



TÍTULO 6.º EJECUCIÓN

CAPÍTULO XVI

FABRICACIÓN EN TALLER

Artículo 75 Fabricación en taller

75.1. Generalidades

Este Capítulo, y en el ámbito de esta Instrucción, establece los requisitos mínimos de ejecución adecuados al nivel previsto de seguridad, que proporcionan los criterios de proyecto de esta Instrucción.

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 esta Instrucción.

Entre las estructuras que merecen una ejecución más cuidadosa se encuentran las que, de acuerdo con el apartado 6.2 pertenecen a las clases de ejecución 4 y 3.

75.2. Planos de taller

El constructor, basándose en los planos de proyecto, realizará los planos de taller para definir completamente todos los elementos de la estructura de acero, debiendo comprobar en obra las cotas de replanteo y la compatibilidad con el resto de la construcción.

75.2.1. Contenido

Los planos de taller contendrán en forma completa:

- Las dimensiones necesarias para definir inequívocamente todos los elementos de la estructura.
- Las contraflechas de las vigas cuando estén previstas.
- La disposición de las uniones, incluso las provisionales.



- El diámetro de los agujeros de los tornillos, con indicación de la forma de mecanizado. Clase y diámetro de los tornillos.
- La forma y dimensiones de las uniones soldadas, preparación de bordes, procedimiento y posición de soldeo, material de aportación y orden de ejecución si es este necesario.
- Las indicaciones sobre mecanizado o tratamiento de los elementos que lo precisen.
- Los elementos auxiliares (orejetas, plantillas, gálibos de armado, agujeros, etc) para fijación, volteo, enderezado o izado de los elementos metálicos principales, indicando posición y conexión a otros elementos, así como el posible saneo posterior a su eliminación.
- La posición y radio de groeras para el cruce de soldaduras.

Todo plano de taller llevará indicados los perfiles, clase de acero, pesos y marcas de cada uno de los elementos de la estructura representados en él.

75.2.2. Revisión y modificaciones

El constructor, antes de comenzar la ejecución en taller, entregará dos copias 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.

Si el proyecto se modifica durante la ejecución de los trabajos, los planos de taller se rectificarán para que la obra terminada quede exactamente definida por estos planos.

Si durante la ejecución fuese necesario introducir modificaciones de detalle respecto a lo definido en los planos de taller, se harán con la aprobación de la dirección facultativa y se incluirán en los planos.

75.3. Preparación del material

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

Se deberán eliminar mediante métodos apropiados los defectos superficiales de los productos como rebabas, fisuras y en el caso de que así lo indique el tratamiento de protección la cascarilla de laminación. Si esta acción diese lugar a la detección de defectos ocultos en la recepción de material, tales como inclusiones, sopladuras, mermas fuera de tolerancia, etc. se procederá a reconsiderar dicha recepción caso de que no resulte factible la corrección.

75.3.1. 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 XXI y el eventual almacenamiento o acopio previo al montaje.

El marcado deberá ser realizado preferiblemente mediante pintura. Para elementos no sometidos a solicitaciones de fatiga o a fuertes tensiones de tracción, como pueden ser los de clases de ejecución 2 y 1, la dirección facultativa podrá autorizar el marcado mediante prensa o troquel.

En el almacenamiento se cuidará especialmente que los elementos no se vean afectados por acumulaciones de agua, ni estén en contacto directo con el terreno y se mantendrán las condiciones de durabilidad del Artículo 31 y del apartado 79.2.

Asimismo se tomarán las precauciones pertinentes para el almacenamiento de los elementos auxiliares tales como tornillos, electrodos, pinturas, etc., para los que se seguirán las instrucciones dadas por el fabricante de los mismos.

75.3.2. Enderezado

Previamente a la ejecución de otras actividades debe asegurarse el cumplimiento de las tolerancias del Capítulo XVIII por lo cual cabe la posibilidad de que sea necesario corregir las desviaciones mediante enderezado.

Para ello se utilizarán prensas o máquinas de rodillos para chapas y perfiles. Para perfiles ligeros de gran esbeltez puede también utilizarse el estirado.

Si el enderezado no pudiese ser realizado en frío mediante los procedimientos indicados se realizará según lo indicado en el apartado 75.3.4.

75.3.3. Corte

El corte debe realizarse por medio, entre otros, de sierra, cizalla u oxicorte. Siempre que el acabado quede libre de irregularidades y no se produzcan endurecimientos locales superiores a 380HV10, no será necesario un mecanizado posterior.

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

Son preferibles los procedimientos de sierra, plasma y oxicorte automático frente a los de cizalla y oxicorte manual. En las clases de ejecución 4 y 3 no se utilizará este último procedimiento a menos que vaya seguido de mecanizado. El autor del proyecto o la dirección facultativa podrán establecer el método de corte a emplear en las clases 2 y 1.

Con autorización expresa de la dirección facultativa, la cizalla puede ser utilizada hasta espesores de 25 mm, si bien se procederá al mecanizado obligatorio en piezas de cualquier espesor de clase de ejecución 4 y en las de clase 3 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.

Los cortes de las chapas y perfiles se realizarán de manera que no queden ángulos entrantes con arista viva a fin de evitar el efecto de entalla. Los ángulos entrantes se



redondearán en su arista con un radio mínimo de 5 mm. En el caso de estructuras de clase de ejecución 4 y 3 el radio mínimo será 8 mm.

75.3.4. 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.

Cuando se realice el plegado o curvado en frío se respetarán los radios mínimos recomendados en UNE-EN 10025. Caso de no cumplirse las tablas de dicha norma y siempre que no se supere en la fibra más traccionada un alargamiento igual a la cuarta parte del de rotura del material se deberá redactar un procedimiento específico en el que se indique el tratamiento térmico a aplicar y las medidas de control oportunas. No se permite la conformación en caliente de aceros con tratamiento termomecánico (UNE- EN 10025-3 y UNE-EN 10025-4), ni tampoco de los templados y revenidos a menos que se cumplan los requisitos de UNE-EN 10025-6:2007+A1.

Para la conformación en caliente se deberán seguir las indicaciones del suministrador, especialmente en el caso de aceros de grano fino. La duración y velocidad tanto del trabajo mecánico como del enfriamiento deben ser adecuadas para evitar el deterioro de la tenacidad y resistencia del acero. En particular se prohíbe cualquier manipulación en el intervalo de color azul (de 250°C a 380°C). La operación de plegado o curvado se llevará a cabo a temperatura de rojo cereza claro (de 950°C a 1050°C) y se interrumpirá si baja a rojo sombra (alrededor de 700°C.) La determinación de la temperatura de trabajo deberá ser constatada de forma eficaz.

Observando las limitaciones anteriores puede realizarse la corrección de forma mediante la aplicación controlada de calor por soplete.

Cualquier proceso de conformado será objeto de un procedimiento elaborado por el constructor, que deberá ser aprobado por la dirección facultativa. Esta podrá establecer los ensayos o procedimientos de control oportunos para garantizar la adecuación del proceso, especialmente si se recurre a la aplicación de calor por soplete en estructuras de clase de ejecución 3 y 4.

75.3.5. Perforación

Los agujeros para tornillos pueden realizarse mediante taladrado o punzonado. La perforación puede hacerse a diámetro definitivo o a diámetro reducido en 2 mm, mediante un esariado posterior.

Sólo se admite el punzonado a diámetro definitivo en el caso de que no se den cargas de fatiga. El espesor del material será inferior a 25 mm y el diámetro del agujero no superará dicho espesor.

En piezas sometidas a cargas de fatiga, clase de ejecución 4, los agujeros se ejecutarán con taladro.

Cuando se trate de agujeros para tornillos de cabeza avellanada el ángulo de avellanado debe ser idéntico al de la cabeza de los mismos.



Los agujeros rasgados podrán ser punzonados de una vez o bien taladrados con dos agujeros, pero requieren un posterior acabado para asegurar el desplazamiento del tornillo a lo largo del óvalo en el caso de que se haya previsto dicho deslizamiento, además se mecanizará.

Siempre que sea posible se recomienda taladrar a la vez los agujeros de las dos piezas de una misma unión.

Las rebabas deben eliminarse de los agujeros antes del armado, excepto cuando los agujeros están taladrados en una sola operación a través de los elementos unidos firmemente entre sí que no necesitan separarse después del taladrado.

El pliego de prescripciones técnicas particulares debe indicar si la estructura pertenece total o parcialmente a alguna clase de ejecución de las señaladas en el apartado 6.2, como de fabricación más cuidadosa. En ese caso se deberán corregir los bordes de agujeros que alcancen una dureza local superior a 380HV10 para las clases 4 y 3.

75.4. Ensamblado previo en taller

Esta operación consiste en presentar los elementos elaborados en taller y proceder a su ensamblado previo al montaje en obra. Se deberá obtener una coincidencia de uniones dentro de las tolerancias aplicables del Artículo 80, sin forzar o dañar los elementos.

Se deberá comprobar el ajuste de las superficies de apoyo por contacto en cuanto a dimensiones, ortogonalidad y planeidad.

Cumpliendo las tolerancias aplicables es aceptable utilizar el mecanizado por sierra de las superficies de contacto.

Los agujeros desalineados o no coincidentes se pueden corregir mediante escariado si caen dentro de los límites definidos en el apartado 76.2; en caso contrario, se rechazarán los elementos afectados. Para evitar estos inconvenientes se recomienda el uso de plantillas o el taladrado conjunto.

En uniones con soldaduras a tope se deberá comprobar que las tolerancias geométricas entre las preparaciones de borde están dentro de las exigencias aplicables a los tipos de soldadura previstos.

En todas las uniones o piezas provisionales utilizadas en el armado en taller se adoptarán las adecuadas medidas de seguridad y se aplicarán los criterios de esta Instrucción como si se tratasen de elementos definitivos a instalar en obra.

Se observarán todos los requisitos relativos a contraflechas o ajustes previos indicados en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Cuando por razones de espacio no sea posible el ensamblaje de ciertos tramos en taller, podrán elaborarse plantillas para conseguir el adecuado ensamblaje de las piezas adyacentes.



Artículo 76 Fijación con elementos mecánicos

76.1. Generalidades

En esta Instrucción 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 Artículo 58 y las de los materiales utilizados que se contienen en el Artículo 29. 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 apartado 58.2, de modo que pueda elaborar los planos de taller con las disposiciones constructivas que permiten cumplir las hipótesis consideradas en el cálculo.

76.2. 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.
 - 4 mm para tornillos M14 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 media 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.

76.3. 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.

En ese caso se pueden utilizar tornillos roscados hasta la cabeza. Lo anterior no es aplicable a los tornillos calibrados.

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

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

76.4. 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 29.

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.

76.5. 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 bajo la parte que vaya a girar en el apriete, cabeza de tornillo o tuerca. Es recomendable hacer extensivo este requisito a la parte fija, especialmente en el supuesto indicado anteriormente para los tornillos no pretensados de proteger los recubrimientos. Las arandelas planas o achaflanadas a utilizar con tornillos pretensados deberán cumplir con 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.

76.6. 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 29. En esta clase de uniones se incluyen las placas bases con pernos de anclaje en hormigón.



76.7. 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 29. 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 76.7. 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.

76.7.1. 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 (es práctica habitual en tornillería galvanizada la utilización de lubricantes a base de bisulfuro de molibdeno o cera de abejas para reducir la magnitud del coeficiente de rozamiento interno hasta valores similares a los de los tornillos sin galvanizar).

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 artículo 8.5.2 de la norma EN 1090-2.
- b) El par torsor se determinará mediante ensayo según anejo H de 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 UNE-EN 14399-2.

76.7.2. Método de la arandela con indicación directa de tensión

Este método consiste en utilizar arandelas especiales, de acuerdo con la norma 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.

Deben observarse las indicaciones del fabricante y seguir los requisitos del anejo J de la norma EN 1090-2 con respecto a planeidad y promedios de holguras.

76.7.3. 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 UNE-EN 14399-2.

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



Tabla 76.7.3. Giro complementario en función del espesor de la unión

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

76.8. 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 limpieza con soplete.

En la tabla adjunta 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 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 76.8. Valores del coeficiente de rozamiento en función del tratamiento superficial

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

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

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

76.9. 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 esta Instrucción, 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 esta Instrucción podrán ser utilizados 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.



76.10. Utilización de tipos especiales de tornillos

76.10.1. 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.

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

76.10.2. Tornillos calibrados y bulones

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

Sus características mecánicas deben cumplir el apartado 29.2 y su tolerancia será la correspondiente a clase H13 de UNE-EN 20286-2 (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 UNE-EN 20286-2 (ISO 286-2). Si un bulón o pasador no requiere la condición de calibrado, se le aplicará la holgura definida en el apartado 76.2.

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.

76.10.3. Tornillos de inyección

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

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

Su utilización será conforme a lo establecido en el anejo J de EN 1090-2.



Artículo 77 Soldadura

77.1. Introducción

Los requisitos de calidad para el soldeo que se han de aplicar en cada clase de ejecución según UNE-EN ISO 3834 serán los recogidos en la tabla 77.1.

Tabla 77.1. 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

77.2. Plan de soldadura

Se deberá disponer de un plan de soldadura aplicable a los aceros definidos en el Capítulo VI 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.

El plan de soldadura incluirá los aspectos siguientes que sean pertinentes:

- Detalle de la unión.
- Tamaño y tipo de la unión.
- Especificaciones tales como tipo de electrodo y precalentamiento.
- Secuencia de soldeo, limitaciones a la soldadura discontinua o comprobaciones intermedias.
- Cualquier giro o volteo de la pieza necesarias para el soldeo.
- Detalle de fijaciones provisionales.
- Disposiciones frente a desgarro laminar.
- Referencia al plan de inspección y ensayos.
- Todos los requisitos para identificación de soldaduras.

77.3. Proceso de soldadura

Todo proceso de soldadura a aplicar a las uniones deberá estar incluido entre la siguiente relación y ser acorde con la definición indicada en UNE-EN ISO 4063.

- 111. Soldero por arco con electrodo revestido.
- 114. Soldero por arco con alambre tubular autoprotegido.



- 121. Soldeo por arco sumergido con alambre electrodo macizo.
- 122. Soldeo por arco sumergido con banda electrodo.
- 131. Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas inerte; soldeo MIG.
- 135. Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas activo; soldeo MAG.
- 136. Soldeo por arco con alambre tubular relleno de fundente y protección de gas activo; soldeo MAG.
- 141. Soldeo por arco con gas inerte y electrodo consumible macizo; soldeo TIG.
- 783. Soldeo de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección.
- 784. Soldeo de espárragos por arco inducido de ciclo corto.

Cualquier otro procedimiento deberá constar explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas.

77.4. Cualificación del proceso de soldadura

77.4.1. Procedimiento de soldeo

El soldeo deberá ejecutarse de acuerdo con un procedimiento cualificado según UNE-EN ISO 15609-1. El método para cualificar dicho procedimiento será cualquiera de los establecidos en las diferentes partes de UNE-EN ISO 15609-1, a menos que el pliego de prescripciones técnicas particulares especifique algún método diferente que en todo caso deberá detallar. Si el pliego de prescripciones técnicas así lo indica, se procederá a la cualificación del procedimiento de soldeo por medio de ensayos previos de acuerdo con UNE-EN ISO 15614-1.

Para procesos automáticos con chapas que llevan incorporada la imprimación de taller y para soldadura con penetración profunda realizada en una sola pasada es obligatoria la citada cualificación mediante ensayo previo a la producción. En el caso de chapas con imprimación deben de realizarse con el mayor espesor de capa aceptado. Si un procedimiento cualificado mediante ensayo no ha sido utilizado durante un periodo superior a tres años deberá procederse a inspeccionar una muestra a escala real de una prueba de producción para aceptar dicho procedimiento.

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

77.4.2. Cualificación de soldadores



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

La documentación acreditativa de la cualificación por examen de los soldadores deberá archivar y quedar disponible para verificación. La susodicha cualificación acorde con UNE-EN 287-1, ó según EN 1418 para operadores de soldeo, deberá estar certificada por un organismo acreditado a juicio de la dirección facultativa.

77.4.3. 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 UNE-EN ISO 14731.

77.5. Preparación y ejecución de la soldadura

77.5.1. Preparación de bordes

La preparación de bordes de las piezas a unir con soldadura a tope tiene por objeto asegurar la penetración 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.

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 proceso de soldeo. La elección del tipo adecuado es responsabilidad del coordinador de soldeo. En UNE-EN ISO 9692-1 se indican los tipos más recomendables para varios procesos.

Las desviaciones de forma y ajuste entre caras deben ser inferiores a las admisibles indicadas en el proceso de soldeo particular. Cualquier corrección de defecto debido a entalladura o error en la geometría de la junta mediante recargue de soldadura debe estar contemplado en el proceso 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.

77.5.2. 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. UNE-EN ISO 3834 incluye un punto en el que desarrolla la actividad de almacenamiento de consumibles y material base.



77.5.3. 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.

77.5.4. 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 Capítulo XVIII. En todo caso puede recurrirse al enderezado que se indica en el apartado 77.5.13.

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.

77.5.5. 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.

La extensión del precalentamiento alcanzará por lo menos 75 mm a cada lado de los elementos a unir. También se debe considerar la conveniencia del precalentamiento en las uniones de soldaduras de punteo y provisionales especialmente en el caso de elementos de espesores muy diferentes entre sí.

El valor 380HV10 de dureza superficial en la zona afectada por el calor es un límite superior por encima del cual se incrementa el riesgo de rotura frágil. En los ensayos de procesos de soldadura hay que evitar ese valor. 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.

77.5.6. 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.

77.5.7. 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.

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 77.4.2, a menos que no queden englobados en la soldadura definitiva.

En ese caso dichas soldaduras deberán ser eliminadas.

77.5.8. 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.

77.5.9. Soldaduras a tope

77.5.9.1. Generalidades

El acabado de la superficie de cordones de soldaduras a tope debe ser tal que garantice una soldadura sana que mantenga el espesor de garganta considerado.

El pliego de prescripciones técnicas particulares debe indicar cuando 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.

77.5.9.2. Soldaduras por un solo lado

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

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

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

77.5.9.3. 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 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.

77.5.10. 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.

77.5.11. Soldadura de conectadores

Los conectadores (espárragos) cumplirán UNE-EN ISO 13918 y se situarán en zonas libres de herrumbre, cascarilla de laminación y grasa y 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.

77.5.12. Tratamiento post-soldadura

En estructuras sometidas a cargas de fatiga puede resultar ventajoso aplicar procedimientos de atenuación de tensiones residuales mediante tratamientos térmicos. En ese caso el constructor deberá demostrar en el plan de soldadura que el tratamiento propuesto está de acuerdo con el pliego de prescripciones técnicas particulares.

77.5.13. 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.



77.5.14. Ejecución en taller 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.

77.6. Criterios de aceptación de soldaduras

Los elementos constituidos por soldaduras deben cumplir los requisitos de tolerancias indicados en el Artículo 80.

A menos que el pliego de prescripciones técnicas particulares indique otra cosa, los criterios de aceptación de soldaduras se basarán en 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 77.6.a.

Tabla 77.6.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 (5011, 5012), solapamiento (506), cebado del arco (601) y rechupe de cráter abierto (2025)
Clase 3	Nivel B
Clase 4	Nivel B y requisitos complementarios

Los requisitos complementarios para la clase 4 de ejecución se indican en la tabla 77.6.b; se deben al hecho de que para esta clase de ejecución es necesario tener en cuenta aspectos relacionados con la fatiga. Para tableros de puente debe aplicarse además un conjunto de requisitos más severos, tanto en las soldaduras ejecutadas en taller como en obra. En EN 1090-2 se establecen dichos requisitos.



Tabla 77.6.b. Requisitos complementarios para la clase de ejecución 4

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

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.