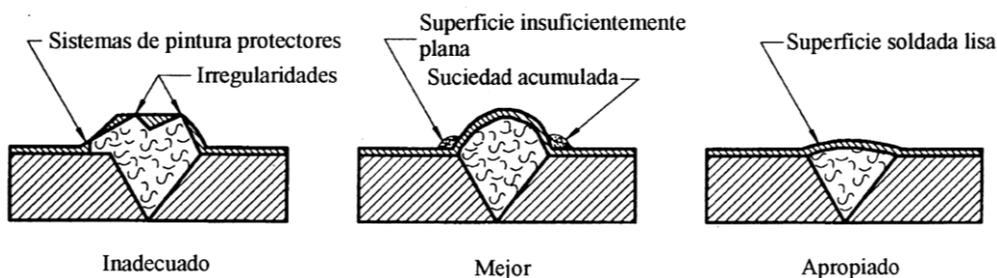
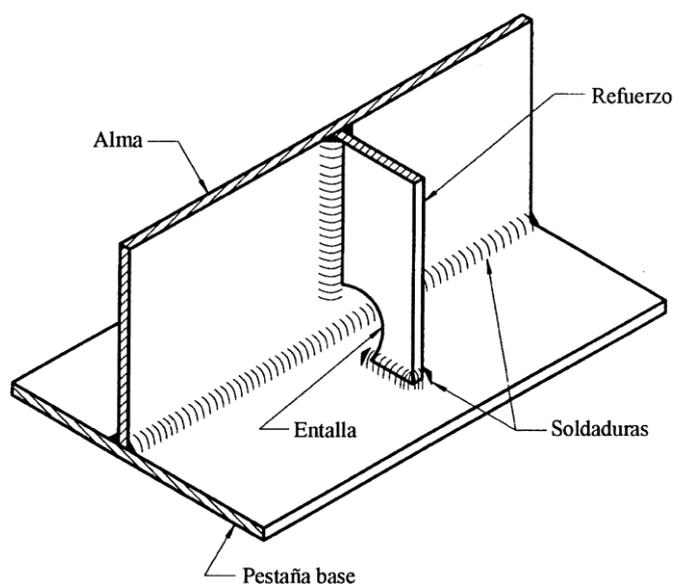


Figura 87.4.e. Eliminación de imperfecciones en la superficie de las soldaduras



Para entallas, $r \geq 50$ mm

Figura 87.4.f. Diseño recomendado de refuerzos para la protección frente a la corrosión

87.5. Medidas de mantenimiento durante la fase de uso

En el caso de que la garantía de la vida útil se base en sistemas de protección superficial, hay que tener en cuenta que dichos sistemas tienen vidas útiles inferiores a las de la estructura, por lo que requieren ser repuestas sistemáticamente, como parte del plan de mantenimiento.

Debe prestarse una atención especial a la accesibilidad a áreas cerradas de la estructura como, por ejemplo, en el caso de cajones metálicos. Las aberturas de acceso deben tener un tamaño suficiente para permitir un acceso seguro, tanto para los operarios como para los equipos de mantenimiento. Salvo justificación en sentido contrario, sus dimensiones no deben ser inferiores a 500 x 700 mm (ancho x alto) en los accesos rectangulares u ovales, y ni a 600 mm de diámetro mínimo en el caso de los accesos de forma circular. Además, deben existir orificios de ventilación adecuados al sistema de protección empleado en el mantenimiento.

Capítulo 20

Estructuras de acero. Dimensionamiento y comprobación

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 88	COMPROBACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	3
ARTÍCULO 89	PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE AL FUEGO	3
ARTÍCULO 90	PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE AL SISMO	3

Artículo 88 Comprobación y dimensionamiento de las estructuras de acero

Para el análisis estructural, el dimensionamiento y la comprobación de las estructuras de acero, el autor del proyecto empleará el conjunto de principios y reglas establecidos en los Anejos 22 a 29.

Artículo 89 Proyecto de estructuras de acero frente al fuego

En el caso de estructuras de acero que puedan estar sometidas a la acción del fuego, se estará a lo dispuesto en el Anejo 23.

Artículo 90 Proyecto de estructuras de acero frente al sismo

En el caso de estructuras de acero que puedan estar sometidas a la acción del sismo, será de aplicación la correspondiente reglamentación específica.

Capítulo 21

Fabricación y montaje de las estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 91	PREPARACIÓN Y FABRICACIÓN.....	4
91.1	GENERALIDADES	4
91.2	CLASES DE EJECUCIÓN	4
91.2.1	<i>Nivel de riesgo</i>	5
91.2.2	<i>Condiciones de ejecución y uso</i>	5
91.2.2.1	Categorías de uso	5
91.2.2.2	Categoría de ejecución.....	6
91.2.3	<i>Determinación de la clase de ejecución</i>	6
91.3	PLANOS DE TALLER	6
91.3.1	<i>Contenido</i>	7
91.3.2	<i>Revisión y modificaciones</i>	8
91.4	PREPARACIÓN DEL MATERIAL	9
91.4.1	<i>Marcado, manipulación y almacenamiento</i>	9
91.4.2	<i>Enderezado</i>	9
91.4.3	<i>Corte</i>	9
91.4.4	<i>Conformación</i>	10
91.4.5	<i>Perforación</i>	10
91.5	ENSAMBLADO Y ARMADO	10
91.6	MONTAJE EN BLANCO	11
ARTÍCULO 92	TRANSPORTE Y MONTAJE.....	13
92.1	TRANSPORTE Y LLEGADA A OBRA.....	13
92.1.1	<i>Salida de taller</i>	13
92.1.2	<i>Transporte a obra</i>	13
92.1.3	<i>Ensamblado a pie de obra</i>	13
92.2	ACTUACIONES PREVIAS AL MONTAJE EN OBRA	13
92.2.1	<i>Condiciones del emplazamiento para el montaje de estructuras de acero</i>	13
92.2.2	<i>Programas de montaje</i>	14
92.2.3	<i>Replanteo de la estructura</i>	16
92.2.4	<i>Soportes</i>	16
92.3	MONTAJE	17
92.3.1	<i>Planos de montaje</i>	17
92.3.2	<i>Marcado</i>	17
92.3.3	<i>Manipulación y almacenamiento en montaje</i>	17
92.3.4	<i>Montaje de prueba</i>	18
92.3.5	<i>Métodos de montaje</i>	18
92.3.6	<i>Alineaciones</i>	19
ARTÍCULO 93	FIJACIÓN CON ELEMENTOS MECÁNICOS	19
93.1	GENERALIDADES	19
93.2	SITUACIÓN Y TAMAÑO DE LOS AGUJEROS.....	20
93.3	UTILIZACIÓN DE TORNILLOS	21
93.4	UTILIZACIÓN DE TUERCAS.....	21
93.5	UTILIZACIÓN DE ARANDELAS	21
93.6	APRETADO DE TORNILLOS SIN PRETENSAR.....	22
93.7	APRETADO DE TORNILLOS PRETENSADOS	22
93.7.1	<i>Método de la llave dinamométrica</i>	24
93.7.2	<i>Método de la arandela con indicación directa de tensión</i>	25
93.7.3	<i>Método combinado</i>	25

93.8	SUPERFICIES DE CONTACTO EN UNIONES RESISTENTES AL DESLIZAMIENTO	25
93.9	FIJACIONES ESPECIALES.....	27
93.10	UTILIZACIÓN DE TIPOS ESPECIALES DE TORNILLOS.....	27
93.10.1	<i>Tornillos de cabeza avellanada</i>	27
93.10.2	<i>Tornillos calibrados y bulones</i>	27
93.10.3	<i>Tornillos de inyección</i>	28
ARTÍCULO 94	SOLDADURA	28
94.1	INTRODUCCIÓN	28
94.2	PLAN DE SOLDADURA	28
94.3	PROCESO DE SOLDADURA.....	29
94.4	CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	29
94.4.1	<i>Procedimiento de soldeo</i>	29
94.4.2	<i>Cualificación de soldadores y operadores de soldeo</i>	29
94.4.3	<i>Coordinación del soldeo</i>	30
94.5	PREPARACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA	30
94.5.1	<i>Preparación de bordes</i>	30
94.5.2	<i>Almacenamiento de consumibles</i>	30
94.5.3	<i>Protección contra la intemperie</i>	31
94.5.4	<i>Montaje para el soldeo</i>	31
94.5.5	<i>Pre calentamiento</i>	31
94.5.6	<i>Uniones temporales</i>	32
94.5.7	<i>Soldaduras de punteo</i>	33
94.5.8	<i>Soldaduras en ángulo</i>	33
94.5.9	<i>Soldaduras a tope</i>	33
94.5.9.1	Generalidades	33
94.5.9.2	Soldaduras por un solo lado	34
94.5.9.3	Toma de raíz	34
94.5.10	<i>Soldaduras de ranura</i>	34
94.5.11	<i>Soldadura de conectadores</i>	35
94.5.12	<i>Tratamiento post-soldadura</i>	35
94.5.13	<i>Enderezado</i>	35
94.5.14	<i>Limpieza y saneado en la ejecución de soldaduras</i>	36
94.6	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE SOLDADURAS	36
ARTÍCULO 95	TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN	38
95.1	GENERALIDADES.	38
95.2	PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES	38
95.3	MÉTODOS DE PROTECCIÓN.....	39
95.3.1	<i>Metalización</i>	39
95.3.2	<i>Galvanización en caliente</i>	39
95.3.3	<i>Pintado</i>	40
95.4	REQUISITOS ESPECIALES	41
95.5	PROTECCIÓN DE ELEMENTOS DE FIJACIÓN.....	41
95.6	TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN DE ACEROS PATINABLES.....	42

Artículo 91 Preparación y fabricación

91.1 Generalidades

Este Capítulo establece los requisitos mínimos de ejecución adecuados al nivel previsto de seguridad, que proporcionan los criterios de proyecto de este Código y dentro del ámbito de aplicación del mismo.

Con carácter general, este capítulo es aplicable a toda estructura sometida a cargas predominantemente estáticas. Para estructuras solicitadas a fatiga se requieren niveles superiores de ejecución acordes así mismo con la clasificación de los correspondientes detalles constructivos.

El pliego de prescripciones técnicas particulares incluirá todos los requisitos de fabricación, montaje y materiales necesarios para garantizar el nivel de seguridad del proyecto, pudiendo contener indicaciones complementarias sin reducir las exigencias tecnológicas ni invalidando los valores mínimos de calidad establecidos en este Código. A estos efectos se podrá tener en cuenta lo relativo a la información adicional que se define en la tabla A1 del Anexo A de la norma UNE EN 1090-2.

Entre las estructuras que merecen una ejecución más cuidadosa se encuentran las que, de acuerdo con el apartado 14.3, pertenecen a las clases de ejecución 4 y 3.

La fabricación de las piezas de acero estructural que forman parte de las estructuras metálicas requiere disponer de unas instalaciones que permitan desarrollar, de conformidad con lo indicado en este Código, las siguientes actividades:

- recepción y acopio de los productos de acero empleados,
- elaboración de planos de taller, y
- procesos de corte, conformado, enderezado y perforación.

Además, el taller deberá disponer de zonas para poder realizar el ensamblado, armado previo y montaje en blanco de las piezas que fabrica.

Asimismo, deberá tener implantado un sistema de control de la conformidad de la producción conforme a los requisitos del mercado CE.

Al objeto de garantizar la trazabilidad de los productos de acero empleados en los talleres, la dirección facultativa podrá recabar, a través del constructor, evidencias sobre la misma.

91.2 Clases de ejecución

El proyecto incluirá la clasificación de todos los elementos de la estructura, según su ejecución, que es necesaria para garantizar el nivel de seguridad definido. Una obra, o parte de la misma, puede incluir elementos de distinta clase. Es necesario que se agrupen los elementos por clases para facilitar la descripción de requisitos y la valoración de su ejecución y control.

91.2.1 Nivel de riesgo

El nivel de riesgo de una obra define las consecuencias que podría tener su fallo estructural durante su construcción o en servicio (edificio público, almacén privado, obra estratégica, paso superior sobre vía importante, marquesina de aparcamiento, etc.).

La definición del nivel de riesgo se establece según los siguientes criterios:

- Nivel CC 3. Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, como es el caso de un edificio público, o puede generar grandes pérdidas económicas.
- Nivel CC 2. Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, pero no del público en general, o puede generar apreciables pérdidas económicas.
- Nivel CC 1. Elementos no incluidos en los niveles anteriores.

Una estructura puede contener partes y componentes de diferente nivel de riesgo.

91.2.2 Condiciones de ejecución y uso

Las condiciones de ejecución y uso tratan de categorizar los riesgos inherentes al tipo de construcción y al tipo de acciones que pueden incidir sobre la estructura.

En general puede aceptarse que la complejidad de la construcción o el empleo de técnicas y procedimientos especiales pueden suponer un aumento del riesgo, así como también la existencia de esfuerzos dinámicos y condiciones climáticas desfavorables (soldadura en obra frente a uniones atornilladas, carrileras de puente grúa frente a soportes de barandillas, temperaturas bajas frente a elementos en interiores, etc.).

La definición de la condición de ejecución y uso se puede establecer de acuerdo con la tabla 91.1 basada en las categorías de uso y ejecución que se definen a continuación.

91.2.2.1 Categorías de uso

La categoría de uso depende del riesgo ligado al servicio para el que se diseña la estructura:

- SC1: Estructuras y componentes sometidas a acciones predominantemente estáticas (edificios). Estructuras con uniones diseñadas para acciones sísmicas moderadas que no requieren ductilidad. Carrileras y soportes con cargas de fatiga reducida, por debajo del umbral de daño del detalle más vulnerable.
- SC2: Estructuras y componentes sometidas a acciones de fatiga (puentes de carretera y ferrocarril, grúas y carrileras en general). Estructuras sometidas a vibraciones por efecto del viento, paso de personas o maquinaria con rotación. Estructuras con uniones que requieren ductilidad por requisito de diseño antisísmico.

91.2.2.2 Categoría de ejecución.

La categoría de ejecución depende de la fabricación y montaje de la estructura.

- PC1: Componentes sin uniones soldadas, con cualquier tipo de acero. Componentes con soldaduras de acero de grado inferior a S355, realizadas en taller.
- PC2: Componentes con soldaduras de acero de grado S355 o superior. Ejecución de soldaduras en obra de elementos principales. Elementos sometidos a tratamiento térmico durante su fabricación. Piezas de perfil hueco con recortes en boca de lobo.

91.2.3 Determinación de la clase de ejecución.

La clase de ejecución se define a partir de los criterios anteriores de nivel de riesgo y de categoría de las condiciones de ejecución y uso de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 91.1. Determinación de la clase de ejecución

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

En casos particulares, de conformidad con la Propiedad, puede ser conveniente imponer una clase de ejecución superior en algunos elementos particulares. Asimismo la clasificación anterior no limita la inclusión de requisitos adicionales que explícitamente se indiquen en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

91.3 Planos de taller

Antes de procederse al inicio del proceso de fabricación en taller, el constructor, a través del taller metálico, deberá elaborar los planos de taller, de conformidad con los planos y pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, que deberán definir completamente todos los elementos y detalles de la estructura metálica, incluyendo todos los datos necesarios para su ejecución. Para ello deberá comprobarse previamente las cotas de replanteo y asegurarse la compatibilidad con el resto de la construcción.

91.3.1 Contenido

Los planos de taller contendrán en forma completa:

- la subdivisión en tramos de la estructura por razones de manipulación en taller, transporte y montaje en obra;
- la acotación de las dimensiones necesarias para definir completamente todos los elementos y detalles de la estructura, así como de sus uniones;
- la definición de los perfiles y de las clases de acero, así como la indicación de los pesos y marcas de trazabilidad de cada uno de los elementos de la estructura;
- las contraflechas de ejecución, así como los contra giros en los extremos de las piezas y en las secciones de unión entre tramos de montaje;
- la forma y geometría de cada unión, incluso de las uniones provisionales para fabricación y montaje;
- las calidades y diámetros de los tornillos, así como de los agujeros en las chapas, con indicación, en su caso, de la forma de su mecanizado;
- la posición y calidades de los pernos conectadores;
- la forma, tipo y dimensiones de las uniones soldadas, incluyendo:
 - la geometría y dimensiones de las preparaciones de bordes,
 - la apertura de raíz, tanto para soldaduras a tope como en ángulo,
 - el procedimiento y, en su caso, el método y posiciones de soldeo,
 - los materiales de aportación,
 - el orden de ejecución, cuando sea necesario;
- las secuencias de las diferentes fases de armado, ensamblado y soldeo (o fijación con elementos mecánicos) para la ejecución de las diferentes piezas o elementos de la estructura;
- las indicaciones sobre mecanizados, tratamientos térmicos, amolados o cualquier tipo de operación previa o de acabado en todos aquellos elementos, uniones o detalles que los precisen;
- los empalmes entre elementos que, por limitaciones de laminación, manipulación o transporte, sea necesario establecer;
- la posición y radio de las groetas para el cruce de soldaduras, que deberán tener el radio adecuado para permitir el correcto rebordeo de las soldaduras en ángulo sin que se obture el paso;
- la definición de todos aquellos elementos auxiliares (orejetas, cáncamos, plantillas, gálibos, arriostamientos provisionales, etc.) que sean necesarios para la manipulación, fijación, volteo, transporte, izado, etc. de los elementos principales, tanto durante su fabricación en taller, como durante su transporte, ensamblaje o montaje en obra. Se definirá la ubicación, dimensiones y tipo de unión (atornillada o soldada) de dichos elementos auxiliares a los elementos

principales, así como las operaciones previstas para el saneo posterior a su eliminación;

- la definición de las bancadas de montaje necesarias para el armado y fabricación de las piezas en taller y en su caso en obra, con la definición de los puntos de apoyo de las piezas y la geometría de la bancada que garantice la geometría final de las piezas incluyendo sus contraflechas.

No se admitirán planos de taller con esquemas, detalles, uniones, soldaduras, etc. sin escala o paramétricos para geometrías variables del detalle. Cada detalle o unión de diferente geometría exigirá un detalle específico en los planos de taller.

Las hojas de despiece de los planos de taller deberán definir completamente todas las dimensiones de cada chapa, sus marcas de trazabilidad, preparaciones de borde, groeras, etc., posicionando espacialmente de manera inequívoca la pieza según su ubicación en la estructura.

No se dispondrá ningún tipo de fijación provisional, atornillada o soldada, sobre la estructura de acero salvo aquéllas que figuren explícitamente en los planos de taller o montaje en obra, y que previamente hayan sido aceptadas por la dirección facultativa.

91.3.2 Revisión y modificaciones

El constructor, antes de comenzar la ejecución en taller, entregará dos copias firmadas de los planos de taller a la dirección facultativa, que los revisará y devolverá una copia autorizada firmada en la que, si se precisan, señalará las correcciones que deben efectuarse. En este caso, el constructor entregará nuevas copias de los planos de taller corregidos para su aplicación definitiva.

Cualquier modificación introducida a lo largo del proceso de fabricación y ejecución de la estructura de acero deberá incorporarse a los planos de taller, añadiendo las notas explicativas de las mismas, para que la obra terminada quede exactamente definida en dichos planos.

No se aceptará, salvo autorización explícita por la dirección facultativa, ninguna modificación de detalles, tipos de soldadura, etc. con respecto a los planos de proyecto, ni la incorporación de ninguna fijación provisional que pudieran rebajar la resistencia o la categoría de detalle de fatiga respecto del proyecto original.

Los planos de taller irán firmados por el técnico del Taller metálico responsable de su elaboración, así como por un técnico competente, con experiencia probada en el ámbito de la construcción metálica, por parte del constructor. Este último será responsable de:

- transmitir a la dirección facultativa la lista precisa de posibles insuficiencias en la definición del proyecto, en relación al desarrollo de detalles, preparación de bordes, tipo y dimensionamiento de soldaduras, etc., pudiendo proponer a la citada dirección facultativa, debidamente justificadas, posibles alternativas a las indefiniciones detectadas;
- asegurar la conformidad de los planos de taller con los Planos del proyecto y las posibles directrices transmitidas por la dirección facultativa en caso de indefiniciones del proyecto;

- aportar las justificaciones técnicas de que las adaptaciones planteadas, en elementos, detalles, uniones, tipos de soldadura, etc., por razones constructivas, de fabricación o de adaptación a los medios y sistemas propios del Contratista, o de su taller metálico, no afectan a la seguridad resistente o a fatiga de la estructura, a su durabilidad ni a su comportamiento frente al fuego;
- adaptar las contraflechas y contragiros del proyecto a cualquier modificación del proceso de montaje, o de su secuencia de fases en procesos evolutivos, que pudiera afectarlos.

91.4 Preparación del material

Previamente al inicio de la fabricación se deberán recepcionar los materiales de acuerdo con lo establecido por los Capítulos 18 y 23, para evitar cualquier rechazo posterior atribuible al material que pueda entrar en conflicto con la ejecución.

En lo que respecta a las operaciones de marcado, manipulación, almacenamiento, enderezado, corte, conformación y perforación se estará a lo que se indica en la UNE EN 1090-2.

91.4.1 Marcado, manipulación y almacenamiento

En todas las fases de fabricación las piezas deberán ser identificadas con un marcado adecuado, duradero y distinguible, acorde con el sistema de representación utilizado en los planos de taller.

El marcado permitirá el seguimiento de los diferentes elementos de la estructura para facilitar los controles establecidos en el Capítulo 23 y el eventual almacenamiento o acopio previo al montaje.

En el almacenamiento se cuidará que se mantienen las condiciones de durabilidad del Capítulo 19 y del apartado 95.2.

91.4.2 Enderezado

Se estará a lo que se indica en la UNE EN 1090-2 sobre el particular

91.4.3 Corte

El corte puede realizarse por procedimientos con sierra, disco, plasma, oxicorte automático y láser. Los procedimientos de cizalla y oxicorte manual no se utilizarán en el caso de clases de ejecución 3 y 4, salvo en casos excepcionales en los que no pueda recurrirse a otros métodos, con autorización expresa de la dirección facultativa y seguidos de un mecanizado y el posterior control del acabado superficial y dureza de los bordes, según se describe en el párrafo siguiente. Una vez se cuente con la autorización expresa de la dirección facultativa, la cizalla solo puede ser utilizada hasta espesores de 25 mm. El mecanizado será obligatorio en piezas de cualquier espesor de clase de ejecución 4 y en las de clase 3, en aquellas de espesor superior a 15 mm. La eliminación de rebabas y partes dañadas es obligatoria a menos que sean fundidas en una operación de soldeo posterior.

El equipo utilizado en el corte debe ser revisado periódicamente de modo que se garantice la magnitud máxima de las irregularidades

El mecanizado o amolado, en una profundidad superior a 0,5 mm, y su posterior control, será necesario, con independencia del método de corte, cuando se produzcan oxidaciones, entallas, estrías, mordeduras, irregularidades o endurecimientos locales superiores a 380HV10 en los bordes. En caso de que se use oxicorte automático o plasma se amolará siempre la superficie. La eliminación de rebabas y zonas dañadas es obligatoria a menos que sean fundidas en un proceso de soldeo posterior.

La calidad del acabado superficial tras el corte se define según la UNE-EN ISO 9013. Los test de dureza Vickers se rigen por la UNE-EN ISO 6507.

En el caso de realizarse el test de dureza en zonas biseladas o rectas después de un proceso de corte, se descarta realizar el mismo con el método HV (Vickers) ya que es un ensayo destructivo. . Se recomienda realizar el ensayo Brinell con el empleo de un equipo de campo. Posteriormente puede realizarse una conversión a Vickers mediante el empleo de tablas.

91.4.4 Conformación

Esta operación puede realizarse por doblado o plegado hasta que se obtenga la forma requerida tanto en frío como en caliente, siempre que las características del material no queden por debajo de las especificadas en el proyecto. Se estará a lo que se indica en la UNE EN 1090-2 sobre el particular.

91.4.5 Perforación

Los agujeros para tornillos pueden realizarse mediante taladrado, punzonado, láser, plasma y corte térmico siguiendo las prescripciones de ejecución que se indican en UNE EN 1090-2 sobre el particular. No estará permitido el punzonado en elementos sometidos a sollicitaciones de fatiga ni en elementos de clase de ejecución 4. Además se recomienda que en piezas sometidas a cargas de fatiga, clase de ejecución 4, se use una guía para ejecutar los agujeros con taladro.

En el caso en que el pliego de prescripciones técnicas particulares defina un elemento o parte de él como de fabricación cuidadosa, conforme a lo señalado en el art 14.3, se deberán corregir los bordes de agujeros que hayan sido realizados por algún método térmico y que alcancen una dureza local superior a 380HV10 (361 HB) para las clases de ejecución 4 y 3. En éste caso la huella habrá de centrarse a una cota aproximada de 10 mm del borde del agujero a fin de evitar que la propia bola deforme el borde del mismo por proximidad y que se obtenga un resultado erróneo.

91.5 Ensamblado y armado

Esta operación consiste en presentar los elementos elaborados y proceder a su ensamblado en diferentes tramos. Se deberá obtener una coincidencia de uniones dentro de las tolerancias aplicables del Anejo 16, sin forzar o dañar los elementos.

Antes de iniciar la fabricación, el taller metálico propondrá por escrito, con los planos necesarios para su definición, la secuencia de armado y soldeo de las piezas que, en función de sus medios y experiencia, permite minimizar el embridado de las uniones a soldar, las tensiones residuales y las deformaciones parásitas de soldeo. La propuesta deberá ser informada por el constructor y se someterá a la aceptación de la dirección facultativa, previamente al inicio de la fabricación.

En el armado, el constructor comprobará que la disposición, contraflechas, marcas de trazabilidad, dimensiones, espesores y preparaciones de borde de cada elemento se ajusten a las indicadas en los planos de taller. Se rectificarán o repondrán todas las piezas que no permitan su acoplamiento, sin forzarlas, dentro de las tolerancias admisibles para los elementos y los procedimientos cualificados aplicables a sus uniones soldadas o atornilladas.

Para el armado, las piezas se fijarán entre sí o a gálibos de armado mediante elementos que aseguren su inmovilidad durante el soldeo y su enfriamiento posterior.

Podrán utilizarse como medios de fijación puntos de soldadura entre los bordes de las piezas a unir, que posteriormente se limpiarán de escoria y se controlará que no contengan fisuras, pudiendo entonces englobarse en la soldadura definitiva, si se ejecutan tal y como define el apartado 7.5.7 de la UNE-EN 1090-2. El constructor se responsabilizará del control y documentación del proceso.

Deben eliminarse todas las soldaduras de punteo no incorporadas en las soldaduras finales.

Cualquier recurso a medios auxiliares fijados en la estructura principal, para el armado, fijación o volteo de piezas en taller, deberá quedar reflejado en los planos de taller. A las piezas provisionales, y a sus uniones a elementos de la estructura, se les aplicarán los mismos requisitos que a los elementos definitivos.

Será responsabilidad del constructor asegurarse de que el taller metálico o el personal de obra no cierre, dejando inaccesibles, zonas de la estructura con uniones o elementos cuya conformidad no haya quedado todavía acreditada, de acuerdo con el programa de control. Para ello se establecerán los puntos de parada que sean necesarios

91.6 Montaje en blanco

Antes de su montaje en posición definitiva en obra, se debe verificar el correcto ajuste entre los diferentes tramos ya ejecutados en taller, haciendo coincidir los tramos adyacentes de la estructura completa para comprobar que presentan idéntica configuración geométrica y que se respetan estrictamente las tolerancias admisibles para las uniones atornilladas o soldadas, principalmente a tope, a realizar posteriormente en obra.

Cuando, por razones de espacio o de ritmos de fabricación de la estructura, no sea posible el preensamblado de elementos completos adyacentes en taller, podrá recurrirse a métodos alternativos, siempre que permitan garantizar la misma precisión, y sean aceptados por el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto o, en su caso, la dirección facultativa, tales como el recurso a plantillas que reproduzcan

fielmente la geometría del extremo del tramo enviado a obra previamente a su montaje en blanco, o procedimientos de medida por métodos tridimensionales.

El montaje en blanco deberá verificar:

- la continuidad de alineaciones verticales y en planta entre tramos, así como de las pendientes longitudinal y transversal, mucho más sensibles que las primeras a los procesos de fabricación y soldeo, controlando la ausencia de discontinuidades o puntos angulosos;
- la coincidencia entre los bordes de las secciones transversales a lo largo de todo el perímetro de la sección o, en caso de haberse previsto así en el proyecto, los eventuales contragiros a disponer entre extremos de vanos adyacentes. Se exigirá una precisión de los controles acorde a las tolerancias admisibles por las uniones, atornilladas o soldadas, por las normativas de aplicación;
- en las superficies de cuñas de basas de apoyo, su geometría, planeidad, ortogonalidad y las nivelaciones en sentido longitudinal y transversal de su superficie inferior, pudiendo recurrirse al mecanizado para la corrección de ajustes;
- en algunos casos, puede resultar necesario medir y controlar que las variaciones de longitud de tramos, respecto de las teóricas de proyecto, no sufren alteraciones sensibles como consecuencia de una incorrecta estimación por el taller de las retracciones por soldeo. Si los resultados de dichas mediciones no resultan aceptables, deberán preverse las oportunas demasías en los despieces de chapas, procediéndose al posterior corte y preparación de borde de los extremos de cada tramo, una vez contrastada la longitud real del mismo tras las citadas retracciones de soldeo.

En general, y salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto establezca otros requisitos, el montaje en blanco se realizará con los tramos montados en las mismas bancadas de armado, que deben reflejar exactamente las contraflechas del proyecto.

En dicha situación de múltiple apoyo de las piezas, la geometría de las mismas puede enmascarar las eventuales deformaciones parásitas de soldeo, a las que resultan muy sensibles los contragiros verticales, así como las pendientes de las alineaciones longitudinal y transversal en los extremos de los tramos. Por ello, el proyecto podrá exigir la realización, en taller u obra, de medidas adicionales de la deformación de la pieza bajo la acción de su peso propio, en condiciones análogas a las de montaje, para verificar con precisión que se respetan las tolerancias de las uniones en situaciones de deformación análogas a las del momento de la realización de dicho montaje. Alternativamente podría recurrirse a demasías que permitan el posterior mecanizado de ajuste tras una presentación de las piezas previa al montaje en obra.

Artículo 92 Transporte y montaje

92.1 Transporte y llegada a obra

92.1.1 Salida de taller

Ninguna pieza podrá salir del taller sin la autorización expresa de la dirección facultativa, una vez demostrada la conformidad de la misma con el proyecto.

92.1.2 Transporte a obra

Las manipulaciones necesarias para la carga, descarga, transporte y almacenamiento a pie de obra se realizarán con los necesarios cuidados para evitar sobresolicitaciones o distorsiones en algún elemento y daños en las superficies o tratamientos de protección.

Durante el transporte y acopio a pie de obra, las piezas se fijarán y asegurarán provisionalmente, para lo que se dispondrán los sistemas adecuados para garantizar su estabilidad, rigidez y resistencia.

Se tomarán asimismo medidas para evitar la acumulación del agua de lluvia o suciedad durante la fase de almacenamiento a pie de obra.

92.1.3 Ensamblado a pie de obra

Antes de proceder al montaje se deberán corregir y reparar cualquier abolladura, comba o torcedura, así como los daños o entallas superficiales, o en los bordes o biseles de las chapas, mediante procedimientos previamente aprobados con requisitos análogos a los exigidos para la fabricación en taller.

92.2 Actuaciones previas al montaje en obra

92.2.1 Condiciones del emplazamiento para el montaje de estructuras de acero

El montaje de la estructura comenzará cuando se cumplan los requisitos del plan de seguridad de la obra, que entre otros debe considerar los siguientes aspectos:

- Zonas de aparcamiento para vehículos, maquinaria en general y acopios.
- Acceso y circulación en el interior de la obra.
- Instalación de grúas fijas.
- Preparación del terreno de emplazamiento en cuanto a condiciones de suelo, drenaje superficial y estabilidad de taludes, si ha lugar.
- Comprobación de servicios afectados, incluyendo conductos subterráneos, cables aéreos o cualquier otro condicionante físico.
- Comprobación de que las piezas de mayores dimensiones y peso pueden ser suministradas a pie de obra.
- Zonas contiguas afectadas por el montaje.
- Condiciones climáticas y medioambientales.

- Comprobación de las condiciones del terreno que permitan prever o corregir eventuales movimientos, tales como asentamientos de bases de pilares o giro de paramentos de muros durante la ejecución de la obra.
- Las actividades previas o posteriores al montaje deben disponer asimismo de un plan de seguridad compatible, sea cual sea su naturaleza y deben estar coordinadas.

92.2.2 Programas de montaje

El pliego de prescripciones técnicas particulares deberá incluir un método de montaje preliminar adecuado a las características resistentes de la estructura en sus distintas fases que servirá de orientación al constructor para la redacción del programa de montaje definitivo.

Este programa preliminar deberá tener en cuenta:

- La situación de nudos y empalmes.
- Longitudes máximas de barras.
- La secuencia de montaje.
- La estabilidad provisional, incluyendo apeos y arriostramientos.
- Condiciones para la retirada de apeos y arriostramientos.
- Piezas con reducida estabilidad lateral y frente a torsión durante el montaje que requieren izado y manipulación especial.
- Ejecución de bases de pilares y apoyos en cuanto a retacado con mortero de placas base.
- Contraflechas y ajustes en juntas de dilatación.
- La utilización de chapa perfilada como contribución a la estabilidad.
- La posibilidad de que las cargas de ejecución superen a las correspondientes al diseño.

El programa de montaje definitivo será elaborado por el constructor debiendo ser autorizado por la dirección facultativa antes del inicio de los trabajos. En su redacción, el constructor puede modificar las indicaciones del programa preliminar e introducir otros métodos o sistemas no contemplados en él siempre que se justifique ante la dirección facultativa, mediante cálculo o referencias de obra similares.

Sin perjuicio de lo que establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, el programa de montaje deberá definir los siguientes aspectos:

- posiciones, tipo y definición de las uniones a realizar en obra;
- dimensiones, centro de gravedad y peso de cada tramo a montar;
- secuencia de fases de montaje, con descripción de las mismas, calendario y tiempos de actividad de cada fase, incluyendo la necesaria coordinación con los trabajos en taller y el transporte de las piezas a obra;

- apeos o arriostramientos provisionales para asegurar la resistencia y estabilidad de las piezas, así como los eventuales requisitos para su posterior eliminación;
- definición del tipo de apoyo, definitivo o provisional, de las piezas sobre pilas, estribos o apeos intermedios;
- incorporación, en los planos de montaje o taller, de las orejetas, bulones, casquillos, cáncamos o cualquier elementos auxiliar de fijación a la estructura principal que sea preciso para las operaciones de izado, levantamiento, volteo, empuje, etc. de montaje;
- justificaciones resistentes de dichos elementos de fijación y sus uniones a la estructura principal, así como de la no afección a la resistencia y comportamiento a fatiga de la misma, firmadas por un técnico competente, con probados conocimientos en cálculo de elementos y uniones de estructuras de acero;
- procedimientos, para la posterior eliminación de dichas fijaciones auxiliares provisionales, su control y procedimientos de reparación y saneo de los eventuales daños a la estructura principal;
- posiciones y cargas para elevación con grúas, izados, contrapesos, empujes, etc.;
- en el caso de puentes de la Red de Carreteras del Estado, los proyectos específicos de los procesos de montaje y de los medios auxiliares necesarios, de conformidad con la Orden FOM/3818/2007, de 10 de diciembre, incluyendo memoria descriptiva, planos, anejo de cálculo, instrucciones de montaje, desmontaje y mantenimiento, y pliego de condiciones con las condiciones de aceptación/rechazo de materiales y componentes;
- magnitud de las deformaciones (flechas en vanos y giros sobre apoyos y en los extremos de las piezas a ensamblar) en cada fase de montajes evolutivos, para su contraste con las mediciones a realizar en obra;
- tolerancias de posicionamiento en apoyos de cada tramo, así como de ajuste entre los bordes de elementos a unir, por soldeo o por fijación con elementos mecánicos;
- eventual afección sobre los ajustes geométricos de montaje como consecuencia de los efectos térmicos (dilataciones, gradientes verticales o transversales) en el momento del montaje;
- definición de las sobrecargas de ejecución (personal y equipos) y del viento admisible durante las operaciones de montaje, justificando la resistencia y estabilidad de la estructura;
- detalle de las fases, tiempos de actividad, equipos, medios auxiliares y cualificación del personal,

Se deberán elaborar procedimientos específicos para las uniones en obra (soldadas o atornilladas) entre tramos con definición precisa de:

- la necesidad o no de montajes en blanco en obra, adicionales a los realizados en taller, o presentaciones previas con los tramos ya montados, para la verificación de las tolerancias de ajuste de las piezas con los límites exigibles por los procedimientos cualificados aplicables a las uniones soldadas o atornilladas a realizar en obra;
- los procedimientos previstos para realizar el ajuste entre piezas, así como las fijaciones provisionales para garantizar su completa inmovilidad durante la ejecución de la unión;
- los procedimientos correctores previstos en caso de que los controles de tolerancias de ajuste, antes citados, tanto en la geometría de la estructura como, principalmente, en las uniones soldadas o atornilladas no sean aceptables. Dichos procedimientos correctores deberán estar cualificados por el constructor y aceptados por la dirección facultativa;

92.2.3 Replanteo de la estructura

A medida que se desarrolla el proceso de ejecución de la estructura, el constructor velará para que los ejes de los elementos, las cotas y la geometría de las secciones de cada uno de elementos estructurales, sean conformes con lo establecido en el proyecto, teniendo para ello en cuenta las tolerancias establecidas en el mismo o, en su defecto, en este Código.

92.2.4 Soportes

Todas las cimentaciones, tanto zapatas como losas o macizos de apoyo deben haber sido inspeccionadas previamente, incluyendo los pernos de anclaje embebidos en ellas, para garantizar que su posición y alineaciones están de acuerdo con los planos.

En caso de pernos embebidos en la cimentación, deberá disponerse de un sistema que garantice el posicionamiento dentro de las tolerancias requeridas. En este sentido, es recomendable el empleo de plantillas que garanticen la posición de los pernos.

Debe cuidarse que la posición a lo largo del montaje de los soportes no sufra modificaciones que excedan las tolerancias (ver Anejo 16).

Tanto los propios pernos de anclaje como los calzos o cuñas de nivelación de placas base han de ser capaces de soportar la estructura montada, previamente al retacado con mortero de nivelación. En el caso de que los elementos provisionales queden embebidos, debe asegurarse que disponen de una durabilidad igual a la de la estructura y de que quedan con un recubrimiento mínimo de 25 mm.

El relleno del espacio entre la placa base y el cimiento debe efectuarse con mortero de cemento o con morteros especiales sin retracción. En función del mortero utilizado y de las dimensiones del elemento se fijará el espesor mínimo que garantice el correcto relleno con un procedimiento que evite la presencia de aire bajo las placas a rellenar y pueda ofrecer espacio suficiente para colocar y manipular las cuñas o tuercas inferiores de nivelación.

El relleno de mortero debe realizarse lo antes posible una vez que los pilares y vigas inmediatas superiores estén correctamente aplomados y alineados. El material no debe mezclarse o utilizarse con temperaturas inferiores a 0° C salvo instrucción del fabricante del mismo. En todo caso debe obtenerse una fluidez adecuada para rellenar completamente todo el espacio.

Previamente se habrá eliminado cualquier resto de grasa, hielo o suciedad. En las placas base cuya dimensión mínima supere 400 mm es recomendable disponer orificios de venteo de 50 mm para facilitar la penetración del producto.

En el caso de soportes empotrados en zapatas con receptáculos tipo cáliz, el hormigón o mortero de relleno debe ser de una resistencia característica no inferior a la del cemento. En la colocación inicial el hormigonado debe cubrir dos tercios de la longitud de empotramiento. No se deberá someter a ninguna carga adicional hasta que el hormigón no alcance la resistencia especificada a tal efecto por la dirección facultativa y que no será en ningún caso inferior a la mitad de su resistencia característica. La ejecución definitiva se completará con el hormigonado del último tercio.

92.3 Montaje

92.3.1 Planos de montaje

Los planos de montaje de la estructura se elaborarán a partir de los planos de taller. En ellos deberá constar las plantas y alzados a una escala tal que puedan apreciarse las marcas de montaje identificadoras de cada elemento.

En los planos de montaje se indicarán los elementos y sus uniones así como cualquier tolerancia especial. Los planos correspondientes a la cimentación deben detallar la posición y orientación de las placas base y de cualquier otro elemento en contacto directo con el hormigón.

Deberán constar las cotas de cada planta. En las placas base constarán el número, tipo, diámetro y posición de los pernos de anclaje, así como la holgura a rellenar con mortero de nivelación.

Cualquier elemento provisional, como arriostrados, escaleras de obra o accesos temporales, deberá estar incluido en los planos de montaje.

Los planos de montaje deben indicar el peso y centro de gravedad de cualquier elemento o subconjunto estructural que supere 50 kN.

92.3.2 Marcado

Los métodos de marcado cumplirán lo establecido en el apartado 91.3.1. En aquellos casos en los que no se deduzca su orientación o pueda inducir a error, provocando una inversión de esfuerzos en la pieza o subconjunto estructural, se deberá marcar la orientación en ellos (interior/externo; arriba/abajo; superior/inferior; etc).

En producciones seriadas, con componentes idénticos en todos los aspectos, se puede repetir la marca de montaje.

92.3.3 Manipulación y almacenamiento en montaje

La manipulación y almacenamiento en obra debe realizarse de manera que se minimice el riesgo de daño a los elementos. Se deberá prestar especial atención al eslingado en las operaciones de descarga e izado.

Deberán repararse los daños que pueda sufrir cualquier elemento que afecte a sus tolerancias, acabado de protección o a sus uniones.

La tornillería, elementos de fijación, cubrición y auxiliares deberán estar embalados e identificados adecuadamente.

92.3.4 Montaje de prueba

En estructuras complejas, o bien cuando se desee asegurar un correcto y ajustado montaje en obra, el pliego de prescripciones técnicas particulares puede exigir la realización de montajes en blanco de acuerdo con el apartado 91.5. En el programa de montaje definitivo que se indica en el apartado 92.2.2, el constructor podrá incluir el montaje en blanco para evaluar el tiempo o duración de operaciones de montaje complicadas.

92.3.5 Métodos de montaje

El montaje de la estructura se realizará de acuerdo con las indicaciones contenidas en el programa de montaje indicado en 92.2.2. A lo largo de todo el proceso deberá estar garantizada la resistencia y estabilidad de la obra.

En edificios es recomendable iniciar el montaje por núcleos rígidos que hagan intraslacional todo el conjunto, confiriendo estabilidad a las piezas que se montan posteriormente.

Los pernos de anclaje en base de pilares no empotrados no deben de considerarse eficaces para evitar el vuelco, a menos que se compruebe mediante cálculo.

Debe preverse el efecto de las cargas de ejecución, incluyendo peso de personal y equipo, durante el montaje, así como la acción del viento sobre la estructura no completa.

Los arriostramientos o rigidización provisional deberán mantenerse hasta que el montaje esté lo suficientemente avanzado, de modo que puedan ser retirados sin comprometer la seguridad.

Cabe la posibilidad en edificios o estructuras de gran altura que sea necesario liberar a los arriostramientos del efecto de las cargas gravitatorias a medida que avanza la construcción. En estos casos, que deben estar explícitamente indicados en el pliego de prescripciones técnicas particulares y considerados en el cálculo de la estructura, podrá procederse liberando cada vez únicamente un recuadro y recurriendo a otro arriostrado provisional alternativo si es necesario.

A las uniones de los elementos provisionales de montaje les es aplicable el pliego de prescripciones técnicas particulares. Dichas uniones deben realizarse de forma que no limiten ni la resistencia ni la capacidad de servicio de la estructura definitiva.

En caso de que el montaje implique la rodadura, u otro tipo de traslación de la estructura o de parte de ella, hasta su posición definitiva, deberán tomarse las medidas pertinentes para conseguir el frenado controlado de la misma y

preferiblemente para poder actuar en el sentido de invertir la dirección del desplazamiento si es necesario.

Los anclajes provisionales deberán estar asegurados contra cualquier posible aflojamiento involuntario.

El constructor será responsable de que ninguna parte de la estructura sea sobretensionada o distorsionada por acopio de materiales o cargas de montaje a lo largo de la construcción.

92.3.6 Alineaciones

Cada parte de la estructura debe quedar alineada, nivelada y ajustada tan pronto como sea posible una vez que haya sido montada; la ejecución de sus uniones debe realizarse inmediatamente después.

Si dichas uniones son definitivas, deberá asegurarse que su ejecución no compromete el ajuste, nivelación y aplomado de elementos posteriores.

En la alineación y ajuste de la estructura pueden emplearse tuercas de nivelación, cuñas y forros. Cuando exista riesgo de desplazamiento, las cuñas podrán soldarse, el material de las mismas será acero y el espesor mínimo será de 4 mm cuando se empleen en el exterior.

Cuando no sea posible corregir los errores de montaje o ajuste mediante cuñas en forma de calzos o forros, se deberá modificar adecuadamente la fabricación de los elementos, consignando los cambios introducidos en los planos de montaje.

Debe prestarse especial atención en no forzar el ajuste, si ello implica introducir esfuerzos en las barras no considerados en el cálculo de la estructura.

Para facilitar el montaje debe considerarse la posibilidad de disponer agujeros sobredimensionados o rasgados.

Artículo 93 Fijación con elementos mecánicos

93.1 Generalidades

En este Código se contemplan diferentes posibilidades en cuanto a disposiciones constructivas que permiten una ejecución razonable y acorde con los requisitos de calidad y seguridad de la estructura en cada caso concreto.

La ejecución de uniones mediante tornillos deberá tener en cuenta las características específicas del diseño cuyos requisitos se establecen en el Anejo 26 y las de los materiales utilizados que se contienen en el Artículo 85. Por lo tanto los diámetros de agujeros, separaciones mutuas y a bordes, sistemas de apretado y estado de superficies entre otros datos, deben constar en el pliego de prescripciones técnicas particulares y es recomendable que además figuren en los planos.

El constructor debe reconocer la clasificación de las uniones atornilladas a realizar, de acuerdo con el Anejo 26, de modo que pueda elaborar los planos de taller con las disposiciones constructivas que permiten cumplir las hipótesis consideradas en el cálculo.

93.2 Situación y tamaño de los agujeros

El diámetro de los agujeros en relación con el de los tornillos debe ser apropiado a los principios indicados en el apartado anterior. Para las placas base y de testa que alojan pernos de anclaje en hormigón, se aplican otras disposiciones no contempladas aquí.

Las holguras nominales, que sumadas al diámetro del tornillo proporcionan el del agujero, son:

a) Agujeros redondos normales:

- 1 mm para tornillos M12 y M14.
- 2 mm para tornillos M16 a M24.
- 3 mm para tornillos M27 y mayores.

b) Agujeros redondos sobredimensionados en uniones resistentes por rozamiento:

- 3 mm para tornillos M12 y M14.
- 4 mm para tornillos M16 a M22.
- 6 mm para tornillos M24.
- 8 mm para tornillos M27 y mayores.

c) Agujeros rasgados cortos, sentido longitudinal en uniones resistentes al deslizamiento normal:

- 4 mm para tornillos M12 y M14.
- 6 mm para tornillos M16 a M22.
- 8 mm para tornillos M24.
- 10 mm para tornillos M27 y mayores.

Para los agujeros rasgados, en el sentido corto, las holguras serán idénticas a las de agujero redondo.

Los tornillos calibrados se colocarán en agujeros con una holgura de 0,3 mm.

En las uniones resistentes al deslizamiento pueden disponerse holguras superiores a las indicadas en el sentido longitudinal siempre que no se supere en dos veces y medio el diámetro nominal del tornillo.

En uniones al exterior los agujeros rasgados deberán quedar cubiertos por tapajuntas o arandelas de dimensiones adecuadas cuyos agujeros serán de holgura normal.

Las distancias entre ejes de tornillos y de éstos a los bordes deberán cumplir con los valores mínimos establecidos en el proyecto y también con los máximos, especialmente si la unión ha sido concebida para permitir redistribución plástica de esfuerzos en tornillos y su capacidad está determinada por la resistencia a aplastamiento.

93.3 Utilización de tornillos

A menos que figure explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas particulares que se ha considerado el cortante en la parte roscada, la longitud de los tornillos se deberá determinar de manera que con la suma de espesores de chapas y arandelas el plano de cizalladura quede fuera de la parte roscada de la espiga.

No se podrán utilizar tornillos calibrados roscados hasta la cabeza.

Después del apriete, la espiga con rosca debe sobresalir de la tuerca al menos un filete. En los tornillos sin pretensado también debe quedar por lo menos un filete al otro extremo de la tuerca, es decir, dentro de la unión. En tornillos pretensados este último requisito será de cuatro filetes como mínimo.

Los tornillos no se soldarán a menos que se establezca un procedimiento cualificado de soldeo según UNE-EN ISO 15609-1 y conste explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

93.4 Utilización de tuercas

Las tuercas serán adecuadas al tipo de tornillo utilizado, especialmente en el caso de que sean pretensados de acuerdo con las tablas del Artículo 85.

Deberán poder desplazarse sin dificultad sobre el tornillo previamente a su instalación. Su designación debe quedar accesible, de modo que la cara en que conste su identificación resulte visible para la posterior inspección.

En estructuras sometidas a vibraciones se tomarán medidas especiales para evitar la pérdida de la rosca y la eventual salida del tornillo. En este caso, los tornillos de eje vertical tendrán su cabeza en la parte superior de la unión. Las tuercas de tornillos sin pretensar deberán estar dotadas de contratuercas u otro medio mecánico eficaz. En tornillos pretensados no es necesario utilizar contratuercas.

Con respecto a la soldadura de tuercas, es de aplicación lo indicado para los tornillos en el apartado anterior.

93.5 Utilización de arandelas

Independientemente de su calidad, los tornillos no pretensados no requieren el empleo de arandelas, a menos que se trate de superficies con recubrimientos de gran espesor, donde haya que evitar daños locales.

Mediante el uso de arandelas puede lograrse el requisito de mantener la parte roscada fuera del agujero en tornillos calibrados, o bien fuera del plano de cizalladura si así lo requiere el pliego de prescripciones técnicas particulares para tornillos no pretensados o pretensados.

En superficies inclinadas se utilizarán arandelas de espesor variable o en cuña en todos los casos.

Para tornillos pretensados es obligatorio el uso de arandelas tanto bajo cabeza del tornillo como bajo la tuerca. Las arandelas planas o achaflanadas a utilizar con tornillos pretensados deberán cumplir con las normas UNE-EN 14399-5 y UNE-EN 14399-6.

Si se emplean arandelas indicadoras del pretensado del tornillo, estas se instalarán con los resaltos en contacto con la parte que no gire en el apriete. En todo caso se observarán las instrucciones del fabricante, que deberán estar detalladas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

93.6 Apretado de tornillos sin pretensar

Los tornillos de uniones no pretensadas se apretarán hasta la condición de contacto ajustado de los componentes alrededor de la zona de cada tornillo. Es admisible que queden holguras locales de 2 mm separadas de la zona donde se disponen los tornillos. Para no superar ese límite es aconsejable proceder a un apretado progresivo de tornillos desde los más interiores hacia fuera.

No es necesario un valor de par de apriete determinado para lograr la condición de contacto ajustado; se considera que es el correspondiente al proporcionado por un operario utilizando una llave normal sin prolongador, equivalente al punto en que una llave neumática empieza a impactar.

Cuando se supere el límite de holgura de 2 mm o menos, si así lo indica el pliego de prescripciones técnicas particulares pueden interponerse cuñas o forros, o bien galgas en forma de peine abarcando a los tornillos.

En las uniones no pretensadas se pueden utilizar cualquiera de los tipos de tornillos indicados en el Artículo 85.

93.7 Apretado de tornillos pretensados

En las uniones con tornillos pretensados solamente se usarán los tipos 8.8 y 10.9, de acuerdo con el Artículo 85. Estas uniones se consideran resistentes al deslizamiento y les son aplicables los requisitos del apartado correspondiente.

El huelgo máximo entre superficies de contacto está limitado a 1 mm. En los casos en los que dicho huelgo supere ese valor y no alcance uno superior a 2 mm en ambientes corrosivos y 4 mm en ambientes interiores, cabe la posibilidad de utilizar el sistema de ajuste a base de forros.

El pretensado de los tornillos se iniciará una vez obtenida la condición de contacto ajustado y se realizará de forma ordenada y progresiva. Salvo indicación contraria del pliego de prescripciones técnicas particulares, se considera que el esfuerzo de pretensado que debe obtenerse en la espiga del tornillo es el 70% de la resistencia a tracción del tornillo f_{ub} multiplicada por el área resistente A_s :

$$N_0 = 0,7 f_{ub} A_s$$

Tabla 93.7. Esfuerzo de pretensado mínimo, N_o (kN)

Diámetro del tornillo (mm)								
	12	16	20	22	24	27	30	36
Tipo de tornillo 8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
Tipo de tornillo 10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

Este esfuerzo de pretensado puede obtenerse con uno de los siguientes métodos:

- Llave dinamométrica.
- Arandela con indicación directa de tensión.
- Método combinado.

El constructor, como responsable de aplicar, y asegurar, la tensión de apriete en los tornillos deberá:

- elaborar un procedimiento cualificado para el apriete de las diferentes uniones atornilladas pretensadas de la obra
- realizar la campaña de ensayos previos para asegurar la calibración de los citados procedimientos cualificados de apriete
- implantar un procedimiento de ejecución de las uniones, con una metodología de obligado cumplimiento, clara y precisa de las tareas y requisitos a respetar por los operarios y equipos responsables del apriete de las uniones, así como de la documentación exigida a dicho proceso
- elaborar y llevar a cabo el control de la ejecución de dichas uniones, cuyo desarrollo deberá minimizar la afcción a los ritmos y secuencias de fabricación y montaje de la estructura

Sólo son válidos aquellos procedimientos de apriete cualificados a través de ensayos de calibración realizados en condiciones estrictamente idénticas a las que se vayan a dar, en obra o taller, en el apriete de las uniones a las que sean de aplicación.

Se deberán implementar procedimientos cualificados de apriete para cada tipo de unión, entendiéndose como tal aquél en el que varía alguna de las siguientes circunstancias:

- fabricante o suministrador
- diámetro o tipo de tornillo
- tipo de tuerca

- tipo de arandela
- número, tipo, ubicación y posición relativa de las diferentes arandelas (normales, DTI, etc.)
- tipo de agujero (estándar, rasgados, sobredimensionados, etc.)
- clase, tipo o suministrador del lubricante
- estado de las superficies de los elementos a apretar o de su lubricación
- tipo de llave o sistema de apretado a utilizar
- secuencia de apriete a aplicar
- condiciones de ejecución, en taller u obra

La dirección facultativa podrá fijar las condiciones y requisitos que entiende aconsejables para evitar la necesidad de multiplicar el número de procedimientos cualificados a aplicar.

Las llaves de apriete serán calibradas. La documentación de su calibración será exigida antes de iniciarse el proceso de apriete estableciéndose asimismo al comienzo la frecuencia y el procedimiento a aplicar para las sucesivas calibraciones que fuera necesario realizar durante el plazo de la obra. Se utilizará siempre el mismo tipo de llaves que aquellas usadas en los ensayos de comprobación del procedimiento de apriete, en obra o taller.

93.7.1 Método de la llave dinamométrica

El par torsor aplicado a los tornillos induce un esfuerzo de pretensado en la espiga del tornillo que depende del diámetro del mismo y de un coeficiente que resume las características del rozamiento entre los componentes de la parte que gira.

Las llaves dinamométricas tendrán una precisión que evite un error superior al 4% en la aplicación del par torsor. Deberán ser verificadas diariamente a lo largo del montaje.

Con un estado de suministro de tuerca y tornillo ligeramente engrasados el par torsor vale orientativamente:

$$M_t = 0,18 d N_o$$

El par torsor será el recomendado por el fabricante del conjunto tornillo y tuerca, de acuerdo con la clasificación que establece la norma UNE-EN 14399-1. Será aplicado sin modificar las condiciones de suministro.

Si no se dispone de tal recomendación, se procederá siguiendo uno de los dos procedimientos siguientes:

- a) El par torsor se determinará a partir de los denominados valores k , indicados por el fabricante, aplicando las fórmulas del apartado 8.5.2 de la norma UNE-EN 1090-2.

- b) El par torsor se determinará mediante ensayo según el Anejo H de la norma UNE-EN 1090-2.

Para asegurar que se obtiene el esfuerzo N_0 se procederá, a partir de la condición de contacto ajustado con una apriete progresivo con un mínimo de dos fases:

- Aplicación del 75% de M_t
- Apriete hasta completar un 110 % de M_t

No es aconsejable sobrepasar ese valor, ya que si el rozamiento en la rosca es inferior al indicado, se puede producir la rotura del tornillo.

Se puede utilizar un valor del par torsor obtenido mediante ensayo según la norma UNE-EN 14399-2.

93.7.2 Método de la arandela con indicación directa de tensión

Este método consiste en utilizar arandelas especiales, de acuerdo con la norma UNE-EN 14399-9, que se disponen bajo la parte fija. Cuando se aplica un giro a la parte opuesta se induce un esfuerzo de pretensado en la espiga del tornillo que actúa sobre unos resaltes o protuberancias existentes en la arandela. Al alcanzar el valor prescrito dichos resaltes se chafan y se produce el contacto directo contra la tuerca o cabeza del tornillo, eliminándose la holgura que ocupaban.

93.7.3 Método combinado

A partir de la condición de contacto ajustado se aplica un 75% del par torsor. Seguidamente se procede a marcar la posición de las tuercas y se aplica un giro complementario dado de acuerdo con ensayos previos, realizados según la norma UNE-EN 14399-2.

Para uniones con superficies planas, puede utilizarse la siguiente tabla en función del espesor total, incluyendo arandelas y forros, en relación al diámetro del tornillo.

Tabla 93.7.3. Giro complementario en función del espesor de la unión

Espesor de la unión	Giro complementario
$t < 2d$	60 grados
$2d < t < 6d$	90 grados
$6d < t < 10d$	120 grados

93.8 Superficies de contacto en uniones resistentes al deslizamiento

En este tipo de uniones, el pretensado de los tornillos implica un estado de compresión de las superficies unidas que, afectado por el coeficiente de rozamiento

entre las mismas, se opone al deslizamiento relativo mutuo. El estado final de esas superficies determina su coeficiente de rozamiento.

En el pliego de prescripciones técnicas particulares debe indicarse cuál es la clase de superficie a obtener, especialmente si en el diseño se utilizan valores altos del coeficiente de rozamiento. Las superficies deben estar limpias y exentas de grasa. No es aceptable la limpieza con soplete.

En la tabla 93.8 se indican los tratamientos superficiales y el coeficiente de rozamiento respectivo. En los dos primeros casos el chorreado o granallado implica que debe obtenerse el grado Sa 2 ½ según la norma UNE-EN ISO 8504-1.

En el caso de que las superficies de contacto no hayan sido protegidas por una imprimación en taller y se difiera el montaje de las mismas, debe eliminarse la incipiente oxidación, o cualquier otra contaminación, mediante un cepillo de púas de acero suave.

Tabla 93.8. Valores del coeficiente de rozamiento en función del tratamiento superficial

Clase	Tratamiento	Coeficiente μ
A	A1- Chorreado o granallado sin picaduras de corrosión.	0,50
	A2 - Chorreado o granallado y metalizado por pulverización con aluminio.	0,50
	A3 - Chorreado o granallado metalizados por pulverización a base de zinc, con ensayo de deslizamiento.	0,50
B	Chorreado o granallado con imprimación de pintura de silicato alcalino de zinc hasta un espesor de 80 micras.	0,40
C	Limpieza por cepillado o flameo con eliminación de toda la cascarilla o herrumbre.	0,30
D	Sin tratamiento.	0,20

En el caso de superficies de contacto de acero galvanizado con tratamiento superficial de cepillado con cepillo de alambre se considerará clase C. Las superficies galvanizadas sin tratamiento son de clase D.

En casos no contemplados en esta tabla, o para afinar el diseño se puede recurrir a la determinación mediante ensayo, siguiendo las directrices del Anejo G de la norma UNE-EN 1090-2.

93.9 Fijaciones especiales

Dentro de este apartado se incluyen los elementos de unión de estructura de acero a hormigón en sus tres modalidades:

- Pernos embebidos en hormigón.
- Pernos anclados en taladros rellenos de mortero.
- Pernos anclados mecánicamente, tipo expansión o cuña.

Además de cumplir los requisitos propios de anclaje por adherencia o forma, deberán satisfacer todos los requisitos propios de tornillos de este Código, de acuerdo con su material y montaje, excepto los que hacen referencia a diámetros de agujeros.

Otros sistemas o métodos de unión no contemplados en este Código se podrán utilizar si así figura en el pliego de prescripciones técnicas particulares, cuando se disponga de suficiente experiencia y estén amparados por otras normas, y siempre bajo la responsabilidad del autor del proyecto o la dirección facultativa.

93.10 Utilización de tipos especiales de tornillos

93.10.1 Tornillos de cabeza avellanada

Los tornillos de cabeza avellanada deben quedar con la misma enrasada con la superficie de la chapa más exterior. Pueden utilizarse pretensados o sin pretensar y les son aplicables todos los apartados anteriores.

Las dimensiones del avellanado y sus tolerancias deben ser detalladas en cada caso. La profundidad del avellanado será 2 mm menor que el espesor nominal de la chapa externa.

En caso de que esta operación afecte a más de dos chapas, aquélla deberá ser ejecutada con ambas firmemente unidas.

93.10.2 Tornillos calibrados y bulones

Los tornillos calibrados y los bulones o pasadores en rótulas o articulaciones se consideran tipos especiales de tornillos en este Código.

Sus características mecánicas deben cumplir el apartado 85.2 y su tolerancia será la correspondiente a clase H13 de la norma UNE-EN ISO 286-2 para la espiga.

Los agujeros se ejecutarán con un pretaladro de 3 mm menos y escariados a diámetro definitivo cuando se realicen in situ. Si se trata de una unión con varias chapas estas deben ser escariadas de forma simultánea con una firme sujeción durante la operación. El escariado debe realizarse con un husillo fijo.

La tolerancia para tornillos calibrados y bulones en agujeros será de clase H11 según la norma UNE-EN 286-2 (ISO 286-2). Si un bulón o pasador no requiere la condición de calibrado, se le aplicará la holgura definida en el apartado 93.2.

La rosca no quedará incluida en el interior de la unión en el caso de tornillos calibrados. En los bulones o pasadores no es obligatorio este requisito pero se evitará que exista zona roscada en los planos de cizalladura.

La instalación se realizará con un ligero golpeo y sin dañar la rosca.

93.10.3 Tornillos de inyección

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

Son adecuados para sustituir roblones u otros tornillos sin modificar el agujero existente. Con la inyección de resina se proporciona resistencia al aplastamiento. Pueden ser utilizados pretensados o no.

Su utilización será conforme a lo establecido en el anejo K de la norma UNE-EN 1090-2.

Artículo 94 Soldadura

94.1 Introducción

Los requisitos de calidad para el soldeo que se han de aplicar en cada clase de ejecución según la norma UNE-EN ISO 3834 serán los recogidos en la tabla 94.1.

Tabla 94.1. Requisitos de calidad para el soldeo en función de la clase de ejecución

Clase de ejecución 1	Parte 4, requisitos elementales
Clase de ejecución 2	Parte 3, requisitos estándar
Clases de ejecución 3 y 4	Parte 2, requisitos completos

94.2 Plan de soldadura

El constructor dispondrá de un plan de soldadura aplicable a los aceros definidos en el Capítulo 18 de este Código que incluirá precauciones adecuadas frente al riesgo de desgarro laminar en caso de que se transmitan tensiones de tracción en el sentido perpendicular al espesor del material.

Para la elaboración del plan de soldadura se deberá tener en consideración la parte aplicable de la norma UNE-EN ISO 3834 tal y como se muestra en la tabla 1 de la misma.

A modo de ejemplo, para las clases de ejecución 3 y 4, el plan de soldadura debería incluir al menos los aspectos siguientes:

- Detalle de la unión.

- Tamaño y tipo de la unión.
- Referencias a las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS)
- Secuencia de soldeo, limitaciones a la soldadura discontinua o comprobaciones intermedias.
- Detalle de la unión de fijaciones provisionales.
- Detalle de elementos auxiliares para utilizar en inicios y finales de soldaduras.
- Condiciones ambientales (por ejemplo protección contra el viento y/o la lluvia)
- Disposiciones frente a desgarro laminar.
- Disposiciones referentes a precalentamientos o postcalentamientos, si aplican, de carácter general (prevaleciendo sobre las temperaturas reflejadas en los WPS cuando éstas sean inferiores).
- Referencia al plan de inspección y ensayos.
- Asignación del personal cualificado o sistema de cualificación del personal.
- Todos los requisitos para identificación de soldaduras.

94.3 Proceso de soldadura

Todo proceso de soldeo a aplicar deberá estar incluido en la norma UNE-EN ISO 4063.

94.4 Cualificación del procedimiento de soldadura

94.4.1 Procedimiento de soldeo

El soldeo deberá ejecutarse de acuerdo con un procedimiento cualificado según la norma UNE-EN ISO 15609-1. El método para cualificar dicho procedimiento estará de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 15614-1, a menos que el pliego de prescripciones técnicas particulares especifique algún método diferente, que en todo caso deberá detallar. Para procesos automáticos con chapas que llevan incorporada la imprimación de taller y para soldadura con penetración profunda realizada en una sola pasada, es obligatoria la citada cualificación mediante ensayo previo a la producción. En el caso de chapas con imprimación, deben realizarse con el mayor espesor de capa aceptado. Si un procedimiento cualificado mediante ensayo no ha sido utilizado durante un periodo superior a tres años, deberá procederse a inspeccionar una muestra a escala real de una prueba de producción para aceptar dicho procedimiento.

Cuando se utilicen electrodos de gran penetración o cuando se suelde por ambas caras sin toma de raíz, deberá ensayarse una probeta mediante ensayo destructivo cada seis meses, además del preceptivo ensayo de cualificación del procedimiento.

94.4.2 Cualificación de soldadores y operadores de soldeo

Los soldadores deberán estar cualificados según la norma UNE-EN 287-1 ó la norma UNE EN ISO 9606-1; en particular, los soldadores que ejecuten cordones en ángulo habrán de haber sido cualificados mediante ensayos adecuados de cordones en ángulo.

La documentación acreditativa de la cualificación por examen de los soldadores deberá archivarse y quedar disponible para verificación. La susodicha cualificación acorde con UNE-EN 287-1 ó UNE EN ISO 9606-1 para soldadores, o según EN 1418 ó UNE EN ISO 14732 para operadores de soldeo, deberá estar certificada por un organismo con garantías suficientes a juicio de la dirección facultativa. Los registros de los ensayos realizados en aplicación de la norma correspondiente para la cualificación de soldadores, deberán estar a disposición de la dirección facultativa o persona por ella designada, como es el coordinador de soldadura.

94.4.3 Coordinación del soldeo

Para asegurar que se dedica una atención apropiada al proceso de soldeo, deberá contarse con un especialista, denominado coordinador de soldeo, mientras duren las actividades relacionadas con el mismo, en las estructuras correspondientes a clases 4, 3 y 2.

El coordinador de soldeo debe tener capacitación profesional y experiencia acorde con el proceso de soldeo del que es responsable, según indica la norma UNE-EN ISO 14731.

94.5 Preparación y ejecución de la soldadura

94.5.1 Preparación de bordes

La preparación de bordes de las piezas a unir con soldadura a tope tiene por objeto asegurar la penetración, parcial o completa, adaptándose a las diferentes condiciones de tipo técnico y económico existentes en cada caso concreto. La superficie de las piezas y los bordes propiamente dichos estarán exentos de fisuras y entalladuras visibles.

En soldaduras de ángulo, la distancia entre elementos a unir deberá considerarse para la aplicación del correspondiente procedimiento de soldeo y el cálculo del espesor de garganta existente.

Las superficies a soldar estarán secas y libres de cualquier material que pueda afectar negativamente a la calidad de la soldadura. La imprimación puede admitirse si el procedimiento de soldeo ha sido cualificado con ella.

La preparación de bordes forma parte del procedimiento de soldeo. La elección del tipo adecuado es responsabilidad del coordinador de soldeo. En la norma UNE-EN ISO 9692-1 se indican los tipos más recomendables para varios procedimientos.

Las desviaciones de forma y ajuste entre caras deben ser inferiores a las admisibles indicadas en el procedimiento de soldeo particular. Cualquier corrección de defecto debido a entalladura o error en la geometría de la junta mediante recargue de soldadura debe estar soportado por un procedimiento de soldeo. En todo caso, la zona afectada debe ser amolada, quedando su superficie lisa y enrasada con el resto de la pieza. En clases de ejecución 3 y 4 se debe amolar siempre la superficie de corte.

94.5.2 Almacenamiento de consumibles

El material de aportación, electrodos o hilo deberá ser almacenado y manipulado de acuerdo con las instrucciones del fabricante, especialmente los de revestimiento

básico susceptibles de deterioro por la humedad. Cualquier defecto o daño en forma de fisuración o descamación del revestimiento de oxidación del hilo implicará el rechazo. La norma UNE-EN ISO 3834 incluye un punto en el que desarrolla la actividad de almacenamiento de consumibles y material base.

Comentarios

Puede utilizarse como referencia la tabla 16 de la norma UNE EN 1090-2, donde se reflejan temperatura y tiempo para el secado y almacenamiento de los consumibles de soldeo.

94.5.3 Protección contra la intemperie

Tanto las piezas a soldar como el soldador deberán estar protegidos del viento, nieve y lluvia, especialmente cuando el proceso de soldeo se realice con protección de gas. En general, es recomendable que todas las actividades de soldadura se lleven a cabo en taller. Las superficies a soldar deben mantenerse secas y libres de condensación.

Se adoptarán medidas adecuadas que permitan la realización de soldaduras en condiciones similares a las soldaduras de taller cuando las mismas se realicen en campo.

94.5.4 Montaje para el soldeo

Las piezas a soldar deberán estar alineadas y correctamente posicionadas manteniendo su inmovilidad durante el soldeo. Para ello pueden utilizarse soldaduras de punteo entre ellas o bien dispositivos externos, tales como plantillas o gálibos de armados con medios adecuados de fijación.

Se deberá tener en cuenta la contracción longitudinal y transversal que experimentan las soldaduras durante el enfriamiento. A tal fin, la citada posición relativa inicial entre piezas debe ser tal, que el resultado final cumpla con las tolerancias dimensionales del Anejo 16. En todo caso puede recurrirse al enderezado que se indica en el apartado 94.5.13.

Para la fijación durante el montaje, debe evitarse la unión a los gálibos de armado u otras piezas exteriores mediante soldadura de punteo, ya que puede dar lugar a tensiones residuales por deformación coartada durante el enfriamiento. No deben realizarse soldaduras adicionales, taladros o rebajes que no estén definidos en los planos.

El hecho de hacer compatible las tolerancias dimensionales con el plan de soldeo de conjuntos de elementos puede obligar a establecer secuencias de ejecución, en las que algunas barras de arriostrados o secundarias sean montadas en último lugar.

94.5.5 Precalentamiento

El precalentamiento de las superficies de los elementos a unir tiene por objeto modificar el tiempo de enfriamiento, de modo que se reduzca la probabilidad de formación de componentes frágiles en el material de aportación y en la zona afectada por el calor del material base. El precalentamiento puede resultar necesario con grandes espesores o con aceros de alto contenido de carbono equivalente. En todo

caso, deberá constar como parte del plan de soldeo, si así se requiere. Su definición será responsabilidad del coordinador de soldeo y la temperatura será, como mínimo, la especificada en el procedimiento de soldeo.

La extensión de la temperatura predeterminada para el precalentamiento alcanzará por lo menos 75 mm a cada lado de los elementos a unir. La temperatura de precalentamiento deberá ser medida a 75 mm del borde del bisel o junta de chapas (para el caso de las uniones en ángulo).

El precalentamiento deberá realizarse de modo que se garantice la efectividad del mismo, considerándose efectividad a alcanzar una temperatura homogénea en todo el espesor de la chapa y en la franja de 75 mm a cada lado de la misma.

Se deberá precalentar utilizando métodos que no focalicen excesivo calor en un punto concreto. Esto es, se utilizarán bocas de oxigas aptas para la aplicación, mantas térmicas, los denominados tubos de propano (mecheros). No se deberán utilizar sopletes diseñados para realizar el corte térmico (oxicorte), ni lanzas térmicas diseñadas para su empleo en el enderezado de chapas.

Las soldaduras de punteo, en uniones que requieran precalentamiento, también deberán ser precalentadas. Asimismo se debe considerar la conveniencia del precalentamiento en el caso de elementos de espesores muy diferentes entre sí.

El método a emplear para el cálculo de la temperatura de precalentamiento deberá detallarse en el plan de soldadura.

La norma de homologación del procedimiento de soldadura UNE EN ISO 15614-1, establece unos valores máximos admisibles de dureza HV10, en función del tipo de acero y su estado de suministro, para la aceptación del test de dureza en una homologación. Se deberá seguir el criterio de dicha norma a la hora de aceptar una soldadura, en el caso en el que se inspeccione el valor de dureza de la misma o de su ZAT (Zona Afectada Térmicamente). Para ello se recomienda realizar una inspección por el método Brinell, ya que el tamaño de la bola de indentación absorbe las pequeñas irregularidades superficiales o faltas de planeidad de la propia chapa, típicos de un proceso de soldeo. Podrá utilizarse posteriormente la conversión de durezas según tablas a HV10.

En algunos procesos, como el 783 “Soldadura de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección” y el 784 “Soleo de espárragos por arco inducido de ciclo corto” de la norma UNE-EN ISO 4063, puede superarse ese valor, si así se hace constar en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

94.5.6 Uniones temporales

Si por facilidad constructiva o de montaje es necesario recurrir a uniones provisionales mediante soldaduras de punteo, éstas se situarán de modo que puedan ser eliminadas posteriormente sin dañar a la pieza definitiva.

Todas las soldaduras de uniones provisionales, se ejecutarán de acuerdo con instrucciones específicas. En el caso de que deban ser eliminadas mediante corte o cincelado, la superficie del metal base debe quedar lisa por amolado.

Una vez eliminadas las uniones provisionales deberá procederse a la inspección de las zonas afectadas para garantizar la inexistencia de defectos.

Esta última precaución será especialmente necesaria en el caso de estructuras sometidas a cargas de fatiga. En este caso es obligatoria la eliminación de las uniones provisionales en estructuras de clase 4 y 3.

94.5.7 Soldaduras de punteo

Como medio de fijación de elementos entre sí para mantener la posición durante el soldeo se pueden utilizar este tipo de soldaduras. La longitud mínima debe ser el menor valor entre cuatro veces el espesor de la parte más gruesa y 50 mm.

94.5.8 Soldaduras en ángulo

En procesos automáticos, las condiciones de ejecución de estas soldaduras estarán contempladas en el procedimiento de soldeo. Si fuesen a formar parte de una soldadura definitiva, su forma será la apropiada para tal fin. En los procedimientos manuales, los soldadores que ejecuten este tipo de soldaduras también deberán estar cualificados según se indica en el apartado 94.4.2 para soldaduras en ángulo.

Los elementos a unir mediante cordones de soldadura en ángulo han de estar en contacto lo más estrecho posible.

El espesor de garganta y la longitud del cordón no deberán ser inferiores a los indicados en el proyecto, teniendo en cuenta el uso de electrodos de gran penetración o el caso de penetración parcial, según sea el detalle indicado.

94.5.9 Soldaduras a tope

94.5.9.1 Generalidades

El acabado de la superficie de cordones de soldaduras a tope debe ser tal que garantice una soldadura sana en ausencia de concavidad y convexidad tal y como se indica en la norma UNE-EN ISO 5817. Los niveles de calidad de la soldadura son los recogidos en el apartado 94.6.

El coordinador de soldeo debe indicar cuándo es necesario recurrir a piezas adicionales de prolongación del cordón para garantizar que en el extremo exterior de un cordón se mantiene el espesor de garganta, evitando los cráteres producidos por el cebado y el corte de acero. Estas piezas adicionales se pueden utilizar para eventuales ensayos destructivos.

Una vez ejecutadas las soldaduras, tanto las piezas adicionales de prolongación como cualquier otro elemento complementario serán eliminadas.

Si se requiere una superficie lisa, deberá eliminarse cualquier sobre-espesor o bombeo en el acabado de la superficie de los cordones a tope. Esto puede resultar necesario por motivos estéticos o para atenuar el efecto de cargas de fatiga.

94.5.9.2 Soldaduras por un solo lado

Las soldaduras de penetración completa por una sola cara pueden realizarse indistintamente con o sin chapa dorsal (chapa de respaldo). La susodicha chapa dorsal puede consistir en una placa de respaldo permanente sólo en caso de que el pliego de prescripciones técnicas particulares así lo permita y los requisitos correspondientes consten en el proceso de soldadura homologado al efecto.

La chapa dorsal debe estar fijada estrechamente al metal base y debe ser continua a lo largo del cordón de soldadura. En el caso de que la chapa dorsal sea de cobre, deberá quitarse al final de la soldadura, teniendo la precaución a lo largo de la misma de no cebar el arco en ella para que no se produzcan inclusiones de cobre que puedan inducir fisuras.

Las soldaduras con sólo una cara accesible realizadas con chapa dorsal tienen el inconveniente de que pueden producirse efectos de entalladura en la zona de la raíz por lo que no son aptas para cargas de fatiga. Aunque el soldeo se efectúe por una sola cara, como en las preparaciones de borde en V y U, es recomendable depositar un cordón dorsal de raíz (cordón de respaldo) previo saneado de la misma.

94.5.9.3 Toma de raíz

En todas las soldaduras a tope en clases de ejecución 4 y 3 de penetración completa con caras accesibles se deberá sanear la raíz antes de depositar el cordón de cierre o el primer cordón de la cara dorsal. Este saneado se podrá realizar utilizando el ranurado por arco-aire/soplete, con el posterior esmerilado, o burilado con útiles redondeados y esmerilado.

Deberá practicarse hasta la suficiente profundidad para garantizar la penetración dentro del metal sano de aportación depositado previamente. El saneado debe conseguir un contorno en forma de U, con sus caras fácilmente accesibles para el cordón de toma de raíz.

94.5.10 Soldaduras de ranura

Las soldaduras de ranura se utilizan para unir chapas mediante cordones en ángulo depositados en los bordes de ojales practicados en la más exterior. La disposición y dimensiones de dichos ojales deberán figurar en los planos del proyecto.

La forma de las ranuras puede ser cuadrada, ovalada o circular. El ancho recomendable no debe ser superior a dos veces el espesor de la chapa, ni superior a siete veces dicho espesor, con la limitación razonable en cuanto a número de ojales, separaciones mutuas y a los bordes que permita una fácil ejecución de la soldadura.

No es recomendable utilizar este tipo de unión en estructuras sometidas a cargas dinámicas o de fatiga (clases 4 y 3).

A menos que lo indique explícitamente el pliego de prescripciones técnicas particulares, no debe rellenarse con soldadura todo el hueco libre después de realizado el cordón en ángulo del contorno. Este tipo de remate, denominado soldadura de tapón, es si cabe más perjudicial frente a cargas dinámicas o de fatiga, y solamente debe realizarse previa inspección del cordón en ángulo del contorno.

94.5.11 Soldadura de conectadores

Los conectadores (espárragos) cumplirán la norma UNE-EN ISO 13918 y se situarán en zonas libres de herrumbre, cascarilla de laminación y grasa, y en caso de que la superficie esté pintada, se levantará y eliminará completamente, a menos que el procedimiento de soldeo haya sido cualificado con ese sistema de protección particular.

Los conectadores pueden soldarse a través de chapa perfilada de acero conformada en frío en las vigas, cumpliendo los siguientes requisitos:

- Las chapas perfiladas no galvanizadas tendrán un espesor nominal inferior a 1,5 mm.
- Las chapas perfiladas galvanizadas tendrán un espesor nominal inferior a 1,25 mm y un espesor nominal de galvanizado en cada cara no superior a 30 micras.
- Las zonas donde se suelden los conectadores, incluso bajo chapas perfiladas y entre ellas, deben estar secas y libres de eventuales condensaciones.
- Las chapas deben estar en un contacto lo más estrecho posible con las vigas en el momento del soldeo. El procedimiento de soldeo deberá estar cualificado para una holgura límite máxima. No son aceptables holguras que superen 2 mm en ningún caso.
- A menos que el procedimiento de soldeo contemple esa opción no se aceptará practicar la soldadura en zonas de solape de chapas o afectando al borde de una de ellas.
- Los conectadores se situarán concentrados en el seno de una chapa o bien alternativamente a cada lado, si en el centro del seno discurre un pequeño nervio rigidizador.

94.5.12 Tratamiento post-soldadura

En estructuras sometidas a cargas de fatiga puede resultar ventajoso aplicar procedimientos de atenuación de tensiones residuales mediante tratamientos térmicos. En caso de que el pliego de prescripciones técnicas particulares prescriba este tratamiento, el mismo deberá estar contemplado en el Plan de Soldadura.

En cualquier caso, la cualificación de la especificación del proceso de soldadura (WPS) deberá realizarse con tratamiento post-soldadura (PWHT) y se seguirán los rangos establecidos en la norma de cualificación en lo referente a temperaturas.

El post calentamiento, en caso de aplicarse al objeto de facilitar la difusión de hidrógeno, no se considera tratamiento post-soldadura (PWHT).

94.5.13 Enderezado

Para cumplir con las tolerancias o por motivos estéticos, puede recurrirse a corregir las distorsiones, tanto en frío mediante prensa o máquinas de rodillo, como en caliente con llama por medio de aplicación local de calor. En este caso, se deberá establecer previamente la temperatura máxima que alcanzará el acero y el procedimiento de enfriamiento.

94.5.14 Limpieza y saneado en la ejecución de soldaduras.

Debe evitarse la proyección de chispas erráticas por cebado del arco y, en caso de que se produzca, en las clases 4 y 3 se debe amolar la superficie afectada e inspeccionarla. Asimismo, deberá evitarse la proyección y salpicaduras de soldadura y eliminarlas en caso de que se produzcan. En cada pasada deben eliminarse la escoria y los defectos que se aprecien en la superficie antes de proceder a la siguiente.

En el plan de soldeo se debe contemplar cómo proceder para reparar soldaduras defectuosas y el rectificado y amolado de acabado superficial de las soldaduras.

94.6 Criterios de aceptación de soldaduras

Los elementos constituidos por soldaduras deben cumplir los requisitos de tolerancias indicados en el Anejo 16.

A menos que el pliego de prescripciones técnicas particulares indique otra cosa, los criterios de aceptación de soldaduras se basarán en la norma UNE-EN ISO 5817. Los niveles de calidad de dicha norma son D (moderado), C (intermedio) y B (elevado) y dependen de la gravedad y extensión de los defectos detectados. Para cada clase de ejecución se establecen los siguientes niveles, recogidos en la tabla 94.6.a.

Tabla 94.6.a. Niveles de calidad de las soldaduras para las diferentes clases de ejecución

Clase 1	Nivel D
Clase 2	Nivel C, en general, y nivel D para los defectos de mordedura (5.011, 5.012), solapamiento (506), cebado del arco (601) y rechupe de cráter abierto (2.025)
Clase 3	Nivel B
Clase 4	Nivel B y requisitos complementarios (B+)

Los requisitos complementarios para la clase 4 de ejecución se indican en la tabla 94.6.b; se deben al hecho de que para esta clase de ejecución es necesario tener en cuenta aspectos relacionados con la fatiga. Para tableros de puente debe aplicarse además un conjunto de requisitos más severos, tanto en las soldaduras ejecutadas en taller como en obra. En la tabla 17 de la norma UNE-EN 1090-2 se establecen dichos requisitos adicionales.

Tabla 94.6.b. Requisitos complementarios para la clase de ejecución 4

Tipo de defecto	Límite del defecto
Mordedura (5.011 y 5.012)	No permitido
Exceso de sobrespesor (502)	< 2 mm
Ángulo de sobrespesor (505)	< 165°
Poros internos o sopladura (2.011 a 2.014)	<0,1 del espesor de garganta; máx. 2 mm
Inclusión sólida (300)	Ancho inferior a 0,1 del espesor de garganta; máx. 1 mm Largo inferior al espesor de garganta; máx. 10 mm
Falta de alineación (507)	< 0,05 t; máx. 2 mm
Rechupe de raíz (515)	No permitido

Requisitos adicionales para tableros de puente ^{a,b}	
Porosidad y sopladuras (2011, 2012, y 2014) ¹⁾	Sólo aceptables pequeños poros aislados
Sopladuras agrupadas (2013) ¹⁾	Suma máxima de poros: 2%
Sopladuras alargadas y sopladuras vermiculares (2015 y 2016) ¹⁾	Sin poros largos
Abertura de raíz incorrecta para soldaduras en ángulo (617) ¹⁾	Soldaduras transversales a ensayar totalmente, aceptables los pequeños rechupes de raíz sólo localmente $h \leq 0,3 \text{ mm}$, +0,1 α , pero máx. 1 mm
Mordeduras (5011) ¹⁾	a) soldaduras a tope: sólo aceptables localmente $h \leq 0,5 \text{ mm}$ b) soldaduras en ángulo: no aceptable donde sean perpendiculares a la dirección del esfuerzo, las mordeduras han de eliminarse por amolado
Discontinuidades múltiples en una sección transversal (nº 4.1)	Prohibidas
Inclusiones sólidas (300) ¹⁾	Prohibidas

^a Los símbolos se definen en la Norma EN ISO 5817.
^b Estos requisitos son adicionales para B+.

En el caso de que se supere alguna de las anteriores limitaciones, se deberá proceder a una evaluación particular. Se tendrá en cuenta la función y nivel tensional del elemento afectado y las características del defecto (tipo, tamaño, situación) para decidir si la soldadura puede ser aceptada o bien hay que proceder a su reparación. Puede recurrirse a una evaluación mediante cálculo para juzgar la aceptación de un defecto.

Artículo 95 Tratamientos de protección

95.1 Generalidades.

Este Artículo se aplicará tanto a las estructuras tratadas en taller como en obra. El pliego de prescripciones técnicas particulares debe definir el sistema de protección contra la corrosión y los requisitos adicionales para obtener unas condiciones de servicio acordes con la vida útil de la estructura y el plan de mantenimiento, de acuerdo con los criterios establecidos en el Artículo 24, teniendo en cuenta la clase de exposición (apartado 80.1) y grado de exposición de los diferentes componentes. El diseño en cuanto a tipo de elementos y detalle de uniones debe evitar zonas donde pueda depositarse humedad y suciedad, tanto en elementos interiores como en aquellos directamente expuestos al exterior.

Se deberá cuidar especialmente el drenaje de las cubiertas y fachadas, de modo que la estructura quede lo más protegida posible.

Deberá considerarse conjuntamente el tratamiento de protección frente a incendio, ya que los requisitos del mismo pueden determinar un grado de defensa frente a la corrosión muy superior al estrictamente necesario, especialmente en el caso de pinturas intumescentes y morteros proyectados.

95.2 Preparación de las superficies

La superficie de los elementos se limpiará y preparará de forma adecuada al tratamiento de protección correspondiente. En principio, deben eliminarse la suciedad, cascarilla de laminación, restos de escoria de soldaduras y también la grasa y la humedad superficial. Si existieran revestimientos anteriores, deben ser igualmente eliminados.

Las normas aplicables son la UNE-EN ISO 8504-1, la UNE-EN ISO 8504-2 para el chorreado y la UNE-EN ISO 8504-3 para la limpieza mecánica y manual.

Los métodos de preparación deberán obtener el grado de rugosidad definido en el pliego, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8503, partes 1 a 5. Las instalaciones de chorreado fijas deberán inspeccionarse periódicamente. Para facilitar la inspección, es necesario conocer el estado inicial de la superficie de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8501-1.

La preparación de las superficies en obra debe ser realizada en condiciones ambientales tales que no perjudiquen la calidad del acabado. Por tanto, no se realizarán en tiempo lluvioso, ni con humedad superior al 85%, ni con temperaturas bajas que puedan producir condensaciones. La temperatura del sustrato a pintar deberá estar 3°C por encima de la del punto de rocío del ambiente. Se deberán tomar las precauciones oportunas para no dañar a otras superficies.

La preparación de las superficies en taller, cuando se realice mediante métodos abrasivos, debe ir seguida de una escrupulosa eliminación de polvo, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8502-3 y de la aplicación de una imprimación de secado rápido que no altere las fases siguientes.

95.3 Métodos de protección

95.3.1 Metalización

En este método, la protección se consigue mediante proyección de cinc o aluminio pulverizado, realizado según la norma UNE-EN ISO 2063.

Las superficies metalizadas deben ser tratadas con una imprimación anticorrosiva especial, de naturaleza sellante y tapaporos, para evitar la formación de ampollas antes de revestirse de pintura.

95.3.2 Galvanización en caliente

La protección mediante galvanización en caliente consiste en la formación de un recubrimiento de cinc o aleaciones de cinc-hierro, por inmersión de las piezas y elementos fabricados con hierro y acero en un baño de cinc fundido a una temperatura de 450°C. La norma que rige estos recubrimientos es la UNE-EN ISO 1461.

Cuando se diseñe un elemento que vaya a protegerse mediante galvanización en caliente, es importante tener en cuenta algunos requisitos, como pueden ser las dimensiones de dichos elementos, que deben adecuarse al tamaño de los crisoles de galvanización, si bien, en algunos casos en los que el tamaño de la pieza sea mayor que el de los baños disponibles, pueden sumergirse parcialmente y después darles la vuelta para introducir la parte no tratada.

La preparación superficial de los elementos a galvanizar debe incluir la limpieza de todos los contaminantes superficiales que no puedan ser eliminados mediante el decapado, como es el caso de las grasas, pinturas, escorias de soldadura, etc.

En la norma UNE-EN ISO 14713 (Anexo A) se relacionan detalladamente las diferentes cuestiones de diseño que se deben tener en cuenta para obtener un recubrimiento adecuado y de calidad.

En el caso de que tengan que soldarse elementos que ya hayan sido galvanizados o restaurar aquéllos que tengan pequeños defectos de galvanización, existe la posibilidad de restaurar la zona afectada del recubrimiento mediante proyección térmica de cinc (según UNE-EN ISO 2063) o mediante una pintura rica en cinc de elevado contenido en cinc metálico en la película seca (mínimo 80% en masa). Los tipos de pintura más adecuados para esta finalidad son los que tienen ligantes epoxídicos, de poliuretano (1 componente) de secado al aire y de silicato de etilo (1 componente) de secado al aire.

En el caso de que el sistema protector especifique un pintado posterior de las superficies galvanizadas, es necesario que estas estén adecuadamente tratadas mediante desengrase y un posterior tratamiento de imprimación para asegurar el anclaje de las pinturas, según UNE-EN ISO 12944-4. Por último, se aplican capas bases y de acabado en función de la agresividad del medio, de acuerdo con UNE-EN ISO 12944-5 (tabla A9).

Como complemento de la galvanización, se pueden usar pinturas en polvo de polimerización en horno de acuerdo con las normas UNE-EN 13438 y UNE-EN 15773.

Los elementos realizados a base de chapa galvanizada por procedimiento en continuo (espesores de hasta 3 mm) según UNE-EN 10346, deben especificarse en un

espesor o masa del recubrimiento adecuado a la categoría de corrosividad ambiental, según UNE-EN ISO 14713.

95.3.3 Pintado

El pliego de prescripciones técnicas particulares deberá definir, para cada zona de la estructura metálica a proteger mediante un sistema de pintado (exterior, interior accesible, zonas inaccesibles, etc.), en función de la clase de exposición (apartado 80.1). Así mismo deberá definir la durabilidad requerida para el sistema de protección mediante pinturas.

En base a dichas clases de exposición y durabilidad especificadas, el pliego de prescripciones técnicas particulares deberá definir el sistema de tratamiento, detallando como mínimo los siguientes aspectos:

- Preparación de las superficies.
- Tipo y espesor de la capa de imprimación anticorrosivo.
- Tipo y espesor de capas intermedias.
- Tipo y espesor de capas de acabado.
- Tipo de pintura para retoques y repasos.

La pintura debe ser aplicada de acuerdo con la hoja de datos del fabricante del producto.

Se deberá comprobar previamente que el estado de la superficie es el previsto en la fase anterior, es decir, tanto el grado de limpieza y rugosidad para una capa de imprimación, como el curado, compatibilidad y naturaleza de la capa previa para capas posteriores.

Las distintas pinturas que constituyen un sistema de pintado deben ser compatibles entre sí. Es recomendable utilizar productos de un mismo fabricante. En caso contrario, deberá asegurarse la compatibilidad entre productos de distintos fabricantes.

En el plan de obra deben establecerse las fases de aplicación de la protección, considerando adecuadamente el resto de las actividades. En el caso de realizarse el pintado en obra, los elementos deberán ser imprimados en taller con un espesor mínimo que impida la oxidación incipiente antes del montaje, ante la eventualidad de un acopio o almacenamiento prolongado.

Para facilitar el control, es aconsejable que cada capa tenga un color o matiz diferenciado, según UNE 48103.

Una vez ejecutada y retocada la superficie, debe respetarse estrictamente el período de secado y endurecimiento que aconseje el fabricante frente a un eventual contacto con agua.

En zonas de repasos de zonas soldadas o zonas dañadas en taller o en obra, deberá especificarse el sistema de pintado a aplicar, definiendo capa a capa, en función de la magnitud del daño, el número de capas a reponer, así como las

dimensiones mínimas y máximas del solapo del repaso sobre zonas correctamente protegidas. Asimismo el sistema deberá definir la preparación superficial requerida.

95.4 Requisitos especiales

Las superficies de elementos de acero que vayan a quedar en contacto con hormigón no será necesario protegerlas, con excepción de los 50 mm más próximos a los bordes, siempre que a su vez no sea previsible que los procesos de carbonatación del hormigón puedan alcanzar a dicha superficie metálica. Únicamente requieren un cepillado de eliminación de cascarilla de laminación, suciedad y grasa. En caso de venir con imprimación desde taller, no necesitan ninguna operación adicional. Se deberá sellar el contacto entre el hormigón y el acero con un producto adecuado en los casos en que dicha interfase pueda ser susceptible de entrada de agua o suciedad.

Las superficies que vayan a transmitir esfuerzos por rozamiento y las que alojen tornillos pretensados deberán satisfacer los requisitos propios de las superficies de contacto indicadas en el apartado 93.8.

Deberá evitarse el daño o contaminación de estas superficies durante el transporte y montaje mediante una adecuada cobertura de protección impermeable.

Las inspecciones de uniones atornilladas se deben realizar antes de la aplicación de la pintura en obra.

Las uniones mediante soldadura se deberán realizar en franjas sin pintura de 150 mm de ancho, o bien con capa de imprimación compatible. La soldadura y la parte adyacente deberá pintarse una vez se haya eliminado completamente la escoria y se haya aceptado la unión.

Debe preverse la dificultad de pintado de elementos inaccesibles y proceder a su ejecución antes del montaje. En el pliego de prescripciones técnicas particulares debe indicarse si los perfiles cerrados o tubulares requieren tratamiento interno o no. En el caso de que la estanqueidad quede asegurada por las soldaduras estructurales o bien mediante soldaduras de sellado de extremos, se considerará que el espacio interior queda protegido previa aceptación de dichas soldaduras. Para las soldaduras de sellado solamente se requiere inspección visual. Deben tomarse precauciones especiales de estanqueidad en los elementos de fijación que atraviesen elementos en cajón o tubulares sellados.

Los perfiles cerrados o tubulares quedan igualmente protegidos por sus superficies internas cuando se protegen mediante galvanización en caliente, lo que, por otra parte, puede hacer innecesario el sellado de sus extremos.

95.5 Protección de elementos de fijación

Los elementos de fijación y anclaje deberán suministrarse con una protección adecuada a la clase de exposición ambiental.

La protección más adecuada para los elementos de fijación que vayan a utilizarse con estructuras protegidas mediante galvanización en caliente o proyección térmica de cinc es también la galvanización en caliente, según UNE-EN ISO 1068, con objeto de garantizar la ausencia en la unión de posibles fenómenos de corrosión por pares galvánicos.

Cualquier protección suplementaria a aplicar en obra se llevará a cabo una vez inspeccionada la unión. Los pernos de anclaje no requieren ningún tratamiento, a menos que así lo indique el pliego de prescripciones técnicas particulares.

95.6 Tratamientos de protección de aceros patinables

Las superficies de aceros patinables deberán obligatoriamente prepararse en taller para favorecer el desarrollo adecuado de su mecanismo de autoprotección, bajo ciclos alternados secos y húmedos, tras su exposición a la intemperie. Las condiciones de uso de este tipo de aceros se establecen en los apartados 82.2.3 y 87.2.

En estos casos, el tratamiento superficial se hará siempre en taller mediante chorreado, generalmente con agua a presión, para garantizar un color homogéneo y una textura uniforme, eliminando todo resto de cascarillas de la calamina de laminación.

Se deberán adoptar las medidas o detalles constructivos oportunos para que, durante el proceso de estabilización de la autoprotección, las escorreduras de óxido por agua de lluvia no lleguen a contaminar o afectar a la apariencia o durabilidad del resto de la estructura, principalmente de los elementos de hormigón.

Debe tenerse en cuenta que no es posible aplicar sobre este tipo de aceros los mismos sistemas de protección pasiva contra incendios que en los aceros de UNE-EN 10025.

Capítulo 22

Gestión de la calidad del proyecto de estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 96 CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA EL DESARROLLO DEL CONTROL DE PROYECTO EN LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	3
96.1 NIVELES DEL CONTROL DE PROYECTO.....	3
96.2 DOCUMENTACIÓN DEL CONTROL DE PROYECTO	5

Artículo 96 Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto en las estructuras de acero

96.1 Niveles del control de proyecto

Cuando la propiedad decida la realización del control de proyecto, independientemente del nivel de supervisión adoptado (supervisión normal o supervisión ampliada, acorde el apartado B.4 del apéndice B del Anexo 18), elegirá uno de los siguientes niveles de control:

- Control a nivel normal.
- Control a nivel intenso.

La entidad de control identificará los aspectos que deben comprobarse y desarrollará, según el tipo de obra, una pauta de control como la que, a título orientativo, se recoge en el Anejo 3.

La frecuencia de comprobación, según el nivel de control adoptado, no debe ser menor que el indicado en la tabla 96.1.

Tabla 96.1. Frecuencia de comprobación de los elementos según el nivel de control adoptado

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Elementos de contención y tablestacas	10%	20%	Al menos 3 secciones diferentes
Anclajes al terreno	15%	30%	Al menos 3 anclajes
Pilares y pilas de puente	15%	30%	Mínimo 3 tramos
Jácenas	10%	20%	Mínimo 3 jácenas de al menos dos vanos
Vigas	10%	20%	Mínimo dos vanos En cada vano mínimo una viga interior y una viga de borde
Cajones	10%	20%	Mínimo dos vanos, uno extremo y otro interior

Tabla 96.1. Frecuencia de comprobación de los elementos según el nivel de control adoptado (continuación)

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Elementos de contención y tablestacas	10%	20%	Al menos 3 secciones diferentes
Losas ortótropas	10%	20%	Al menos 4 rigidizadores de la chapa del tablero, uno de borde y otro interior, ambos en un vano local extremo y en un vano local tipo. Verificación de la chapa rigidizada, mínimo 3 módulos y al menos uno por vano de flexión local tipo.
Celosías	10%	20%	Mínimo dos elementos tipo por vano: cordón superior, cordón inferior, diagonales, nudos, arriostramientos, etc...
Arcos, pórticos y bóvedas	15%	30%	Mínimo un tramo
Mamparos o riostras de zonas de apoyo	15%	30%	Al menos 1 por tipo
Celosías o diafragmas intermedios de rigidización	10%	20%	Al menos 1 por tipo
Rigidizadores longitudinales y transversales (vigas o cajones)	10%	20%	Al menos 1 por tipo, y todos los de cambio de canto o puntos con quiebros
Paneles rigidizados. Control de abolladura	15%	30%	Al menos 3 recuadros por tipo
Detalles de soldaduras en ángulo, a penetración parcial o total	10%	20%	Al menos 1 por tipo
Costillas de voladizos	15%	30%	Al menos 1 de borde y una intermedia.
Brochales o puntales	10%	20%	Mínimo 3 brochales o puntales

Tabla 96.1. Frecuencia de comprobación de los elementos según el nivel de control adoptado (continuación)

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Elementos de contención y tablestacas	10%	20%	Al menos 3 secciones diferentes
Escaleras	10%	20%	Al menos dos tramos
Conectores de elementos metálicos con hormigón	10%	20%	Analizar al menos tres tramos de cada tipo de conexión (con losa superior e inferior)
Elementos singulares: anclajes de tendones de pretensado exterior, anclajes de tirantes o péndolas, nudos de empalme con elementos de hormigón, etc...	15%	30%	Al menos 1 por tipo
Cuñas, basas o rigidización local de apoyos y zonas de sustitución de apoyos	15%	30%	Al menos 1 por tipo
Elementos auxiliares provisionales necesarios durante la ejecución: apeos, pilonos de atirantamiento, etc...	15%	30%	Al menos 1 por tipo y supervisión de afección a la estructura definitiva

No obstante lo anterior, se comprobará el 100% de los elementos sometidos a fatiga y a torsión principal y, en general, los elementos que sean susceptibles de roturas frágiles, que sean susceptibles de fenómenos de fatiga o que contengan nudos complejos, transiciones complicadas en geometría, etc.

96.2 Documentación del control de proyecto

Cualquiera que sea el nivel de control aplicado, la entidad de control entregará a la propiedad un informe escrito y firmado por persona física, con indicación de su cualificación y cargo dentro de la entidad, cuyo contenido será equivalente al definido para las estructuras de hormigón en el apartado 55.2.

Capítulo 23

Gestión de la calidad de los productos en estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 97	CONTROL DE LOS PRODUCTOS DE ACERO	3
97.1	COMPROBACIÓN DE LA CONFORMIDAD.....	3
97.2	TOMA DE MUESTRAS.....	3
97.3	REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	4
ARTÍCULO 98	CONTROL DE LOS MEDIOS DE UNIÓN	4
98.1	CONTROL DE LA CONFORMIDAD LOS TORNILLOS, TUERCAS, ARANDELAS Y BULONES.....	4
98.2	CONTROL DEL MATERIAL DE APORTACIÓN PARA LAS SOLDADURAS	5
ARTÍCULO 99	CONTROL DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN	5
99.1	ESPECIFICACIONES	5
99.2	REALIZACIÓN DE ENSAYOS	5
99.3	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO	6
ARTÍCULO 100	CONTROL DE ESTRUCTURAS COMPONENTES	7

Artículo 97 Control de los productos de acero

97.1 Comprobación de la conformidad

La conformidad de los productos de acero con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en obra e incluirá la comprobación de sus características mecánicas y geométricas, además de cualquier otra característica, que en su caso, establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

En el caso de productos que deban disponer del marcado CE según el Reglamento (UE) 305/2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán comprobarse de conformidad con la norma armonizada que le sea aplicable. Tal y como se recoge en el citado Reglamento, el fabricante del producto entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE y será el responsable de la conformidad del producto con las prestaciones declaradas. El fabricante deberá estar en condiciones de aportar garantía de la adecuación de su producto al uso previsto y de ponerla a disposición de quien la solicite con el fin de que, a su vez, pueda pasar esta garantía al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dicha garantía. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas. La dirección facultativa, conforme a las obligaciones recogidas en el apartado 17.2.1 de este Código y una vez validado el control de recepción, será el responsable de velar porque el producto incorporado en la obra es adecuado a su uso y cumple con las especificaciones requeridas. En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del producto, se seguirán los criterios que estuvieran definidos en el programa de control o en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra.

En el caso de que el proyecto establezca que los productos de acero dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se comprobará que los productos los poseen y que son de conformidad con el artículo 18 de este Código.

97.2 Toma de muestras

La dirección facultativa, por sí misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, podrán efectuar la toma de muestras en la instalación en donde se encuentren los productos de acero. Salvo circunstancias excepcionales, la toma de muestras se efectuará preferiblemente en el taller antes del montaje de los elementos.

Podrán estar presentes durante la toma los representantes del constructor y del suministrador de los elementos.

La entidad o el laboratorio de control de calidad velarán por la representatividad de la muestra, no aceptando, en ningún caso, que se tomen muestras sobre productos que no se correspondan a los planos del proyecto, ni sobre productos específicamente destinados a la realización de ensayos. Una vez extraídas las muestras, se procederá,

en su caso, al reemplazamiento de las partes de los elementos que hubieran sido alteradas durante la toma.

La entidad o el laboratorio de control de calidad redactarán un acta para cada toma de muestras, que suscribirán todas las partes presentes, quedándose con una copia de la misma. El tamaño de las muestras deberá ser suficiente para la realización de la totalidad de las comprobaciones y ensayos que se pretendan realizar. Todas las muestras se trasladarán para su ensayo al laboratorio de control tras ser correctamente precintadas e identificadas.

97.3 Realización de los ensayos

Cualquier ensayo sobre los productos de acero que decida el autor del proyecto o la dirección facultativa, se deberá efectuar de acuerdo con las indicaciones de éstos. En el caso del autor del proyecto, reflejará dichas indicaciones en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares.

Artículo 98 Control de los medios de unión

98.1 Control de la conformidad los tornillos, tuercas, arandelas y bulones

Los tornillos, tuercas y arandelas y bulones incluidos en los apartados 85.2, 85.3 y 85.4, deberán cumplir los requisitos establecidos al efecto en los respectivos apartados. En otros casos, deberán cumplir las especificaciones que se establezcan al efecto en el respectivo pliego de prescripciones técnicas particulares.

Para aquellos tornillos que estén afectados por el marcado CE en base al Reglamento (UE) 305/2011, el fabricante presentará la declaración de prestaciones y el marcado CE.

Para aquellos productos que no tengan marcado CE, la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo establecido en el artículo 18 de este Código, se entiende como suficiente para avalar la conformidad del medio de unión suministrado sin efectuar ensayos específicos.

Cuando un producto no tenga marcado CE o no disponga de distintivo de calidad oficialmente reconocido, se considerará un lote de tornillos, tuercas, arandelas, por cada uno de los grados y clases de tornillo que se empleen en la obra.

El control de las características de los tornillos, tuercas y arandelas se efectuará por atributos (dimensiones y características mecánicas, además de las características funcionales del conjunto) sobre al menos diez muestras, mediante los ensayos establecidos en este Código o, en su caso, por el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Los ensayos de los tornillos se deberán realizar según la norma UNE-EN ISO 898-1, las tuercas según UNE-EN ISO 898-2, y para las arandelas la norma de producto aplicable.

Se aceptará el lote en el caso de no detectarse ningún incumplimiento de las especificaciones en los ensayos o comprobaciones citadas en este punto. En caso contrario, se procederá a rechazar el lote.

98.2 Control del material de aportación para las soldaduras

El material de aportación utilizado para la realización de las soldaduras deberá cumplir las exigencias de aptitud al procedimiento de soldeo y de compatibilidad con el acero del producto de base que define el apartado 85.5 de este Código, así como presentar la declaración de prestaciones y ostentar el marcado CE de conformidad con la parte armonizada de UNE EN 13479.

La dirección facultativa deberá comprobar que la declaración de prestaciones del material de aportación para las soldaduras sea conforme con las especificaciones del proyecto.

El responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del producto, se seguirán los criterios que estuvieran definidos en el programa de control o en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra.

Artículo 99 Control de los sistemas de protección

99.1 Especificaciones

Los sistemas de protección deberán cumplir las prescripciones establecidas en los apartados 86.3 y 86.4 en función de la clase de exposición a la que vaya a estar sometido el elemento estructural.

Todo suministro de material, deberá acompañarse de un certificado de garantía del fabricante, específico para la obra y firmado por persona física.

99.2 Realización de ensayos

Los ensayos se efectuarán sobre probetas que cumplan las siguientes condiciones:

- que sean del mismo tipo de acero que el que se vaya a emplear en la obra;
- en su caso, que tenga el mismo recubrimiento de cinc que se vaya a utilizar,
- que presente un tamaño mínimo de 150x70 mm²,
- que presente un espesor no inferior a 2 mm y compatible con el ensayo que se pretenda efectuar,
- que cumplan las condiciones de preparación y estado superficial prescritas en la norma UNE-EN ISO 12944-6,
- para superficies galvanizadas en caliente aplica la norma UNE-EN ISO 1461,

- para superficies sometidas a metalización con cinc, UNE-EN ISO 2063.

En los sistemas de protección que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, para la realización de los ensayos, se procederá a la división en lotes de los sistemas de protección. Se considerará un lote para cada conjunto de sistemas de protección y tipo de acero empleado en la obra. El número de probetas a ensayar será al menos de tres por cada lote.

Los ensayos sobre los sistemas de pintura se efectuarán de acuerdo con los métodos definidos en el apartado 86.3.

En cuanto a la galvanización en caliente, en el caso de que el suministro del material se acompañe de un certificado de garantía del galvanizador, específico para la obra y firmado por persona física, la dirección facultativa podrá eximir de la realización de los correspondientes ensayos. La realización de ensayos, en su caso, se efectuará mediante los procedimientos establecidos en UNE-EN ISO 1461, así como los que se recojan específicamente en el programa de control o el pliego de prescripciones técnicas particulares. Para las superficies sometidas a metalización con cinc, los ensayos se realizarán conforme a lo indicado en la norma UNE-EN ISO 2063.

99.3 Criterios de aceptación o rechazo

La posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo establecido en el Artículo 18, se entiende como suficiente para avalar la conformidad del sistema de protección suministrado sin efectuar ensayos específicos.

Los ensayos sobre los sistemas de pintura, se considerarán conformes con las especificaciones cuando:

- Antes del ensayo, la clasificación obtenida por la probeta de acuerdo con UNE-EN ISO 2409 es 0 o 1. Cuando el espesor de la película seca del sistema de protección es mayor que 250 μm , este requisito debe sustituirse por la inexistencia de desprendimiento de la pintura del sustrato en el ensayo de adherencia según UNE-EN ISO 4624, a menos que los valores de la tracción sean mayores o iguales a 5 MPa.
- Después del ensayo, con la duración en horas indicadas en el apartado 86.3, según el caso, para la clase de exposición y grado de durabilidad exigidos, la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación establecidos en las partes 2 a 5 de UNE-EN ISO 4628, y la clasificación obtenida de acuerdo con UNE-EN ISO 2409 sea 0 o 1. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250 μm , se empleará la misma sustitución de este último requisito que la indicada en el apartado a). La evaluación de la condición tras el ensayo según UNE-EN ISO 2409 o según el ensayo sustitutivo se efectuará tras 24 horas de reacondicionamiento de la probeta.

Se considera que la probeta no presenta defectos, según el caso, cuando cumple los siguientes requisitos:

- Aplicando UNE-EN ISO 4628-2, cuando se presente ampollamiento 0 (S0).
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-3, cuando se presente óxido Ri 0.

- Aplicando UNE-EN ISO 4628-4, cuando se presente agrietamiento 0 (S0).
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-5, cuando se presente descamación 0 (S0).

Además, deberá comprobarse que, una vez efectuado un envejecimiento artificial, conforme a UNE-EN ISO 9227, no existe ningún avance de corrosión del sustrato, a partir de la incisión, que sea superior a 1 mm, determinado de acuerdo con UNE-EN ISO 12944.

En la evaluación de defectos anteriormente citada, no se tendrán en cuenta aquéllos que se produzcan a menos de 10 mm de los bordes de la probeta.

En cuanto a la galvanización en caliente y a la metalización con cinc, la presentación a la dirección facultativa del certificado de garantía al que hace referencia el apartado 99.1 permitirá la aceptación del correspondiente lote. En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del lote, se seguirán los criterios establecidos al efecto en el programa de control o el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra.

Artículo 100 Control de estructuras componentes

La conformidad de las estructuras componentes con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en obra e incluirá la comprobación de sus características mecánicas y geométricas, además de cualquier otra característica, que en su caso, establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Al disponer estos productos del marcado CE según el Reglamento (UE) 305/2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán comprobarse de conformidad con la norma armonizada UNE-EN 1090-1:2011+A1. Tal y como se recoge en el citado Reglamento, el fabricante del producto entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE y será el responsable de la conformidad del producto con las prestaciones declaradas. El fabricante deberá estar en condiciones de aportar garantía de la adecuación de su producto al uso previsto y de ponerla a disposición de quien la solicite con el fin de que, a su vez, pueda pasar esta garantía al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dicha garantía. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas. La dirección facultativa, conforme a las obligaciones recogidas en el apartado 17.2.1 de este Código y una vez validado el control de recepción, será el responsable de velar porque el producto incorporado en la obra es adecuado a su uso y cumple con las especificaciones requeridas. En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del producto, se seguirán los criterios que estuvieran definidos en el programa de control o en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra.

Capítulo 24

Gestión de la calidad de la fabricación y ejecución de estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 101	PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	3
101.1	LOTES DE EJECUCIÓN	3
101.2	UNIDADES DE INSPECCIÓN	4
ARTÍCULO 102	COMPROBACIONES PREVIAS AL COMIENZO DE LA FABRICACIÓN Y EJECUCIÓN ..	6
102.1	PROGRAMA DE PUNTOS DE INSPECCIÓN.....	7
ARTÍCULO 103	CONTROL DE LA FABRICACIÓN EN TALLER Y DEL MONTAJE EN OBRA	7
103.1	COMPROBACIONES PREVIAS AL INICIO DEL SUMINISTRO	8
103.1.1	<i>Comprobación documental previa al suministro</i>	<i>8</i>
103.1.2	<i>Comprobación de las instalaciones</i>	<i>9</i>
103.2	CONTROL DE LA FABRICACIÓN EN TALLER	10
103.2.1	<i>Control documental durante el suministro</i>	<i>10</i>
103.2.2	<i>Comprobaciones experimentales durante el suministro</i>	<i>10</i>
103.2.2.1	Control de los procedimientos de corte térmico y perforación	10
103.2.2.2	Control de las operaciones de conformado	13
103.2.2.3	Control dimensional de los elementos	13
103.2.2.4	Comprobación de la cualificación del personal para la soldadura	13
103.2.2.5	Control de los procedimientos de soldeo	14
103.2.2.6	Comprobación de la ejecución de las soldaduras.....	14
103.2.2.7	Control de soldaduras reparadas	17
103.2.2.8	Control de uniones atornilladas	17
103.2.2.9	Control del armado en taller	18
103.2.2.10	Control del montaje en blanco	19
103.3	CONTROL DEL MONTAJE EN OBRA.....	19
103.3.1	<i>Comprobaciones previas al montaje</i>	<i>19</i>
103.3.1.1	Memoria de montaje.....	19
103.3.1.2	Planos de montaje.....	20
103.3.1.3	Programa de inspección	20
103.3.2	<i>Comprobaciones durante el montaje</i>	<i>20</i>

Artículo 101 Programación del control de las estructuras de acero

La organización del control de la fabricación y ejecución de las estructuras de acero deberá seguir los criterios establecidos en el Capítulo 5 y, en particular, la programación del control de la fabricación y ejecución deberá respetar los criterios establecidos en el Artículo 22.

El control de la fabricación y ejecución estará ligado al nivel de control de la ejecución (acorde con lo definido en el apartado 22.4) y a la clase de ejecución (acorde con lo definido en el apartado 14.3).

El control de la fabricación y ejecución deberá adaptarse a las características de la obra y a los medios disponibles en la misma, por lo que la dirección facultativa, por iniciativa propia o a propuesta del constructor, podrá autorizar valores diferentes a los recogidos en este artículo.

101.1 Lotes de ejecución

El Programa de control aprobado por la dirección facultativa contemplará una división de la obra en lotes de ejecución, coherentes con el desarrollo previsto en el plan de obra para la ejecución de la misma.

Para cada lote de ejecución se identificarán la totalidad de actividades o procesos susceptibles de ser inspeccionados, así como las frecuencias de las comprobaciones a realizar, tanto por el control del constructor como por el control de contraste de la dirección facultativa, en su caso.

En general, y salvo que el PPTP del proyecto defina una división de la estructura o de sus elementos en lotes más adaptada a sus características específicas, o de sus elementos, los lotes de ejecución se definirán siguiendo los siguientes criterios generales:

- a) se corresponderán con partes sucesivas en el proceso de fabricación y montaje en taller y de ejecución de la obra,
- b) no se mezclarán elementos de tipología estructural distinta, que pertenezcan a filas diferentes en la tabla 101.1,
- c) el tamaño del lote no será superior al indicado, en función del tipo de elementos, en la tabla 101.1.

Tabla 101.1. Tamaño máximo de los lotes de ejecución

Tipo de obra	Tipo de elemento	Nº de elementos o dimensión
Edificación, chimeneas torres y depósitos	Pilares y elementos verticales	- 500 m ² de superficie, sin rebasar las dos plantas
	Vigas, arriostramientos, elementos superficiales y forjados	- 250 m ² de superficie construida sin rebasar una planta
Puentes	Alzados de pilas	- 1 pila - 10 m de altura de pila
	Alzados de estribos	- 1 estribo
	Tableros de puentes	- 1 tramo o dovela sin rebasar el menor de 30 m o un vano completo

En el caso de otros elementos diferentes de los indicados en la tabla 101.1, el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto establecerá los criterios necesarios para definir el tamaño máximo del lote de ejecución.

Se podrá optar por utilizar otra metodología para definir el tamaño máximo de los lotes de ejecución previa aprobación por parte de la dirección facultativa y siempre que el tamaño de los lotes resultantes no exceda lo indicado en la tabla 101.1.

101.2 Unidades de inspección

- Para cada lote de ejecución, se identificará la totalidad de los procesos y actividades susceptibles de ser inspeccionadas, de acuerdo con lo previsto en este Código. Se contemplarán, como mínimo, los siguientes procesos: elaboración de planos de taller,
- definición de los procedimientos de fabricación, elaboración del programa y planos de montaje,
- gestión de acopios de materiales y productos,
- mecanización y manipulación de productos de acero en taller,
- cualificación de soldadores y de los procedimientos de soldeo,
- cualificación de procedimientos de fijación con elementos mecánicos,
- ensamblado y armado de elementos en taller, incluido el control dimensional,
- ejecución de uniones soldadas,

- ejecución de uniones con elementos mecánicos,
- colocación de conectadores en estructuras mixtas,
- ajustes, correcciones y acabados finales en taller,
- montaje en blanco,
- recepción de elementos a su llegada a obra,
- ensamblado de elementos en obra,
- replanteo y montaje de elementos en obra,
- ajustes, correcciones y acabados finales, y
- aplicación de tratamientos superficiales de protección anticorrosiva.

La dimensión o tamaño máximo de un proceso o actividad comprobable, en general, en una visita de inspección al taller o a la obra. En función de los desarrollos de procesos y actividades previstos en el plan de obra, en cada inspección al taller o a la obra, podrá comprobarse un determinado número de unidades de inspección, las cuales, pueden corresponder a uno o más lotes de ejecución.

Para cada proceso o actividad, se definirán las unidades de inspección correspondientes cuya dimensión o tamaño será conforme al indicado en la tabla 101.2.

Tabla 101.2. Unidades de inspección

Procesos de ejecución	Tamaño máximo de la unidad de inspección
Elaboración de planos de taller	- Planos correspondientes a cada elemento estructural.
Definición de los procedimientos de fabricación, elaboración del programa y planos de montaje	- Procedimientos de fabricación y programa y planos de montaje correspondientes a cada elemento estructural
Gestión de acopios	- Acopio correspondiente a cada material, forma de suministro, fabricante y partida suministrada, que se empleen en cada lote de ejecución ⁽¹⁾
Mecanización y manipulación de los productos de acero en taller	- Conjunto de productos destinados a cada elemento estructural
Cualificación de soldadores y de los procedimientos de soldeo	- Cada uno de los soldadores, tanto en taller como en obra - Cada uno de los procedimientos de soldeo ⁽²⁾
Cualificación de procedimientos de fijación con elementos mecánicos	- Cada uno de los tipos de fijaciones con elementos mecánicos

CÓDIGO ESTRUCTURAL

Capítulo 24. Gestión de la calidad de la fabricación y ejecución de estructuras de acero

Procesos de ejecución	Tamaño máximo de la unidad de inspección
Ensamblado y armado de elementos en taller, incluido el control dimensional	- Cada uno de los elementos, principales o secundarios
Ejecución de uniones soldadas	- Cada una de las soldaduras, en taller o en obra, acorde con el procedimiento de control y el porcentaje de control especificado en el PPI
Ejecución de uniones con elementos mecánicos	- Cada una de las uniones ejecutadas mediante elementos mecánicos
Colocación de conectadores en estructuras mixtas	- Los conectadores a colocar en una jornada de trabajo
Ajustes, correcciones y acabados finales en taller	- Cada uno de los elementos
Montaje en blanco	- Cada dovela, tramo o vano a montar en blanco
Recepción de elementos a su llegada a la obra	- Cada elemento que llega a la obra.
Ensamblado de elementos en obra	- Cada unión a ejecutar en obra
Replanteo y montaje de elementos en obra	- Cada elemento montado en obra
Ajustes, correcciones y acabados finales	- Cada elemento montado en obra
Aplicación de tratamientos superficiales de protección anticorrosiva	- Cada uno de los elementos fabricados en taller, para los tratamientos aplicados en taller. - Cada uno de los elementos montados en la obra, para los tratamientos aplicados en obra, en su caso.

(1) Un mismo acopio de material, procedente del mismo suministro, fabricante y partida, puede ser destinado a diferentes elementos estructurales o a diferentes lotes de ejecución, en función de su tamaño y de acuerdo con el plan de obra. Por lo tanto, la gestión de un acopio concreto puede formar parte de diferentes lotes de ejecución y, consecuentemente, de diferentes unidades de inspección. Al programarse el control de ejecución, se evitará considerar la inspección repetida del mismo acopio para la aceptación de distintos lotes de ejecución, procurando en la medida de lo posible que el conjunto de las inspecciones tenga la mayor representatividad posible de la obra.

(2) Una cualificación del procedimiento de soldeo puede cubrir varios tipos de soldaduras, de acuerdo con los rangos de cualificación de la norma de aplicación correspondiente.

Artículo 102 Comprobaciones previas al comienzo de la fabricación y ejecución

Antes del inicio de la ejecución de cada parte de la obra, la dirección facultativa deberá constatar que existe un programa de control, desarrollando el plan de control

definido en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, tanto para los productos como para la fabricación y ejecución, que haya sido redactado específicamente para la obra, conforme a lo indicado por el proyecto y lo establecido en este Código.

Cualquier incumplimiento de los requisitos previos establecidos, provocará el aplazamiento del inicio de la obra hasta que la dirección facultativa constate documentalmente que se ha subsanado la causa que dio origen al citado incumplimiento.

102.1 Programa de puntos de inspección

El programa de puntos de inspección (PPI) reflejará el conjunto de controles, inspecciones y ensayos a realizar en la fabricación y ejecución de la estructura de acero por los diferentes agentes de control implicados. El PPI formará parte del programa de control y en él se detallará al menos:

- las unidades de inspección, tanto en taller como en obra,
- el tipo de inspección y comprobaciones a realizar,
- los procedimientos o normas que regularán la verificación de la conformidad de cada inspección, así como las especificaciones de aceptación,
- la ubicación y frecuencia o intensidad de las inspecciones,
- la forma de documentación de los resultados,
- la designación de la persona responsable de la realización y firma de los diferentes controles o inspecciones,
- los puntos de espera o parada a respetar durante el proceso de control, y
- cualquier comentario u observación aclaratoria.

Artículo 103 Control de la fabricación en taller y del montaje en obra

En el caso de productos que deban disponer del marcado CE según el Reglamento (UE) 305/2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán realizarse de conformidad con la norma armonizada UNE-EN 1090-1. Tal y como se recoge en el citado Reglamento, el fabricante del producto será el responsable de la conformidad del producto con las prestaciones declaradas. El fabricante deberá estar en condiciones de aportar garantía de la adecuación de su producto al uso previsto y de ponerlas a disposición de quien las solicite con el fin de que, a su vez, pueda transmitir estas garantías al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dichas garantías. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas. La dirección facultativa, conforme a las obligaciones recogidas en el apartado 17.2.1 de este Código y una vez

validado el control de recepción, será el responsable de velar porque el producto incorporado en la obra es adecuado a su uso y cumple con las especificaciones requeridas. En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del producto, se seguirán los criterios que estuvieran definidos en el programa de control o en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra o, en su caso, el plan de control.

En el caso de productos que no deban disponer de marcado CE, la conformidad de los procesos de fabricación en taller y de la ejecución y el montaje en obra incluirá las características mecánicas de los productos empleados, las características geométricas de los elementos, así como cualquier otra característica incluida en el proyecto o decidida por la dirección facultativa. Las consideraciones de este artículo son de aplicación independientemente de que el taller pertenezca o no a las instalaciones propias de la obra.

103.1 Comprobaciones previas al inicio del suministro

La dirección facultativa comprobará, antes del inicio del suministro, que el constructor ha comunicado el programa de obra, estableciendo las fechas límites para la recepción, en su caso, de los elementos elaborados en talleres ubicados fuera de las instalaciones de la obra.

Las comprobaciones previas al suministro de los elementos fabricados en taller ajeno a la obra tienen por objeto verificar la conformidad de los procesos y de las instalaciones que se pretenden emplear.

103.1.1 Comprobación documental previa al suministro

Además de la documentación general a la que hace referencia el Capítulo 5, que sea aplicable a los elementos que se pretende suministrar a la obra, el suministrador, o en su caso el constructor, deberá presentar a la dirección facultativa una copia compulsada por persona física de la siguiente documentación:

- a) en su caso, documento que acredite que el proceso de montaje en taller del elemento se encuentra en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- b) en su caso, documento que acredite que los productos de acero empleados en la elaboración de los elementos se encuentran en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- c) en el caso de que se pretenda emplear procesos de soldadura:
 - a. certificados de cualificación de los soldadores asociados a los tipos de soldadura que vayan a realizar, en taller u obra, según UNE-EN ISO 9606-1;
 - b. certificados de cualificación de los operadores de soldeo, según UNE-EN ISO 14732;
 - c. especificaciones de los procedimientos de soldeo, WPS, para cada tipo de unión especificada; y
 - d. certificados de cualificación de los procedimientos de soldadura:

- Para una clase de ejecución 3 o 4 la cualificación se hará acorde con las normas UNE-EN ISO 15613 y UNE-EN ISO 15614-1.
- Adicionalmente, para la clase de ejecución 2, la cualificación podrá hacerse también acorde con las normas UNE-EN ISO 15610, UNE-EN ISO 15611 y UNE-EN ISO 15612.

En el caso de que la estructura de acero deba ostentar el marcado CE de conformidad con el Reglamento (UE) 305/2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, acorde a la norma armonizada UNE-EN 1090-1, el constructor deberá presentar a la dirección facultativa la documentación relativa a dicho marcado CE, entre otros:

- a) Documentación relativa al Plan de control de producción en fábrica acorde con la UNE-EN 1090 (Manual del Plan de Control, procedimientos de trabajo y/o fabricación, etc.)
- b) Documentación relativa al Plan de Control de Calidad de las soldaduras.
- c) Declaración de Prestaciones de la estructura.

La dirección facultativa deberá verificar que los procedimientos de fabricación, incluyendo los procedimientos cualificados de soldadura, previstos para la fabricación y montaje de la estructura son suficientes para cumplir tanto con todos los requisitos establecidos en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto como con lo indicado en el Capítulo 21.

Antes del inicio del proceso de fabricación en taller, el constructor deberá presentar a la dirección facultativa, para su aceptación, los planos de taller para la fabricación de la estructura metálica, que deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto y con lo definido en el apartado 91.2. Los planos de taller irán aprobados y firmados por un técnico del taller metálico responsable de su elaboración, así como por un representante del constructor, que se responsabilizará por parte de éste del cumplimiento de todas las exigencias requeridas, de conformidad con el proyecto y con este Código.

La dirección facultativa deberá dar su aceptación a los planos de taller previamente al inicio de la fabricación, tras verificar, por parte de la entidad de control de calidad, en su caso, que cualquier modificación respecto a lo previsto en proyecto se haya justificado técnicamente, de manera que se demuestre que no supone ninguna merma apreciable en las garantías de seguridad, resistencia a fatiga, durabilidad o estética de la estructura.

Las posteriores tareas de control de la ejecución de la estructura metálica serán realizadas a partir de la definición de la estructura metálica en los planos de taller.

103.1.2 Comprobación de las instalaciones

La dirección facultativa valorará la conveniencia de efectuar, directamente o a través de una entidad de control de calidad, y preferiblemente antes del inicio del suministro, una visita de inspección al taller de fabricación, al objeto de comprobar su idoneidad para elaborar los elementos que se requieren para la obra.

La inspección del taller de montaje incluirá la evaluación de los siguientes aspectos:

- a) Idoneidad de las instalaciones en función de los materiales base empleados y de los procedimientos de soldadura. Esta verificación incluirá tanto las instalaciones, como utillajes y herramientas que se prevé emplear en la fabricación.
- b) Verificación de los equipos, incluyendo los certificados de calibración de los instrumentos de control, por ejemplo, termómetros, pinzas amperimétricas, etc.
- c) Valorar la capacidad del taller para cumplir con las tolerancias establecidas en el Anejo 16 que sean de aplicación en la fabricación y montaje de la estructura metálica.

Estas inspecciones serán preceptivas en el caso de instalaciones que pertenezcan a la obra, en las que se comprobará que se ha delimitado un espacio suficiente para las labores de montaje, espacios predeterminados para el acopio de los productos de acero y espacio fijo para la maquinaria, así como recintos específicos para acopiar los elementos antes de su entrega a la obra.

103.2 Control de la fabricación en taller

103.2.1 Control documental durante el suministro

La dirección facultativa deberá comprobar que cada remesa de elementos que se suministre a la obra desde un taller va acompañada de la correspondiente hoja de suministro.

Asimismo, deberá comprobar la coherencia entre las características de los elementos suministrados y los de la documentación de los productos de acero, declarada por el fabricante y facilitada por el constructor, verificando la adecuada trazabilidad de los mismos. En caso de detectarse algún problema de trazabilidad, se procederá al rechazo de los elementos afectados por el mismo.

Para elementos elaborados en talleres propios de la obra, se comprobará que el constructor mantiene un registro de fabricación en el que se recoge, para cada partida de elementos fabricados, la misma información que en las hojas de suministro a las que hace referencia este apartado.

La dirección facultativa aceptará la documentación de la remesa de elementos, tras comprobar que es conforme con lo especificado en el proyecto.

103.2.2 Comprobaciones experimentales durante el suministro

103.2.2.1 Control de los procedimientos de corte térmico y perforación

En el caso de empleo de procedimientos de corte térmico, previamente al inicio de la actividad, para cada tipo de elemento a cortar y para cada material se fabricarán, al menos, cuatro probetas, que deberán ser evaluadas por el control del constructor y por el control de contraste de la dirección facultativa, para evaluar la aptitud del procedimiento:

- Probeta 1: corte recto del elemento de mayor espesor.
- Probeta 2: corte recto del elemento de menor espesor.
- Probeta 3: corte en ángulo entrante con radio mínimo de acuerdo y sobre un elemento de espesor representativo.
- Probeta 4: corte en curva sobre un elemento de espesor representativo.

Las probetas tendrán una dimensión tal que permitan cortes de, al menos, 200 mm de longitud.

La calidad de las superficies de cada corte será acorde a lo establecido en la UNE-EN 1090-2 correspondiente a la clase de ejecución de la estructura y la de los cortes curvados será similar a la de los rectos.

Si los resultados de la inspección de los bordes cortados fuesen no conformes, la dirección facultativa rechazará el proceso, debiendo el constructor modificar el mismo definiendo un nuevo procedimiento, debiendo procederse a iniciar un nuevo proceso de comprobación.

Si el fabricante hubiera realizado previamente ensayos para la validación de su procedimiento de corte térmico, como parte de su Plan de control de la producción y cuente con la evaluación documental positiva de una entidad de control independiente, la Dirección facultativa podrá decidir no realizar los ensayos de nuevo, siempre que los ensayos que haya realizado el fabricante cubran los tipos de materiales y espesores que se prevé utilizar en la fabricación y siempre que el fabricante acredite que el procedimiento de corte no ha variado desde la realización de los ensayos y que realiza un mantenimiento adecuado de la maquinaria de corte.

En el caso de procedimientos de corte o perforación que puedan producir incrementos locales de la dureza del material (corte térmico, cizallado, punzonado, etc.), deberá controlarse ésta en los bordes, si así se especifica, para lo que la entidad de control actuará según se indica:

- Se fabricarán cuatro probetas del material más susceptible al endurecimiento de entre todos los que vayan a ser utilizados en la fabricación de la estructura.
- En cada una de las cuatro probetas se medirán las durezas en cuatro puntos elegidos de entre aquéllos en los que se suponga mayor incremento. La medida se realizará conforme a UNE-EN ISO 6507-1.
- El mayor de los valores medidos no excederá los valores máximos indicados en la tabla 103.1, en función del tipo de acero.

Tabla 103.1. Valores de dureza máximos permitidos

Norma de producto	Tipo de acero	Valor de dureza máxima
UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-5	S235 a S460	380 HV10
UNE-EN10210-1, UNE-EN 10219-1		
UNE-EN 10149-2, UNE-EN 10149-3	S260 a S700	450 HV10
UNE-EN 10025-6	S460 a S690	

Si los resultados de las medidas son no conformes, se modificará el proceso de corte y se repetirá el ensayo solo para aquellos casos en los que no ha habido conformidad.

Este apartado no cubre la comprobación de durezas en los cortes que vayan a ser soldados, los cuales serán ensayados conforme al procedimiento específico de soldadura.

Si el fabricante hubiera realizado previamente ensayos para la evaluación de las durezas máximas en bordes cortados y/o perforados, como parte de su Plan de control de la producción y cuente con la evaluación documental positiva de una entidad de control independiente, la dirección facultativa podrá decidir no realizar los ensayos de nuevo, siempre que los ensayos que haya realizado el fabricante cubran los tipos de materiales que se prevé utilizar en la fabricación y siempre que el fabricante acredite que los procedimientos de fabricación no han variado desde la realización de los ensayos y que realiza un mantenimiento adecuado de la maquinaria de corte y/o perforación.

Además, deberán comprobarse periódicamente los medios y procedimientos de perforación, para lo que la entidad de control deberá:

- Fabricar ocho probetas para cada procedimiento a ensayar, cubriendo el rango de calidades de los materiales, diámetros de agujeros y espesores del material.
- Medir el diámetro de los agujeros en cada extremo del espesor taladrado utilizando patrones (pasa/no pasa). El valor medido cumplirá las tolerancias correspondientes a la clase de ejecución de la estructura.

Si los resultados de las medidas son no conformes, se modificará el proceso de perforación y se repetirá el ensayo solo para aquellos casos en los que no ha habido conformidad.

103.2.2.2 Control de las operaciones de conformado

Las operaciones de conformado en frío o en caliente, así como las operaciones de enderezado por llama aplicando calor, se controlarán acorde con lo establecido en la UNE-EN 1090-2.

103.2.2.3 Control dimensional de los elementos

Se deberá comprobar que los elementos elaborados en el taller presentan las dimensiones reflejadas en los planos de taller, considerando las tolerancias indicadas en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Los medios de medida deberán estar incluidos en ISO 7976 partes 1 y 2. Por su parte, la precisión de la medida se ajustará a lo indicado en ISO 17123.

Las medidas se referirán con respecto a las contraflechas especificadas en proyecto, y se corregirán para tener en cuenta las posibles deformaciones por temperatura o peso propio.

El taller dispondrá de los elementos necesarios (mesas de medida, bastidores, etc.) para la correcta ejecución de las medidas.

En el caso de aparición de no conformidades, se corregirán mediante alguno de los medios especificados en este Código, si ello fuera posible. En otro caso, se estudiará la posibilidad de modificar la geometría del resto de la estructura de forma que se compense la no conformidad, en cuyo caso dicho procedimiento deberá ser aprobado previamente por la dirección facultativa.

103.2.2.4 Comprobación de la cualificación del personal para la soldadura

La dirección facultativa deberá comprobar que los soldadores están en posesión de la cualificación adecuada, conforme a lo establecido en el apartado 94.4.2, y que dicha cualificación es vigente.

La dirección facultativa podrá establecer cualquier comprobación adicional sobre la cualificación de los soldadores, independientemente del lugar donde desarrollen su actividad (en taller u obra).

El taller mantendrá al día los correspondientes registros de identificación de sus soldadores de forma satisfactoria, en los que debe figurar:

- N° de ficha,
- copia de homologación, y
- marca personal.

Esta documentación estará en todo momento a disposición de la dirección facultativa y de la entidad de control de calidad.

Cada soldador identificará su propio trabajo con marcas personales que no serán transferibles.

Toda soldadura ejecutada por un soldador no cualificado, será rechazada, procediéndose a su levantamiento. En caso de que esto pudiese producir efectos perniciosos, a juicio de la dirección facultativa, el conjunto soldado será rechazado y repuesto por el constructor de la estructura de acero.

103.2.2.5 Control de los procedimientos de soldeo

Antes de iniciarse la fabricación, el control del constructor desarrollará cuantas pruebas y ensayos sean necesarios para la comprobación de los distintos métodos de soldeo a tope y en ángulo, para determinar cuáles son los más indicados y se obtengan los parámetros de soldeo más adecuados.

Se comprobará además que todos los procedimientos de soldadura, levantamiento de la misma y reparación de zonas por soldadura, son objeto de un procedimiento por escrito, con indicación, entre otros, de las características de materiales de aportación, las preparaciones de borde, incluyendo las temperaturas de precalentamiento, las temperaturas mínimas entre pasadas y el calor de aportación.

El soldeo deberá realizarse mediante procedimientos cualificados, conforme a lo indicado en el Apartado 94.4.1. La entidad de control de la dirección facultativa deberá certificar documentalmente que, con los procedimientos cualificados de soldeo aportados por el constructor, quedan cubiertas todas las uniones soldadas a efectuar tanto en taller como en obra y deberá verificar que los soldadores sueldan aplicando dichos procedimientos.

103.2.2.6 Comprobación de la ejecución de las soldaduras

Con anterioridad a la realización de la soldadura, se procederá a realizar una inspección visual de las piezas a unir, verificando su correcto ajuste y las soldaduras punteo conforme a UNE-EN ISO 17637.

En el caso de secciones huecas, la inspección se centrará en:

- las partes centrales del talón y de los flancos, si se trata de secciones circulares, y
- las cuatro esquinas, en el caso de secciones cuadradas o rectangulares.

Después del soldeo, se debe verificar también todas las soldaduras mediante inspección visual conforme a UNE-EN ISO 17637.

En general, las inspecciones visuales serán realizadas por un Inspector de soldadura de nivel 2, conforme a la norma UNE 14618, o por otra persona certificada como nivel 2 para inspección visual acorde con UNE-EN ISO 9712 y que sea autorizada previamente por la dirección facultativa. En el caso de soldaduras en obras en las que sea de aplicación la clase de ejecución 2, la inspección visual la podría realizar el propio soldador cualificado bajo la supervisión de un inspector de soldadura de nivel 2, previa aprobación de la dirección facultativa.

En todo caso, la dirección facultativa podrá exigir la certificación del inspector de soldadura.

De todos los controles que se efectúen, se registrará su correspondiente protocolo de inspección, donde además de la descripción, se adjuntarán fichas de control de soldadura que incluirán los resultados del ensayo y la posición exacta de dicho control.

Se controlarán todos los cordones. Cualquier ensayo se realizará una vez transcurrido el tiempo de retención o cadencia establecido en UNE-EN 1090-2, en función del tipo de acero, el espesor de las chapas a unir, el tamaño de la soldadura,

la aportación de calor del procedimiento, y de posibles riesgos de embridamiento que puedan producir la fisuración en frío de la soldadura.

Las soldaduras que a lo largo del proceso de fabricación resulten inaccesibles deberán inspeccionarse antes de que ello ocurra.

Cuando un elemento o una zona del mismo haya sido deformado para corregir desviaciones geométricas resultantes de la fabricación, todas las soldaduras situadas en las zonas afectadas serán inspeccionadas y, si procediera, ensayadas, como si no lo hubieran sido con anterioridad.

El control de las soldaduras incluirá una serie de comprobaciones que serán, como mínimo:

- Una inspección visual conforme a UNE-EN ISO 17637, preceptiva para toda la longitud del 100% de los cordones,
- unas comprobaciones adicionales mediante la realización de ensayos no destructivos, cuya frecuencia en función de la clase de ejecución, será la definida en el plan de control incluido en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto. El Anejo 17 incluye, de forma orientativa, las frecuencias de ensayos no destructivos para los diferentes tipos de soldaduras más habituales, y
- se realizarán ensayos adicionales en los puntos donde se sospeche que puedan existir defectos.

Si del control se derivase alguna no conformidad, se rechazará el lote y se incrementará la frecuencia de ensayos.

Para las cinco primeras soldaduras realizadas con un nuevo procedimiento de soldeo cualificado, se realizarán los correspondientes ensayos de producción, que deberán cumplir los requisitos siguientes:

- a) las soldaduras cumplirán con el nivel de calidad B acorde con UNE-EN ISO 5817,
- b) el % de cordones a ensayar será el doble de los valores propuestos en el Anejo 17, con un máximo del 100%, y
- c) la longitud mínima a inspeccionar será de 900 mm.

En el caso de pernos conectadores soldados solicitados a esfuerzo cortante para estructuras mixtas de acero y hormigón, la inspección y ensayos se realizarán de acuerdo con UNE-EN ISO 14555. Además de la inspección visual para las soldaduras de unión del 100 % de los pernos, se realizarán ensayos de doblado de cómo mínimo el 3% del total de pernos para estructuras de clase de ejecución 2 y del 5% del total de pernos para estructuras de clase de ejecución 3 y 4.

La inspección visual de los cordones se desarrollará una vez completadas todas las soldaduras de un área de inspección y previamente a la realización de cualquier ensayo.

La inspección visual incluirá:

- La existencia y situación de todos los cordones.

- La inspección de los cordones conforme a UNE-EN ISO 17637.
- Zonas de cebado y cierre.

La inspección de la forma y superficie de los cordones de los nudos entre secciones huecas prestará atención especial a los siguientes aspectos:

- En el caso de secciones circulares, a las partes centrales del talón y de los flancos.
- En el caso de secciones cuadradas o rectangulares: a las cuatro esquinas.
- La aceptación de los cordones en la inspección visual se efectuará según lo que establece el Apartado 94.6.

Se realizarán los siguientes ensayos no destructivos según los principios generales establecidos en UNE-EN ISO 17635 y conforme a las especificaciones particulares de cada método de ensayo:

- Líquidos penetrantes (LP), realizados según UNE-EN ISO 3452-1 y con los criterios de aceptación de UNE-EN ISO 23277.
- Partículas magnéticas (PM), realizadas según UNE-EN ISO 17638 y con los criterios de aceptación de UNE-EN ISO 23278.
- Ultrasonidos (UT), realizados según UNE-EN ISO 17640 y con los criterios de aceptación de UNE-EN ISO 11666.
- Radiografías (RX), según UNE-EN ISO 17636-1 y UNE-EN ISO 17636-2 y con los criterios de aceptación de UNE-EN ISO 10675-1.

Cuando se localice alguna imperfección “admisible”, acorde con la normativa que establezca su criterio de aceptación, no será precisa su reparación, pero se inspeccionará un tramo adicional del mismo cordón. Si en esta nueva inspección se encuentra una imperfección no admisible se repararán todos los defectos.

Si la imperfección es “no admisible”, acorde con la normativa que establezca su criterio de aceptación, será necesaria su reparación, según un procedimiento establecido. Dicha reparación no afectará únicamente a la imperfección no admisible, sino también a todas aquellas imperfecciones calificadas como “admisibles” que se hayan detectado con anterioridad en la misma soldadura. Adicionalmente, se incrementará el nivel de control para las soldaduras realizadas por ese soldador en el porcentaje adicional indicado en el plan de control o según lo que establezca la dirección facultativa.

En todos los puntos donde existan cruces de cordones de soldadura se realizará una radiografía o ensayo por ultrasonidos adicional.

Esta inspección será posterior a la visual y realizada por el mismo inspector, que seleccionará estas soldaduras, y siempre comprenderá los extremos (inicios y finales) de cordones.

Cuando la porosidad superficial sea excesiva a juicio de la dirección facultativa, será obligatorio realizar una inspección del interior del cordón.

Asimismo, en general, se realizará una inspección radiográfica o ultrasónica de las soldaduras a tope, tanto de chapas en continuación como de uniones en T, cuando

éstas sean a tope. Cuando coexistan la inspección visual y la realización de ensayos no destructivos en una misma costura, se simultanearán ambos cuando esto sea posible.

Las deformaciones provocadas por las soldaduras podrán ser corregidas por enderezado mediante la aplicación controlada de calor, siempre que se haga acorde con lo establecido en el apartado 91.3.2.

No se empleará agua o cualquier otro proceso para enfriar bruscamente.

Si durante la inspección visual de las soldaduras se detectase algún defecto, éste será corregido conforme al criterio que figura en la tabla 103.2:

Tabla 103.2. Defectos en soldaduras y criterio de corrección

Descripción del defecto	Corrección
Fisuras	Saneado de las fisuras y nuevo cordón.
Poros y desbordamientos	Soldar de nuevo después de sanear con arco-aire. Longitud mínima de saneado 40 mm.
Mordeduras	Saneado y posterior depósito de material de aportación, longitud mínima de saneado 40 mm.
Concavidades y convexidades no previstas	Amolado.
Otros defectos: entallas y estrías superficiales con posterior depósito de material; hendiduras de límite de aportación, etc.	Amolado o saneado por arco-aire.

103.2.2.7 Control de soldaduras reparadas

Las reparaciones de soldaduras deben realizarse conforme a procedimientos cualificados. Los cordones reparados se inspeccionarán y ensayarán de nuevo como si fueran nuevos.

103.2.2.8 Control de uniones atornilladas

El programa de control del constructor deberá considerar, en su caso, la comprobación de las uniones mediante fijación con elementos mecánicos, a las que se refiere el Artículo 93.

Dichas comprobaciones deberán incluir las correspondientes a la aplicación de los pares de apriete adecuados, de acuerdo con lo especificado en el proyecto y en este Código. En el caso de tornillos pretensados se comprobará que el esfuerzo aplicado es superior al mínimo establecido en el proyecto.

Previamente a la ejecución de las uniones atornilladas, la dirección facultativa deberá aceptar, en su caso, el procedimiento de fijación con elementos mecánicos del

constructor, que deberá incluir, entre otros, la secuencia de apriete, el método de apriete, los valores de referencia, la calibración periódica de las herramientas, etc.

Todas las uniones atornilladas se comprobarán visualmente después de que estén ajustadas con todos los tornillos colocados y antes de empezar el pretensado, si es el caso. En el caso de uniones con tornillos pretensados que trabajen por rozamiento, se deberá verificar visualmente el estado de las superficies a unir antes de su montaje.

En el caso de uniones con tornillos pretensados, la inspección de uniones ya ejecutadas se realizará en función del método de apriete utilizado. En general, dichas inspecciones tendrán por objetivo verificar que el esfuerzo de pretensado aplicado al tornillo es el adecuado:

- En el caso del método del par torsor (o de la llave dinamométrica), la inspección sobre un conjunto de fijación se realizará acorde con lo establecido en el punto 12.5.2.4 de UNE-EN 1090-2.
- En el caso del método combinado, la inspección sobre un conjunto de fijación se realizará acorde con lo establecido en el punto 12.5.2.5. de UNE-EN 1090-2.
- En el caso del método de la arandela con indicación directa de tensión, se seguirá la metodología de control indicada en el punto 12.5.2.7 y el Anejo J de UNE EN 1090-2

Los criterios de aceptación o rechazo serán los definidos al efecto en UNE-EN 1090-2.

103.2.2.9 Control del armado en taller

Antes de iniciarse la fabricación, el constructor propondrá, por escrito y con los planos necesarios, la secuencia de armado y soldeo, que a juicio de sus conocimientos y experiencia considere óptimas, en función de la máxima reducción de tensiones residuales y deformaciones previsibles. Estas secuencias se someterán a la dirección facultativa para su aprobación.

En el armado previo de taller se comprobará que la disposición y dimensiones de cada elemento se ajustan a las indicadas en los planos de taller. Se rectificarán o rechazarán todas las piezas que no permitan el acoplamiento mutuo, sin forzarlas, en la posición que hayan de tener, una vez efectuadas las uniones definitivas.

Para cada una de las piezas preparadas en taller se debe garantizar la trazabilidad, mediante algún procedimiento de marcado adecuado acorde con lo establecido en el apartado 91.3.1, identificando cada pieza con la marca que ha sido designada en los planos de taller.

Asimismo y de forma análoga, se debe garantizar la trazabilidad de cada uno de los elementos terminados en taller, identificando además su posición relativa en el conjunto de la obra.

La dirección facultativa efectuará las visitas e inspecciones que considere oportunas para comprobar el proceso de montaje.

El constructor realizará el control del armado en taller realizando las inspecciones que establezca el programa de control y el PPI, que al menos serán las siguientes:

- Identificación de los elementos.
- Situación de los ejes de simetría.
- Situación de las zonas de sujeción a los elementos contiguos.
- Paralelismo de alas y platabandas.
- Perpendicularidad de alas y almas.
- Abollamiento, rectitud y planeidad de alas y almas.
- Contraflechas.

103.2.2.10 Control del montaje en blanco

El correcto ajuste entre los diferentes tramos ejecutados en taller, antes de su envío a obra, debe ser verificado a través de un montaje en blanco en el propio taller, acorde con lo establecido en el apartado 91.5.

103.3 Control del montaje en obra

103.3.1 Comprobaciones previas al montaje

Previamente al inicio del montaje en obra, la dirección facultativa comprobará la correspondencia con el proyecto de los elementos elaborados en taller, así como la conformidad de la documentación suministrada con los mismos.

Asimismo, el constructor deberá preparar un procedimiento de montaje que deberá ser aprobado por la dirección facultativa, previamente al inicio de las operaciones de obra. El procedimiento de montaje constará, como mínimo, de los documentos, recogidos en los apartados siguientes.

103.3.1.1 Memoria de montaje

La memoria de montaje deberá incluir los procedimientos a emplear para el montaje de la estructura, considerando los requisitos técnicos relativos a la seguridad de los trabajos. Incluirá el cálculo de las tolerancias de posicionamiento de cada componente de forma coherente con el sistema general de tolerancias (en especial en lo que al replanteo de placas base se refiere), la descripción y definición de los elementos auxiliares necesarios para el montaje (casquillos provisionales de apoyo, orejetas de izado, elementos de guiado, etc.), los dispositivos de elevación necesarios, la secuencia de montaje, los arriostamientos provisionales y las condiciones para su retirada y la retirada de elementos auxiliares, la definición de las uniones en obra, los medios de protección de soldaduras, los procedimientos de apriete de tornillos, etc.

Asimismo incluirá un apartado específico relativo a las comprobaciones de seguridad durante el montaje, comprobando además que, como consecuencia del proceso de montaje, no se generan solicitaciones sobre la estructura que sean diferentes a las consideradas en el proyecto.

103.3.1.2 Planos de montaje

Se comprobará que recogen la posición y movimientos de las piezas durante el montaje, los medios de izado, elementos auxiliares necesarios soldados o fijados por medios mecánicos a la estructura, los sistemas de apuntalamiento o arriostramiento provisionales y, en general, toda la información necesaria para el correcto manejo, colocación y fijación de las piezas en su posición definitiva.

103.3.1.3 Programa de inspección

El programa de puntos de inspección (PPI) del montaje en obra reflejará el conjunto de controles, inspecciones y ensayos a realizar en la ejecución de la estructura de acero en obra por los diferentes agentes de control implicados, acorde con lo descrito en el apartado 102.1.

103.3.2 Comprobaciones durante el montaje

Durante las operaciones de montaje se comprobará la conformidad de todas aquellas operaciones que se lleven a cabo, mediante la aplicación de criterios análogos a los establecidos por este Código para el montaje en taller.

En particular, se comprobará que cada operación se efectúa en el orden y con las herramientas especificadas, que el personal encargado de cada operación posee la cualificación adecuada, que se mantiene el adecuado sistema de trazabilidad que permita identificar el origen de cada incumplimiento, etc.

Una vez que se haya montado en obra un tramo, dovela o elemento, se deberá inspeccionar para descartar cualquier indicio de que sus componentes hayan sido deformados o sobrecargados, y para garantizar que todas las fijaciones y arriostramientos provisionales se hayan retirado, una vez que estos no sean necesarios. Asimismo, se realizará un examen de la posición geométrica de los puntos de unión con otros tramos con el objetivo de detectar cualquier desalineación o desplome de la estructura o de alguno de sus componentes por encima de las tolerancias máximas permitidas.

Capítulo 25

Gestión de las estructuras de acero durante su vida de servicio

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 104. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE ACERO.....	3
104.1 OBJETO Y PLANTEAMIENTO	3
104.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS DE CONSTRUCCIONES EXISTENTES DE ACERO.....	3
104.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y GEOMETRÍA.....	4
104.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	4
ARTÍCULO 105. CRITERIOS GENERALES PARA LA REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO	4
105.1. CONTEXTO GENERAL Y OBJETO	4
105.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS Y DAÑOS OBJETO DE REPARACIÓN.....	5
105.3. PROYECTO DE REPARACIÓN	5
105.3.1. <i>Catálogo de daños y mapa de daños</i>	6
105.3.2. <i>Catálogo de soluciones de reparación</i>	6
105.4. PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO	6
ARTÍCULO 106. CRITERIOS GENERALES PARA EL REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE ACERO	7
106.1. CONTEXTO GENERAL Y OBJETO	7
106.2. CLASIFICACIÓN DE LOS REFUERZOS ESTRUCTURALES EN PIEZAS DE ACERO	7
106.3. PROCEDIMIENTOS DE REFUERZO DE PIEZAS DE ACERO	7
106.3.1. <i>Refuerzo sin alterar la sección de la pieza</i>	8
106.3.2. <i>Refuerzo aplicado a la sección de la pieza</i>	8
106.4. PROYECTO DE REFUERZO.....	8
106.5. PLAN Y PROGRAMA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	8

Artículo 104. Evaluación de estructuras existentes de acero

104.1 Objeto y planteamiento

La evaluación de estructuras existentes de acero persigue el objetivo de cuantificar los niveles de seguridad de las estructuras y estimar la vida útil residual. Eso permite también identificar las zonas más sensibles o de mayores riesgos y, consiguientemente, orientar las actuaciones de reparación y refuerzo a las que se refieren los Artículos 105 y 106 siguientes.

En paralelo con el formato de proyecto y comprobación de estructuras de nueva planta, se mantiene, para la evaluación de estructuras existentes de acero, el marco de los Estados Límite.

Cabe advertir, no obstante, que en el contexto general del mantenimiento de las estructuras, descrito en el Artículo 24, la comprobación de los Estados Límites de Servicio (ELS) no precisa de evaluación analítica, puesto que puede deducirse de los resultados del conjunto de inspecciones que se haya llevado a cabo en la estructura (rutinarias, principales y, en su caso, especiales).

Por lo tanto, la evaluación de las estructuras existentes de acero se ciñe al ámbito de los Estados Límite Últimos (ELU). La satisfacción de cualquiera de los estados límite últimos obedece a la comprobación de la inecuación

$$E_d \leq R_d$$

como en el proyecto de obra nueva. En caso contrario, salvo que se plantee otro criterio de análisis estructural deberá plantearse una intervención de refuerzo.

Por su parte, la determinación de la vida útil residual de una construcción de acero consistirá en deducir el período de tiempo, desde el instante de la evaluación, en el que la estructura o alguna de sus partes tarda en alcanzar alguno de los ELS o ELU identificados ya en la fase de proyecto o bien en el instante de evaluación. Los umbrales de aceptación, tanto en ELS como en ELU, están implícitos en las bases de proyecto y, en su caso, en el Programa de Inspección y Mantenimiento, como se explicita en el Capítulo 6 de este Código Estructural.

104.2 Principios básicos del análisis de construcciones existentes de acero

Dado que la modificación, reparación y el refuerzo de una estructura existente puede resultar muy costosa, cabe plantearse la alternativa, no tan frecuente en la fase de proyecto de obra nueva, de utilizar criterios y procedimientos más sofisticados, manteniéndose una lógica proporcionalidad entre la ingeniería asociada a estos refinamientos, el coste previsible y los beneficios esperables.

Para el análisis de construcciones metálicas existentes, como señala el Artículo 25, es posible utilizar tanto un formato semi-probabilista con coeficientes parciales modificados, como un planteamiento probabilista.

El procedimiento de análisis estructural en estado límite último para la deducción de esfuerzos puede ser realizado a partir de modelos que se basan en el comportamiento elástico lineal de los materiales, en la teoría de la plasticidad (también denominado “análisis límite” o plástico) o procedimientos de análisis no lineal, como los que se plantean en el capítulo 5 de los Anejos 22 y 29. En todo caso, cualquiera de los análisis estructurales mencionados, deberán incluir los deterioros o daños detectados en la estructura. Este planteamiento responderá al criterio clásico de comprobación planteado en la inequación $E_d \leq R_d$.

104.3 Propiedades de los materiales y geometría

Las propiedades de los materiales y la geometría admiten tres niveles de definición:

- a) Valores tomados de la documentación del proyecto (resultados de los ensayos de control, valores definidos en los planos y en las bases de cálculo, resultados de ensayo posteriores en el contexto de inspecciones especiales realizadas en el pasado, etc.).
- b) Valores deducidos de una campaña de ensayos no destructivos (ultrasonidos, líquidos penetrantes, radiografías, etc.), acompañada de una caracterización completa de la geometría de las piezas y de las uniones correspondientes.
- c) Extracción de probetas y ensayos en laboratorio, tanto del acero de chapas y perfiles como de tornillos y otros elementos de unión.

El alcance de la investigación necesaria para caracterizar perfiles, chapas y elementos de unión dependerá de la respuesta obtenida en el análisis previo, del tipo de mecanismo de fallo previsible y de lo determinante que resulte la caracterización del material en la capacidad portante general de la estructura o la pieza.

Asimismo, será preciso incorporar coeficientes correctores a la geometría de partida en función del estado de deterioro de las piezas, lo que puede afectar a la reducción de su capacidad resistente.

104.4 Análisis estructural

Los criterios y procedimientos de análisis estructural responderán a los principios establecidos en el Capítulo 20.

Artículo 105. Criterios generales para la reparación de estructuras de acero

105.1. Contexto general y objeto

El proyecto de reparación debe ser el resultado de un trabajo previo de estudio de la información disponible, de un análisis adecuado de evaluación estructural y de vida útil residual y, por tanto, de un diagnóstico preciso, que dictamine la causa o causas que explican los daños observados y que, eventualmente, condicionan su nivel de seguridad y vida útil residual.

Consiguientemente, la definición de cualquier tipo de reparación exige la detección previa de los tipos de deterioros presentes, la comprensión de los mecanismos que han dado lugar a cada deterioro o daño y las actuaciones correspondientes, incluyendo la prognosis de durabilidad de las mismas, aspecto asociado a la vida útil adicional que exija la propiedad.

El objeto de este artículo es presentar la sistemática que debe seguirse para proyectar y ejecutar la reparación de elementos estructurales de acero.

105.2. Clasificación de los deterioros y daños objeto de reparación

A los efectos de las estructuras existentes de acero, los deterioros objeto de reparación se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Deterioros y daños producidos por los procesos de degradación del propio acero por acciones mecánicas, físico-ambientales, químicas, etc.
- b) Deterioros y daños producidos en las uniones de las piezas.

105.3. Proyecto de reparación

Para la redacción del proyecto de reparación, se seguirá el siguiente procedimiento::

1. **Inspección especial previa** que, con carácter general, se habrá realizado antes de concluir en la necesidad de acometer un proyecto de reparación, como prevé el Artículo 24.
2. **Mapa de daños o deterioros**, como resultado de la inspección especial, asociado a un **catálogo de daños o deterioros** elaborado desde la perspectiva de la solución de reparación y no tanto desde la etiología de los deterioros o daños. Dicho mapa representará, sobre planos, la ubicación y la identificación de los diferentes tipos de daño, con referencia explícita al catálogo de daños.
3. Formulación de un **catálogo de soluciones** que describa, para cada uno de los daños y deterioros identificados en ese catálogo, la solución prevista para su reparación.

En función de los criterios de vida útil adicional que se desee otorgar a la estructura de acero, de la importancia del elemento objeto de reparación, de su accesibilidad o de otras consideraciones (estéticas, históricas o patrimoniales), la Propiedad convendrá con el proyectista si las soluciones de reparación tienen carácter

- activo o preventivo, asociado a la idea de impedir el deterioro, en lo sucesivo, del elemento en cuestión, lo que implica estrategias de protección con

elementos de sacrificio o con sistemas de tan lento deterioro que, en la práctica, su degradación sea irrelevante; o

- pasivo, asociado a la idea de que, al cabo de un cierto tiempo, será necesario de nuevo proceder a una reparación, cuando se haya agotado la vida útil adicional conferida tras la reparación.

En el proyecto de reparación, los planos podrán incluir una síntesis del método de reparación propuesto por el proyectista. El pliego de condiciones técnicas particulares contendrá la identificación de las unidades correspondientes, las especificaciones de los materiales, la forma de ejecución y la definición de la forma de medición y abono.

105.3.1. Catálogo de daños y mapa de daños

Con el fin de identificar de manera inequívoca el estado de la estructura, el proyecto de reparación contendrá un catálogo de daños que, orientado a la elaboración del mapa de daños, incluirá:

- una denominación abreviada (un código corto de letras y números) para que se pueda incorporar al mapa de daños;
- una descripción sucinta pero suficiente del deterioro o daño objeto de reparación;
- unas fotografías o croquis suficientemente descriptivos del deterioro o daño correspondiente; y
- una identificación de la causa o causas que han producido estos deterioros o daños, aunque tengan orígenes diferentes pero manifestaciones similares y, sobre todo, se traten con la misma solución terapéutica.

El mapa de daños deberá incluir asimismo las referencias suficientes como para realizar la medición correspondiente y, en función de la posición de la zona objeto de reparación y de su accesibilidad, elaborar el correspondiente presupuesto.

105.3.2. Catálogo de soluciones de reparación

El proyecto contendrá una definición pormenorizada de los procedimientos de reparación de las estructuras metálicas de acero afectadas por todos y cada uno de los daños y deterioros tipificados en el catálogo de daños y localizado en el correspondiente mapa de daños.

105.4. Plan de Inspección y Mantenimiento

En consonancia con los principios establecidos en el Artículo 24, el proyecto de reparación contendrá, como el de obra nueva, un Plan de Inspección y Mantenimiento con los contenidos referidos a las actuaciones de reparación emprendidas, con mención específica a:

- la vida útil adicional prevista para la estructura reparada;
- la frecuencia deseable de las inspecciones de seguimiento de la estructura reparada;

- los criterios de inspección específicos que, en su caso, deban seguir los inspectores;
- las actuaciones de mantenimiento ordinario o especializado que, en su caso, deban realizarse.

De manera igualmente similar al caso de proyecto de obra nueva, una vez concluidos los trabajos, la dirección facultativa será responsable de la redacción de la actualización del plan de Mantenimiento incluido en el proyecto de reparación. Dicho plan se entregará a la propiedad para la gestión de la conservación de la obra.

Artículo 106. Criterios generales para el refuerzo de estructuras de acero

106.1. Contexto general y objeto

Las actuaciones de refuerzo de estructuras de acero comparten con las de reparación de estructuras del mismo material la necesidad de haber desarrollado un trabajo previo de estudio de la información disponible, de un análisis adecuado de evaluación estructural y de vida útil residual y, por tanto, del punto de partida, en términos de prestaciones y vida útil residual, para el correcto planteamiento del alcance y procedimiento de refuerzo.

El objeto de este artículo es establecer la sistemática que debe seguirse a la hora de proyectar y ejecutar el refuerzo de elementos estructurales de acero.

106.2. Clasificación de los refuerzos estructurales en piezas de acero

A los efectos de las estructuras existentes, los trabajos de refuerzo que cabe emprender se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Incremento de la capacidad de carga sin modificación de las secciones del elemento estructural.
- b) Incremento de la capacidad resistente de la sección o de la pieza.

106.3. Procedimientos de refuerzo de piezas de acero

A partir de la clasificación realizada en el apartado 106.2, se plantean los dos procedimientos siguientes de refuerzo de estructuras existentes de acero.

La valoración estructural de todos los estados posibles, el inicial, los de las fases constructivas y el final requieren de un pormenorizado estudio, normalmente más complejo que el de las estructuras de nueva ejecución, que incorpora la necesidad de modelizar adecuadamente nuevos materiales y procesos constructivos o estados de sollicitación que es preciso considerar cuidadosamente.

106.3.1. Refuerzo sin alterar la sección de la pieza

Es una estrategia que afecta al esquema estático global de la estructura y conduce a disminuir las solicitaciones del elemento afectado. Ello puede lograrse, por ejemplo, disminuyendo la carga muerta o sustituyéndola por soluciones ligeras, disponiendo apoyos intermedios en los vanos, o bien haciendo uso de pretensado exterior.

Esta forma de proceder obliga al proyectista a identificar los modos de fallo previsible, distintos, en general, de los correspondientes al esquema estático de partida, y a justificar la idoneidad de la solución, tanto en ELS como en ELU.

106.3.2. Refuerzo aplicado a la sección de la pieza

Se suele materializar con chapas o perfiles soldados o conectados mediante tornillos o roblones (excepcionalmente).

También esta solución exige la identificación de los modos de fallo previsible y sus correspondientes implicaciones en ELS y ELU, tanto en las piezas originales como en las piezas añadidas o en su conexión.

Para la elección de procedimiento más idóneo de refuerzo, se deberán tener en cuenta aspectos como:

- La entrada en carga y los mecanismos de transferencia.
- La historia de cargas previa y la derivada del proceso constructivo.
- Otros condicionantes de ejecución.

106.4. Proyecto de refuerzo

La redacción de los proyectos de refuerzo seguirá, como criterio general, el siguiente orden, coherente con los principios establecidos en este Código Estructural:

1. **Inspección especial previa** que, con carácter general, se habrá realizado antes de concluir en la necesidad de acometer un proyecto de refuerzo, como prevé el Artículo 24. Especialmente importante en este punto es valorar el nivel de seguridad, porque de éste depende el alcance y magnitud del refuerzo.
2. **Estudio de alternativas** de refuerzo, con el fin de disponer de distintas posibilidades de refuerzo, con sus ventajas e inconvenientes, incluidas las fases de construcción y de mantenimiento posterior.
3. **Redacción**, propiamente dicha, **de los documentos del proyecto**, cuyo carácter es ya relativamente convencional.

106.5. Plan y Programa de Inspección y Mantenimiento

En consonancia con los principios establecidos en el Artículo 24, el proyecto de refuerzo contendrá, como el de obra nueva, un Plan de Inspección y Mantenimiento con los contenidos referidos a las actuaciones de refuerzo emprendidas, con mención específica a:

- la vida útil adicional prevista para la estructura reforzada en su conjunto y la de sus elementos parciales, en su caso;
- la frecuencia deseable de las inspecciones de seguimiento de la estructura reforzada;
- la necesidad, eventualmente, de disponer un sistema de auscultación de seguimiento;
- los criterios de inspección específicos que, en su caso, deban seguir los inspectores;
- las actuaciones de mantenimiento ordinario o especializado que, en su caso, deban realizarse.

De manera igualmente similar al caso de proyecto de obra nueva, una vez concluidos los trabajos, la dirección facultativa será responsable de la redacción de un Programa de Inspección y Mantenimiento que complete o actualice las previsiones del Plan de Inspección y Mantenimiento incluido en el proyecto de reparación. Dicho Programa se entregará a la propiedad para la gestión de la conservación de la obra.

Capítulo 26

Deconstrucción de estructuras de acero

Contenidos del capítulo

ARTÍCULO 107. DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO	3
107.1 GENERALIDADES.....	3
107.2 TRABAJOS PREVIOS A LA DEMOLICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE ACERO	3
107.3 PROCESO DE DEMOLICIÓN DE LA ESTRUCTURA	4
ARTÍCULO 108. DECONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO	5

Artículo 107 Demolición de estructuras de acero

107.1 Generalidades

A los efectos de este Código, se entiende por demolición de una estructura de acero el conjunto de procesos de desmontaje o desmantelamiento de la estructura, en su totalidad o de una parte de misma, por decisión de la propiedad y como consecuencia de la finalización de su vida de servicio.

La propiedad será responsable de disponer de un proyecto específico para las actividades de demolición incluidas en este artículo, siempre que se den cualquiera de las siguientes circunstancias:

- a) se trate de la demolición de una estructura como consecuencia de un accidente, incendio o sismo,
- b) se trate de la demolición de una cubierta con estructura de acero, o cuando incluya elementos a flexión con luces de más de 10 m, o elementos verticales a compresión con alturas entre niveles superiores a 10 m.

Sin perjuicio de lo anterior, será de aplicación lo indicado en el apartado 80.1 para las estructuras de hormigón.

107.2 Trabajos previos a la demolición de la estructura de acero

Antes del inicio de los trabajos de demolición o deconstrucción de la estructura, la propiedad deberá disponer la realización de una inspección in situ de la estructura, de acuerdo a los mismos criterios establecidos en el apartado 77.2 para las estructuras de hormigón. Se prestará especial atención las uniones entre distintos elementos.

La propiedad deberá facilitar al proyectista los planos y la documentación disponible, en su caso, tanto de la estructura como del resto de la construcción.

A partir de la información disponible y de la inspección realizada, se elaborará el proyecto de demolición que deberá contemplar, entre otros, los siguientes aspectos:

- a) descripción de la estructura e identificación de las características del resto de la construcción, en su caso (por ejemplo, del edificio), con especial detalle de su esquema estructural resistente y de los materiales existentes;
- b) identificación de los servicios públicos que potencialmente pudieran verse afectados por la demolición;
- c) identificación de potenciales productos tóxicos o peligrosos para la salud generados durante la demolición, tales como asbestos, polvo de fibras sintéticas minerales, polvo de plomo, etc., así como la definición de procedimientos de gestión de dichos residuos, en su caso;
- d) evaluación de los riesgos de afección a las construcciones adyacentes y, en su caso, medidas para evitarlos;
- e) definición de la secuencia de demolición prevista para la estructura;
- f) definición de los medios previstos para demolición de cada parte;

- g) definición de los sistemas necesarios, en su caso, para garantizar la estabilidad del conjunto durante la demolición como, por ejemplo, apuntalamientos, apoyos provisionales, etc.;
- h) memoria y cálculos de las comprobaciones estructurales realizadas, en su caso;
- i) medidas de protección específicas tanto para el personal involucrado en las tareas de demolición, como para terceras personas que pudieran verse afectadas por la misma;
- j) sistema previsto para la gestión de los residuos generados durante la demolición.

En el caso de estructuras de acero, en función de su tipología, su estado y la concepción de sus uniones, la secuencia de demolición puede ser especialmente sensible para la seguridad, por lo que el proyecto deberá analizar las situaciones generadas durante el proceso, habilitando en su caso los apuntalamientos, apoyos provisionales o cualquier otro sistema que se estime como necesario durante la demolición.

107.3 Proceso de demolición de la estructura

Como criterio general, todas las actividades de demolición deberán realizarse conforme al proyecto y estar encaminadas a:

- preservar la seguridad del personal, evitando situaciones imprevistas que puedan afectar a la seguridad, y
- gestionar los residuos producidos de la manera más eficiente posible que en el caso de los elementos de acero, debe tender a la reciclabilidad de la totalidad de los mismos, en la línea de lo establecido en el Artículo 108.

Previamente al inicio de la demolición, el constructor deberá presentar a la propiedad el correspondiente estudio de seguridad y salud del personal involucrado en las actividades de demolición, que contemple las medidas específicas a tener en cuenta a la vista de las particularidades de la estructura y de las consideraciones del proyecto.

En general, el constructor podrá utilizar cualquiera de los métodos recogidos como aceptables en el proyecto de demolición. Entre ellos, cabe destacar los siguientes:

- a) técnicas manuales,
- b) técnicas de percusión (por ejemplo, martillo neumático),
- c) técnicas de impacto (por ejemplo, bola de demolición),
- d) técnicas de abrasión (por ejemplo, chorro de agua a alta presión),
- e) uso de maquinaria pesada (por ejemplo, retroexcavadoras, pinzas de demolición, etc.),
- f) uso de explosivos, etc.

Asimismo, previamente al inicio de la propia demolición de la estructura se valorará la conveniencia de realizar otra serie de tareas de desmantelamiento de la construcción que, sin afectar a la estructura, pudieran provocar accidentes durante la demolición.

En el caso de uso de explosivos para la demolición, se estará a lo dispuesto en la legislación vigente que sea de aplicación.

Se procurará evitar situaciones provisionales como consecuencia de demoliciones parciales que pudieran llegar a comprometer el comportamiento global de la estructura, por ejemplo, en caso de sismo. Asimismo, en dichos casos de demolición parcial, deberá asegurarse que no quedan afectadas aquellas partes de la estructura que sean objeto de demolición, protegiéndolos adecuadamente, si ello fuera necesario.

Artículo 108 Deconstrucción de estructuras de acero

Se entiende por deconstrucción de la estructura de acero al proceso ordenado de demolición de la estructura, de acuerdo con el correspondiente proyecto y con la finalidad de optimizar la reutilización de los propios elementos estructurales, en su caso, así como la separación, recogida selectiva y reciclado de los residuos generados.

Con carácter general serán de aplicación en estos casos, las prescripciones establecidas en el Artículo 107 para la demolición, si bien en este caso será necesario adoptar algunas medidas adicionales encaminadas a posibilitar la reutilización de los elementos y el reciclado de los materiales, según el caso.

Dadas las características de las estructuras de acero y la potencialidad de reciclado de sus elementos, a los efectos de este Código, se entiende que cualquier desmantelamiento de la estructura debe consistir en su deconstrucción, salvo que existan razones justificadas que no lo aconsejen, de acuerdo con lo contemplado en el correspondiente proyecto.

La ejecución de la deconstrucción de la estructura deberá llevarse a cabo por un constructor que esté en posesión de una certificación medioambiental de conformidad con la norma UNE EN ISO 14001.