# Capítulo 21

# Fabricación y montaje de las estructuras de acero

# 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 3 y 4.

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 marcado 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 contragiros 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 groeras 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, arriostramientos 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 norma 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 norma UNE-EN 1090-2 sobre el particular.

### 91.4.3 Corte

El corte puede realizarse por procedimientos mecánicos: sierra, disco, cizalla; o térmico: plasma, oxicorte (manual o 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 los párrafos siguientes.

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 norma UNE-EN ISO 9013. Los test de dureza Vickers se rigen por la norma 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 norma 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 la norma UNE-EN 1090-2 sobre el particular. No estará permitido el punzonado en elementos sometidos a solicitaciones 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 apartado 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 norma 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

Las condiciones del emplazamiento para el montaje de las estructuras de acero formarán parte de la información recogida en el Plan de seguridad y salud en el trabajo regulado en el artículo 7 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. Esta información, sin perjuicio de lo establecido en el mencionado real decreto, debería contemplar, entre otros, 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 asientos 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 0º 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 cimiento. 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/exterior; 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 el apartado 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 consideradas 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 la norma 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, $N_0$ (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 afección a los ritmos y secuencias de fabricación y montaje de la estructura.

Solo 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, entendiendo 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:

$$M_t = 0{,}18\ d\ N_0$$

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 Anexo 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 propiciar 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 |
| 2 d <$t$ < 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 $\mu$ |
|---|---|---|
| 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 Anexo 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 Anexo J 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 del Anexo A de la parte 1 de dicha norma.

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 estas 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 soldeo

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

Cualquier otro proceso de soldeo debe constar explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas particulares y ser aprobado por la dirección facultativa.

## 94.4 Cualificación del procedimiento de soldadura

### 94.4.1 Procedimiento de soldeo

El soldeo debe realizarse con procedimientos cualificados utilizando una especificación del procedimiento de soldeo (WPS) de acuerdo con la parte correspondiente de las normas UNE-EN ISO 15609 o UNE-EN ISO 14555, según proceda.

En el caso de chapas con imprimación, la cualificación debe realizarse con el mayor espesor de capa aceptado.

La cualificación de procedimientos para el soldeo de espárragos se deberá realizar con la norma UNE-EN ISO 14555.

### 94.4.2 Cualificación de soldadores y operadores de soldeo

Los soldadores y operadores de soldeo deberán estar cualificados para las uniones que realicen, según la norma UNE-EN ISO 9606-1 o UNE-EN ISO 14732 respectivamente. Para los operadores de soldeo que aplican el proceso de soldeo 78 (soldeo de espárragos) solo se permite los métodos de cualificación descritos en los apartados 4.2.1 y 4.2.2 de la norma UNE-EN ISO 14732.

La documentación acreditativa de la cualificación de los soldadores deberá archivarse y quedar disponible para verificación. La susodicha cualificación acorde con UNE-EN ISO 9606-1 para soldadores, o según 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.

### 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 “Soldeo 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, estas 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 solo 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 solo 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.

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

| Tipo de defecto | Límite del defecto |
|---|---|
| Mordedura (5011 y 5012)(1) | No permitido |
| Exceso de sobrespesor (502)(1) | < 2 mm |
| Ángulo de sobrespesor (505)(1) | < 165º |
| Poro interno o sopladura (2011 a 2014)(1) | <0,1 del espesor de garganta; máx. 2 mm |
| Inclusión sólida (300)(1) | Ancho inferior a 0,1 del espesor de garganta; máx. 1 mm<br>Largo inferior al espesor de garganta; máx. 10 mm |
| Falta de alineación (507)(1) | < 0,05 t; máx. 2 mm |
| Rechupe de raíz (515)(1) | No permitido |

(1) Número de referencia según la norma UNE-EN ISO 6520-1. Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos Parte 1: Soldeo por fusión.

Tabla 94.6.c Requisitos adicionales para tableros de puente[a] [b]

| | |
|---|---|
| Porosidad y sopladuras (2011, 2012 y 2014)(1) | Solo 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 solo localmente<br>$h \leq 0{,}3$ mm, + 0,1 *a,* pero máx. 1 mm |
| Discontinuidades múltiples en una sección transversal (nº 4.1) | Prohibidas |
| Inclusiones sólidas (300)(1) | Prohibidas |

[a] Los símbolos se definen en la norma UNE-EN ISO 5817.

[b] Estos requisitos son adicionales para B+.

(1) Número de referencia según la norma UNE-EN ISO 6520-1. Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos. Parte 1: Soldeo por fusión.

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 las normas UNE-EN ISO 8504-1 y UNE-EN ISO 8504-2 para el chorreado y la norma 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 substrato a pintar deberá estar 3ºC 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 450ºC. 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 la norma 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 la norma UNE-EN ISO 12944-4. Por último, se aplican capas bases y de acabado en función de la agresividad del medio, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 12944-5 (tabla A7).

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 la norma UNE-EN 10346, deben especificarse en un espesor o masa del recubrimiento adecuado a la categoría de corrosividad ambiental, según la norma 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 la norma 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 83.2.3 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 la norma UNE-EN 10025.