



Escola Tècnica Superior d'Enginyers  
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## PROJECTE O TESIS D'ESPECIALITAT

**Títol**

**Reglas de ejecución para estructuras metálicas ligeras**

**Autor/a**

**Borja Zornoza de Solinís**

**Tutor/a**

**Alfredo Arnedo Pena / Natividad Pastor Torrente**

**Departament**

**Enginyeria de la Construcció**

**Intensificació**

**Estructuras Metálicas**

**Data**

**Mayo 2009**

## **REGLAS DE EJECUCIÓN PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS LIGERAS**

**Autor:** *Borja Zornoza de Solinís*

**Tutores:** *Alfredo Arnedo Pena (UPC)*  
*Natividad Pastor Torrente*

### **RESUMEN**

En el contexto de la Comunidad Europea, se han elaborado durante las dos últimas décadas los Eurocódigos como normas armonizadas dentro del campo de la construcción. Estas normas europeas acabarán sustituyendo a los reglamentos nacionales.

Las normas de diseño de las estructuras metálicas quedan recogidas en el Eurocódigo 3. Con el fin de tener una norma de ejecución coherente con esta norma de diseño- el Eurocódigo 3- se creó la norma ENV 1090 de ejecución de estructuras de acero. Esta norma estaba dividida en 6 bloques, dedicados a los distintos tipos de estructuras de acero (edificación, acero conformado en frío, acero inoxidable, puentes, etc.). En diciembre de 2008 se aprobó una nueva versión de la norma que unificaba los bloques de la versión anterior: la norma EN 1090-2 *“Ejecución de estructuras de acero y aluminio – Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero”*.

Este trabajo parte desde este punto y se centra en el estudio de las normas de ejecución de las estructuras ligeras de acero, formadas a partir de elementos y chapas de paredes delgadas conformados en frío.

El reglamento en Europa para el proyecto de las estructuras ligeras de acero es el Eurocódigo 3 parte 1.3 y su antigua norma de ejecución era la ENV 1090-2 *“Ejecución de estructuras de acero – Parte 2: Reglas suplementarias para chapas y piezas conformados en frío”*. En la nueva EN 1090-2 todos los requisitos de ejecución particulares de este tipo de estructuras están mezclados con los demás. Por este motivo, este trabajo se ha basado en la elaboración de un extracto de la norma que recopile las reglas aplicables a las estructuras ligeras de acero, como si se tratase de una versión actualizada de la ENV 1090-2. La versión traducida de la EN 1090-2 está pendiente de aprobación en España por parte de AENOR.

Dada la poca formación académica en materia de ejecución de los técnicos de estructuras y de sus normas, se ha pretendido dar al presente trabajo una finalidad didáctica. Por ello, el extracto se ha elaborado como norma comentada. Estos comentarios contienen aclaraciones, descripciones de procedimientos de trabajo y materiales utilizados en la construcción ligera y definiciones de términos, entre otras cosas. Para completar la visión de estas estructuras, se ha realizado una descripción general de la tipología de estas estructuras y su historia, y se ha analizado el conjunto de normas que se aplican al diseño y ejecución a nivel español, europeo y americano.

Por último, se ha confeccionado un estudio de dos soluciones particulares en la ejecución de estructuras ligeras de acero: las juntas de dilatación y los tratamientos de protección de superficies. Además, se han elaborado dos modelos de encuesta que podrían utilizarse en un futuro trabajo como base para hacer un profundo estudio de la opinión y el conocimiento que tienen las empresas del sector sobre la norma de ejecución EN 1090-2.



## **EXECUTION RULES FOR COLD-FORMED STEEL STRUCTURES**

**Author:** *Borja Zornoza de Solinís*

**Advisors:** *Alfredo Arnedo Pena (UPC)*  
*Natividad Pastor Torrente*

### **ABSTRACT**

In the context of the European Community, Eurocodes have been produced as harmonized standards in the construction field. They are going to replace the national regulations.

Design standards of steel structures are compiled in the Eurocode 3. The European standard ENV 1090 was created in order to have an execution standard consistent with this design standard, the Eurocode 3. This standard was divided in six parts, each one dedicated to different kind of steel structures (buildings, cold formed steel, stainless steel, bridges, etc.). On December 2008 a new version of this standard, which supersedes all parts of the ENV 1090, was approved. This standard is EN 1090-2 *“Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for the execution of steel structures”*.

This work starts from this point and it is focused on the study of execution standards of light steel structures with cold formed thin gauge components and sheeting.

The European design standard of light steel structures is the Eurocode 3 part 1.3 and their old execution standard was ENV 1090-2 *“Execution of steel structures – Part 2: Rules for cold formed thin gauge members and structural sheeting”*. In the new EN 1090-2 all execution requirements for these particular structures are mixed with the rest. For this reason this work is based on the development of a standard extract which compiles applicable rules for light steel structures as if it were an updated version of ENV 1090-2. The translated version of EN 1090-2 is waiting for the publication in Spain by AENOR.

Given the poor academic education of engineers with respect to structures execution and its standards, this work attempts to be a didactic document. As a result standard extract has been developed as a commented standard. These comments contain explanations, descriptions of work procedures and constituent products used in light construction and term definitions, among others. In order to complete the view of light steel structures, a general description of typology of this structures and their history has been carried out, and an analysis of the standards that are applied to their design and execution in Spain, Europe and North America has been carried out as well.

Finally, a study of two particular solutions in the execution of light steel structures has been done: one about the movement joints and the other about surface protection treatment. Besides, two survey models have been elaborated which could be used as a basis of a future work aimed to carry out a deep study of the opinion and knowledge of the companies in the field of light steel structures about the execution standard EN 1090-2.



## *AGRADECIMIENTOS*

*Mi más sincera gratitud a mi tutor Alfredo Arnedo,  
por su colaboración y aportes a mi tesina,  
y a mi tutora externa Nati Pastor,  
por la gran paciencia, el tiempo dedicado y su ayuda;  
ellos me han facilitado la consecución de la tesina.*

*A mi familia, por estar a mi lado  
y bajarme de las nubes cuando me distraía demasiado,  
y a mis amigos,  
por estar allí cuando los he necesitado,  
por los buenos ratos vividos todos estos años.*



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. LA CONSTRUCCIÓN LIGERA.....</b>	<b>10</b>
1.1.1. Aplicaciones .....	10
1.1.2. Ventajas y desventajas .....	14
1.1.3. Evolución .....	16
1.1.5. La prenorma ENV 1090 y la norma EN 1090 .....	20
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
<b>2. EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2.....</b>	<b>26</b>
<b>3. LA EJECUCIÓN DE ESTRUCTURAS LIGERAS .....</b>	<b>129</b>
<b>3.1. ASPECTOS PARTICULARES DE EJECUCIÓN DE ESTRUCTURAS LIGERAS .....</b>	<b>129</b>
3.1.1. Juntas de dilatación .....	129
3.1.2. Acabados de las chapas y perfiles ligeros .....	132
<b>3.2. ENCUESTA .....</b>	<b>136</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>144</b>
4.1. RESUMEN DEL TRABAJO .....	144
4.2. CONCLUSIONES.....	144
4.3. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	146
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>147</b>
<b>REFERENCIAS FIGURAS.....</b>	<b>152</b>



## Capítulo 1

# Introducción y objetivos

En la construcción con acero, hay dos ramas principales de elementos. Una es la rama de elementos laminados en caliente. La otra está compuesta por elementos conformados en frío a partir de chapas, flejes o bandas de acero en máquinas perfiladoras o mediante operaciones de prensado o curvado.

Los elementos conformados en frío se utilizan para multitud de aplicaciones (chasis de vehículos, torres de alta tensión, electrodomésticos, estanterías, pantallas de cimentación, láminas plegadas o paraboloides hiperbólicos usados en cubiertas, etc.). No obstante, en el presente trabajo nos limitaremos a hablar de aquellos elementos empleados en la edificación y cuyo proyecto queda recogido en el Eurocódigo 3 parte 1.3.

La normativa de ejecución de estructuras ligeras vigente hasta la fecha (25 de abril de 2009) en España ha sido la prenorma ENV 1090-2: "Ejecución de estructuras de acero. Parte 2: Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío". En diciembre de 2008 se publicó la versión definitiva de la norma EN 1090-2: "Ejecución de estructuras de acero y aluminio - Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero", que deberá aplicarse en el ámbito europeo. Está pendiente la publicación de la versión traducida en España por parte de AENOR.

NOTA En el apartado 1.1.5.3 se da una relación de los países cuyos organismos nacionales de normalización han publicado la norma entre diciembre de 2008 y los primeros meses de 2009.

## 1.1 La construcción ligera

### 1.1.1 Aplicaciones

Los elementos conformados en frío se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- 1- Los perfiles individuales (figura 1): perfil en C, en Z, en  $\Omega$ , en M, en U. Estos perfiles se utilizan como correas de cubierta, vigas, como cordones y montantes en celosías de sección abierta, y como carriles (*tracks*) y puntales (*studs*) en estructuras tipo “steel framing”.
- 2- Chapas perfiladas y paneles (figura 2): se utilizan normalmente para cubiertas, forjados, paneles de fachada y materiales de cobertura.

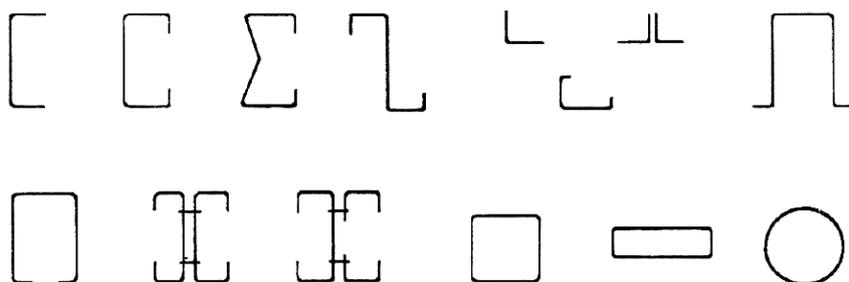


Figura 1. Secciones típicas de perfiles ligeros

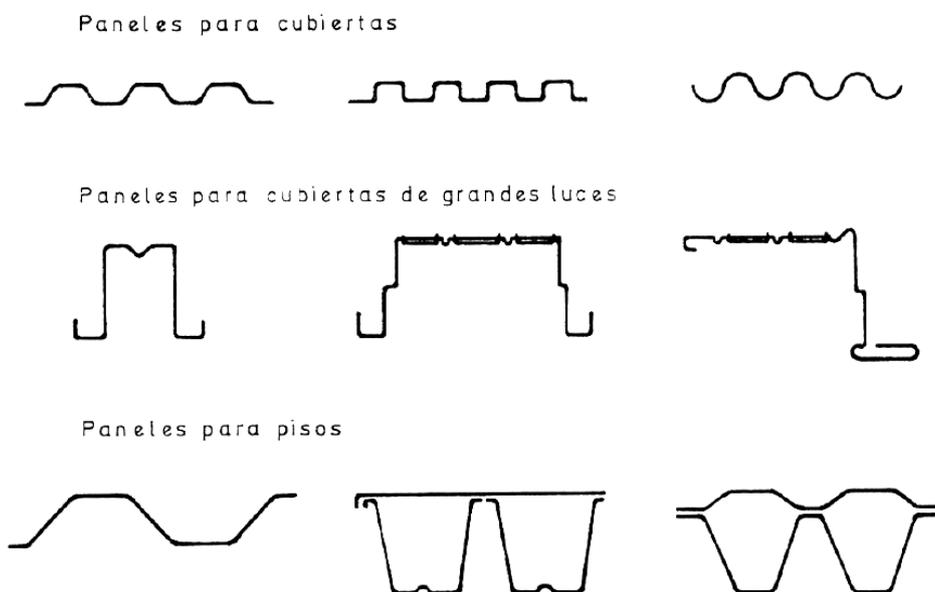


Figura 2. Chapas perfiladas y paneles

Estos elementos conformados en frío se pueden usar como elementos principales de las estructuras tipo “steel framing” o como elementos secundarios en otro tipo de estructura (de acero laminado en caliente, de mampostería, etc.).

### 1.1.1.1 La estructura ligera como elemento principal: el “Steel Framing”

#### Origen: el “wood framing”

Las estructuras del tipo “steel framing” tienen su origen en EEUU [1]. Durante el siglo XIX, surgió una gran demanda de viviendas debido al fuerte crecimiento de población y la expansión territorial hacia el oeste. Para solucionar esta demanda de forma práctica, rápida y productiva, se empezaron a construir casas de madera tipo “wood framing” (ver figuras 3 y 4).

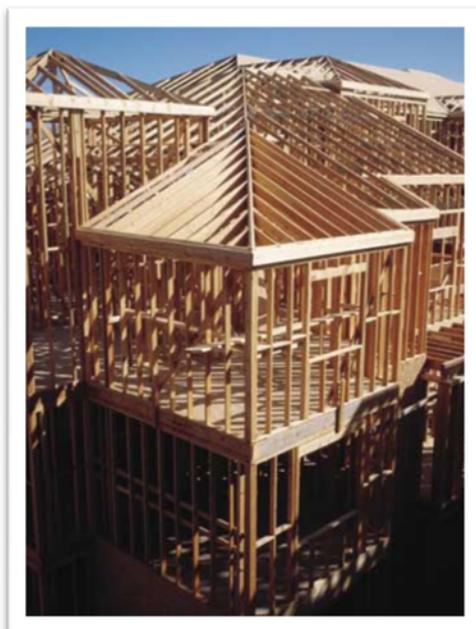


Figura 3. Edificación fabricada mediante el sistema “wood framing”



Figura 4. Edificación fabricada mediante el sistema “wood framing”

Las primeras estructuras eran del tipo “balloon framing”, donde los montantes (*studs*) tienen la altura del edificio y las vigas de forjado se sujetan lateralmente a los montantes. Tras la primera Guerra Mundial [1], estas estructuras evolucionaron hacia las “platform framing”, con el mismo concepto constructivo, con la diferencia de que los montantes tienen la altura de cada piso y, por lo tanto, el forjado que los divide es pasante entre los montantes. De esta manera, el forjado transmite sus cargas en forma axial, y no en forma excéntrica como en el caso del “balloon framing”, resultando en montantes con secciones menores. La menor altura de los montantes del “platform framing” es otra ventaja de esta variante, ya que permite implementar los sistemas industrializados, con elementos prefabricados sin limitaciones en el transporte.

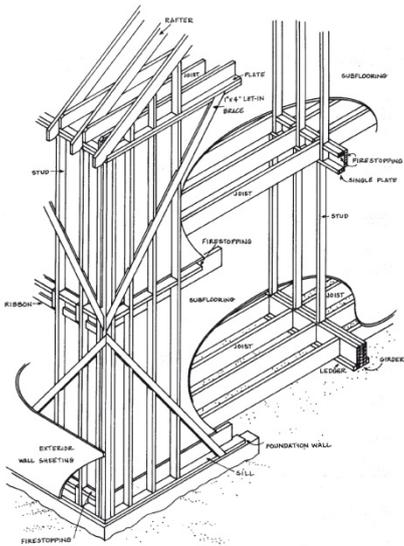


Figura 5. Balloon framing

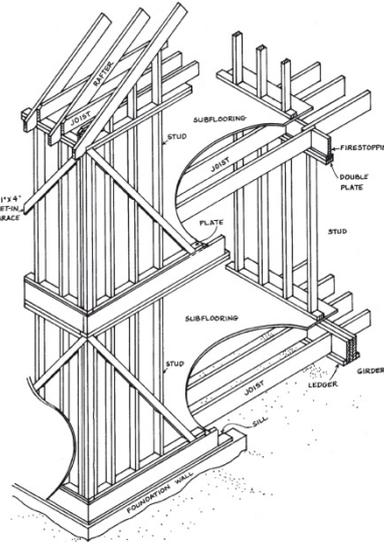


Figura 6. Platform framing

El “steel framing” en viviendas se empezó a utilizar a partir de 1940. El concepto era el mismo que el “platform framing”, pero se sustituía la madera por perfiles de acero de paredes delgadas (véase el apartado 1.1.3.1).

### Tipología

Existen tres tipos de construcción del sistema “steel framing”. El más utilizado es el sistema de “construcción en obra” (*stick-built*), en el que se monta la estructura en obra (figura 7). Los otros dos tipos son sistemas industrializados: a base de “paneles prefabricados” y los modulares. En los primeros, las paredes, forjados y cubiertas prefabricados se transportan a la obra y se ensamblan (figura 8), mientras que en los segundos unidades tridimensionales se transportan a la obra y se unen entre sí (figura 9). Aplicaciones mediante este sistema son: viviendas unifamiliares, edificios residenciales y comerciales de hasta cuatro pisos, hoteles, hospitales, clínicas y establecimientos educacionales.



Figura 7. Fabricación en obra



Figura 8. Paneles prefabricados



Figura 9. Construcción modular

### 1.1.1.2 La estructura ligera como elemento secundario

Existe un gran campo de aplicación de estructuras ligeras como elementos secundarios en estructuras convencionales. En estos casos, la estructura principal puede ser de acero laminado en caliente, de mampostería, de hormigón, etc. Los elementos secundarios de acero ligero pueden ser utilizados en cubiertas (cerchas, vigas, viguetas, correas y cerramientos) (figura 10), fachadas y paredes (carriles, montantes y cerramientos) (figuras 12 y 13), y forjados (vigas y chapa en forjados mixtos) (figura 11). Otra posible aplicación de las estructuras ligeras es la rehabilitación y ampliación de estructuras (revestimientos de fachadas, construcción de altillos y techos, sustitución de techos, etc.), debido a su bajo peso (figuras 14 y 15).



Figura 10. Cubierta ligera



Figura 11. Forjado con vigas celosía ligeras



Figura 12. Fachada de paneles prefabricados

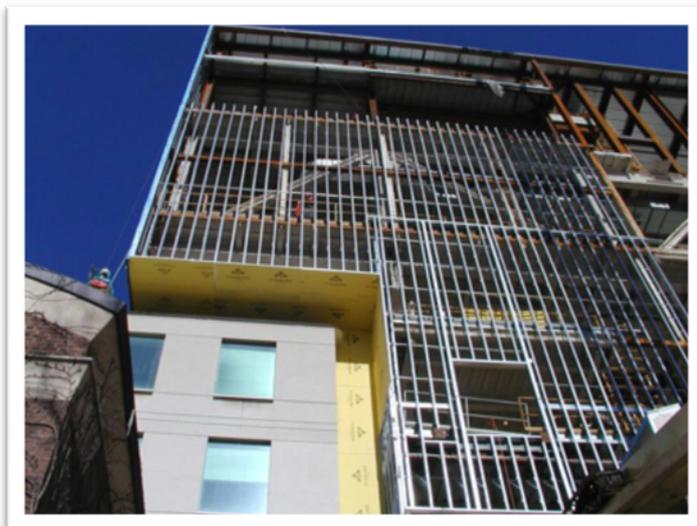


Figura 13. Fachada montada "in situ"



Figura 14. Obra de ampliación: construcción de una nueva planta

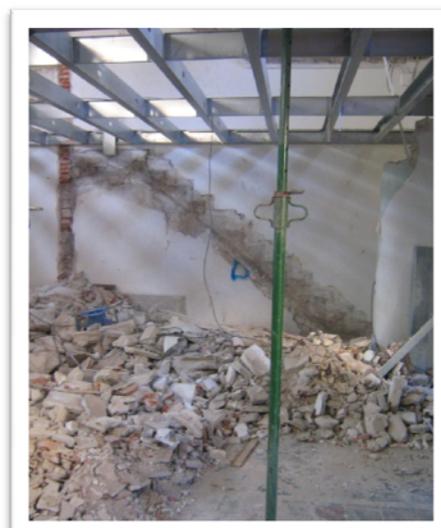


Figura 15. Obra de rehabilitación: forjado ligero

### 1.1.2 Ventajas y desventajas

#### Ventajas

Las ventajas que tienen los elementos de construcción ligera en construcción son [2] [3]:

- Constructivas: El empleo de elementos de acero prefabricados y premontados reduce los trabajos en obra, los residuos de material y mejora la calidad final.
- Facilidad de montaje, manejo y transporte gracias al bajo peso de los elementos.
- Facilidad de ejecución de las uniones: los métodos de fijación son relativamente sencillos y muchos pueden realizarse en la obra.
- Operarios: no se requieren operarios con una gran especialización, ya que las técnicas y herramientas empleadas en el montaje son, generalmente, sencillas.

- Resistencia con elementos ligeros: el acero tiene uno de los mayores ratios de resistencia-peso, por lo que se reducen cimientos y facilita la manipulación de los elementos en obra.
- Calidad uniforme del material: a diferencia de otros materiales como la madera o el hormigón.
- Reciclable: todos los productos de acero son reciclables y están compuestos en parte por material reciclado.
- Flexibilidad de diseño: permite cualquier acabado arquitectónico

En el caso de los sistemas “steel framing” presentan también ventajas como:

- Rapidez: el sistema requiere un tiempo de ejecución menor que los sistemas convencionales, con lo que se reducen los costes.
- Calidad: las casas tienen una mejor calidad, que es durable y de bajo mantenimiento.
- Fácil de remodelar: las paredes que no son de carga se pueden recolocar, eliminar o modificar fácilmente.
- Prefabricación y producción industrializada.
- Ligereza: debido al bajo peso de la estructura, los requisitos de los cimientos son menores, por lo que se pueden situar en cualquier tipo de suelo.
- Estéticas: Las fachadas pueden adquirir cualquier aspecto.

### **Desventajas**

Las principales desventajas de este sistema constructivo son:

- La eficacia térmica del acero es muy baja dada su elevada conductividad [4]. Para solventar este problema, se utilizan sistemas especiales para evitar la presencia de “puentes térmicos”, que provocarían la pérdida de eficacia del aislamiento y la aparición de humedades que podrían generar moho.

Debido a la falta de tradición constructiva, en España y la zona mediterránea:

- Falta personal y empresas con experiencia.
- Existe poca oferta en el mercado, por lo que los precios son poco competitivos.

Debido a que en la zona mediterránea se tiene otra cultura, acostumbrada a la construcción con materiales pétreos, y a la falta de información [5]:

- Percepción psicológica de debilidad de las estructuras ligeras (como elemento principal)
- Percepción de debilidad de estas estructuras frente al fuego.
- Menor aceptación de las vibraciones y ruido [6], por lo que obliga a construir con forjados mixtos. Así se pierde ligereza en la estructura y las ventajas de la construcción “en seco”.

### **1.1.3 Evolución**

#### **1.1.3.1 Evolución en Estados Unidos**

El uso de elementos de acero conformados en frío en edificación empezó alrededor de la década de 1850 tanto en Estados Unidos como en Gran Bretaña [7]. No obstante, tales elementos no se empezaron a utilizar de forma generalizada en edificación hasta alrededor de 1940. En los Estados Unidos, se empezó a utilizar el sistema de “cold formed steel framing” como alternativa al “wood framing”.

En 1939, el AISI (American Iron and Steel Institute) patrocinó la investigación de elementos conformados en frío, realizada en la Universidad de Cornell bajo la dirección de George Winter. A partir de este trabajo se publicó en 1946 la primera norma de diseño de elementos de acero conformado en frío.

A partir de 1946, la construcción con acero conformado en frío de paredes delgadas ha crecido gracias a la publicación de sucesivas ediciones de la “*Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*” del AISI.

El empleo de estructuras de acero conformado del tipo “steel framing” sufrió un crecimiento notable en la década de 1990, debido a los cambios en el mercado de la madera, consistentes en un incremento en el precio y una peor calidad de la madera, por la tala de árboles jóvenes.

#### **1.1.3.2 Desarrollo del sistema constructivo “steel framing” en el resto del mundo**

El sistema constructivo “steel framing” es considerado como un sistema tradicional de construcción en países como Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón y Gran Bretaña. En muchos otros países, esta industria se ha ido introduciendo en las últimas tres décadas.

En Japón [8], empezó a utilizarse el sistema constructivo “steel framing” después de la Segunda Guerra Mundial para reconstruir millones de casas de madera que fueron destruidas por el fuego durante la guerra. Para proteger los recursos naturales y promover casas de material no combustible, se limitó la construcción de viviendas de madera, por lo que se sustituyeron por el “steel framing”.

En Australia [9] y Nueva Zelanda [10], el “steel framing” se introdujo a partir de la década de 1960. Durante los primeros años de la década de 1980, esta industria se desarrolló gracias a los avances tecnológicos (mejoras en el control de fabricación y desarrollo de software), que abarataron los costes de fabricación. A finales de los 80, Australia se convirtió en el líder mundial en el uso de aceros del tipo S550 en el “steel framing”. Se desarrollaron formas más complejas y eficientes que permitieron aligerar la estructura y simplificar y facilitar su construcción.

En Europa, la construcción del tipo “steel framing” es más frecuente en los países Nórdicos (Finlandia, Suecia, Dinamarca), Francia y Gran Bretaña (véase la figura 16). Mientras que en Gran Bretaña esta industria se ha desarrollado desde su nacimiento, en el resto de países se ha introducido en las últimas tres décadas. En los países del

Mediterráneo, con una edificación tradicional basada en materiales pétreos (ladrillo, hormigón...), se han empezado a construir edificios del tipo “steel framing” en la última década.

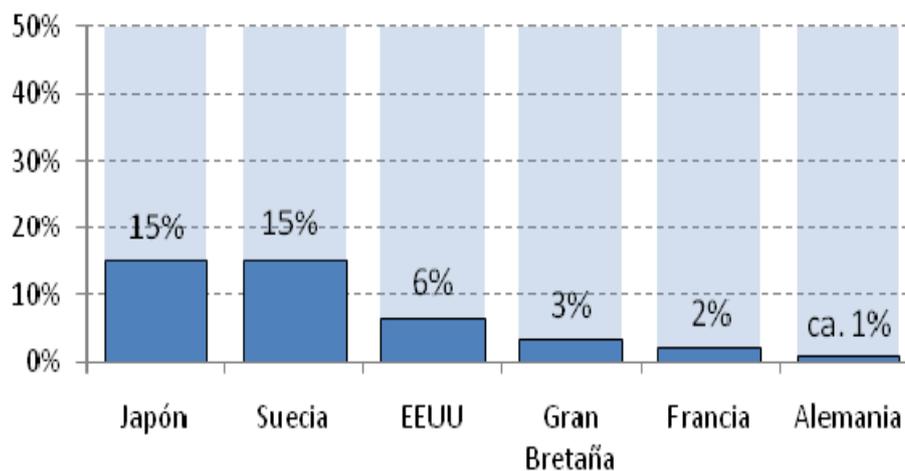


Figura 16. Porcentajes de utilización de estructuras tipo “steel framing” para construcción de viviendas

### 1.1.4 Marco normativo

#### 1.1.4.1 América

La construcción con elementos de acero conformado en frío se desarrolló principalmente en Norteamérica, gracias a la publicación de normas de diseño que permitieron la aceptación del acero conformado en frío en la edificación.

La primera norma publicada sobre la construcción ligera fue la norma “*Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members*” del AISI en el año 1946, en Estados Unidos [11]. Esta norma se revisó periódicamente para reflejar los avances técnicos resultantes de la continua investigación en este campo. En Canadá, la Canadian Standards Association (CSA) publicó la primera norma de diseño de acero conformado en frío, la norma S136, en 1963. En el año 2001 [12], se publicó la norma “*North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*”, desarrollada conjuntamente por el American Iron and Steel Institute (AISI), la Canadian Standards Association (CSA) y la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO) de Méjico.

En el año 1997 [13], el AISI Construction Marketing Committee autorizó la formación del Committee on Framing Standards (COFS). Esto se hizo debido al “*creciente interés en el acero conformado en frío para el “steel framing” residencial y comercial*” y la sensación de que “*había una cantidad de cuestiones de diseño que no estaban tratadas adecuadamente para este mercado emergente*”. Su objetivo era eliminar las barreras legales y aumentar la fiabilidad y la competitividad en precio de los “steel framing” de acero conformado en frío, mediante normas de diseño y ejecución mejoradas. Esta nueva organización publicó en 2001 cuatro nuevas normas (General Provisions, Header Design,

Truss Design y Prescriptive Method for One and Two Family Dwellings). En 2004, el COFS actualizó estas normas y publicó dos nuevas (Lateral Design y Wall Stud Design). En 2007 [14], el COFS actualizó las normas anteriores y publicó dos nuevas (Product Data y Floor and Roof System Design).

#### **1.1.4.2 Europa**

Las normativas europeas para el proyecto y ejecución de estructuras ligeras son:

- Para el proyecto, el Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas suplementarias para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío.
- Para la ejecución, la norma ENV 1090-2: "Ejecución de estructuras de acero. Parte 2: Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío"

A continuación, se describe el desarrollo e implantación de los Eurocódigos en general y del Eurocódigo 3 parte 1.3. En el apartado 1.1.5 se describe las normas de ejecución de estructuras ligeras de acero; la antigua ENV 1090-2 y la nueva EN 1090-2.

##### **1.1.4.2.1 Los Eurocódigos**

En 1975 [15], la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) aprobó por un programa de actuaciones en el campo de la construcción, basándose en el artículo 95 del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea (aproximación de legislaciones).

El objetivo principal del programa era eliminar los obstáculos técnicos en el comercio y la armonización de las especificaciones técnicas. Los Eurocódigos deberían ser documentos de referencia para el proyecto y comprobación de edificaciones y obras de ingeniería civil, servir de base para la especificación de contratos de obras públicas, facilitar en los Estados Miembro la puesta en el mercado y el uso de prefabricados y materiales, y ser una plataforma común para la investigación y el desarrollo.

Dentro de las actuaciones del programa, la Comisión tomó la iniciativa para establecer una serie de reglamentos técnicos armonizados para el diseño estructural de las obras de construcción que, en una primera etapa, servirían como alternativa a los reglamentos nacionales en vigor en los Estados Miembro y, finalmente, los sustituirían.

En 1989, la Comisión y los Estados Miembro decidieron transferir al Comité Europeo de Normalización (CEN) la preparación y publicación de los Eurocódigos, con el fin de que en el futuro tuvieran el estatus de Normas Europeas.

En principio, el CEN elaboró los Eurocódigos como 62 Normas Europeas Experimentales (ENV), publicados entre 1992 y 1998. La conversión de las ENV en Normas Europeas (EN) se inició en 1998 y finalizó en 2006 [16]. El programa de implementación entró entonces en el Periodo de Coexistencia con las Normas Nacionales, que finalizará en el año 2010.

#### 1.1.4.2.2 Eurocódigo 3 Parte 1.3

Con el objetivo de crear una norma europea sobre estructuras ligeras, la European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), a través de su comité TC7 (Cold Formed Thin Walled Sheet Steel in Building), preparó a partir del año 1975 varios documentos para el cálculo y ensayo de chapas de acero conformadas en frío usadas en edificación [17]. En el año 1996, el CEN publicó la parte 1.3 del Eurocódigo 3 para los elementos y chapas conformados en frío (ENV 1993-1-3:1996). En octubre de 2006, se publicó el *"Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas suplementarias para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío"* como Norma Europea (EN 1993-1-3:2006). A día de hoy, está pendiente la publicación de la versión de esta norma traducida al español.

#### 1.1.4.3 España

##### 1.1.4.3.1 Primeras normativas: las Normas Básicas de la Edificación

Las primeras normas españolas que trataron los perfiles y chapas de paredes delgadas conformados en frío y se publicaron a partir de 1979 [18]. Estas normas fueron:

- NBE MV 109-1979 "Perfiles conformados de acero para estructuras de edificación"
- NBE MV 110-1982 "Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero de edificación"
- NBE MV 111-1980 "Placas y paneles de chapa conformada de acero para la edificación"

Estas normas tenían un ámbito de aplicación limitado, puesto que el espesor mínimo aplicable era 2 mm para perfiles, cuando el espesor mínimo aceptado por el EC3-1-3 es de 0,45mm, y sólo eran aplicables a aceros tipo S235-JR (A37b).

En el año 1995 se aprobó la nueva norma de edificación, la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación". Esta norma recopiló y organizó las normas de edificación NBE MV, sin aportar novedades y quedando muy limitada en el campo de las estructuras ligeras.

##### 1.1.4.3.2 El Código técnico de la Edificación

En el año 2006, en desarrollo de lo previsto en la disposición adicional segunda de la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE), se publicó el Código Técnico de la Edificación (CTE) con el que se derogaba la Norma NBE EA-95.

En el CTE [19] se establecen las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad (estructural, en caso de incendio y de utilización), funcionalidad (utilización, accesibilidad y acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información) y habitabilidad (higiene, salud y protección del medio ambiente, protección contra el ruido, ahorro de energía y aislamiento térmico y otros aspectos funcionales).

Las estructuras metálicas ligeras quedan recogidas dentro del Documento Básico SE-A (Seguridad Estructural- Acero). No existe un apartado específico sobre el cálculo de estructuras ligeras, sino que deben aplicarse los apartados de cálculo de secciones de clase 4 (secciones esbeltas).

El Documento Básico SE-A del CTE presenta algunos puntos donde existe algún tipo de discrepancia con el Eurocódigo 3 parte 1.3 o alguna errata. Por ejemplo, no se tiene en cuenta el fenómeno del pandeo por torsión ni el aumento de límite elástico debido al proceso de conformado en frío. También, para perfiles y chapas conformadas en frío, se fija el mínimo espesor a 0,75 mm, cuando el espesor mínimo aceptado por el EC3-1-3 es de 0,45 mm, y se establecen limitaciones en las relaciones ancho/espesor que implican una innecesaria restricción del uso de este tipo de elementos.

### 1.1.4.3 La Instrucción EAE

En abril de 2001 [20], se creó la Comisión Permanente de Estructuras de Acero (CPA), para redactar una nueva norma de proyecto, ejecución, control y mantenimiento de estructuras de acero. En noviembre del año 2004, se publicó el Documento 0 de la nueva Instrucción EAE.

El objetivo de la Instrucción EAE es adecuar el marco normativo oficial a la situación presente del sector y al estado del conocimiento de las estructuras de acero, integrando la edificación y la obra pública. Además, para adaptarse al marco normativo europeo [21], gran parte del contenido de la instrucción está basado en el Eurocódigo 3. Su formato está adecuado al de la Instrucción EHE y se incorporan reglas sobre fabricación, control, durabilidad y mantenimiento tomados de otras normas (EN 1090) o de otras fuentes que no forman parte de los Eurocódigos.

### 1.1.5 La prenorma ENV 1090 y la norma EN 1090

#### 1.1.5.1 Estructura de la prenorma ENV 1090

Entre los años 1996 y 2000 se publicaron las distintas partes de la prenorma ENV 1090 “Ejecución de estructuras de acero”. Esta norma era una versión experimental.

NOTA [22] Las Prenormas o Normas Experimentales Europeas son documentos técnicos de carácter prospectivo que se aplican de forma provisional en campos donde exista un elevado grado de innovación tecnológica, una urgente necesidad de orientación o donde estén implicadas la seguridad de las personas o de los bienes. Con la elaboración de estos documentos se pretende privilegiar las exigencias de rapidez inherente a la evolución tecnológica en detrimento de la búsqueda del consenso, que será muy inferior al de las normas europeas.

Los organismos nacionales de normalización únicamente deben anunciar su existencia mediante el código y el título de la ENV, sin necesidad de retirar las normas contradictorias con la ENV, que podrán mantenerse vigentes hasta la transformación definitiva de la prenorma en una norma europea. Al final del plazo de vigencia de la prenorma, el CEN podrá convertirla en una norma europea, ampliar su vigencia por un periodo de dos años, sustituirla por otra prenorma o anularla definitivamente.

Las 6 partes de la norma ENV 1090 son:

- ENV 1090-1: “Ejecución de estructuras de acero – Parte 1: Reglas generales y reglas para edificación” (1996). En esta norma se recogen todas las reglas

generales relativas a la ejecución, como son: la documentación, las normas de productos, la soldadura, la fijación, el montaje, el acabado superficial, las tolerancias de ejecución y las inspecciones y ensayos.

- ENV 1090-2: “Ejecución de estructuras de acero – Parte 2: Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío” (1998). En esta norma se agrupaban todos aquellos aspectos concretos de la ejecución, descritos anteriormente, exclusivos de las estructuras ligeras de acero.
- ENV 1090-3: “Ejecución de estructuras de acero – Parte 3: Reglas suplementarias para aceros de alto límite elástico” (1997).
- ENV 1090-4: “Ejecución de estructuras de acero – Parte 4: Reglas suplementarias para estructuras con celosía de sección hueca” (1997).
- ENV 1090-5: “Ejecución de estructuras de acero – Parte 5: Reglas suplementarias para puentes” (1998).
- ENV 1090-6: “Ejecución de estructuras de acero – Parte 6: Reglas suplementarias para acero inoxidable” (2000).

#### 1.1.5.2 Nueva norma EN 1090

En agosto y diciembre de 2008, el Comité Técnico CEN/TC 135 “Ejecución de estructuras de acero y de aluminio” publicó las partes 2 y 3 de la norma EN 1090 “Ejecución de estructuras de acero y estructuras de aluminio”. Las partes de esta nueva norma son:

- EN 1090-1: “Componentes estructurales de acero y aluminio - Parte 1: Condiciones generales de suministro”
- EN 1090-2: “Ejecución de estructuras de acero y aluminio - Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero”
- EN 1090-3: “Ejecución de estructuras de acero y aluminio - Parte 3: Reglas técnicas para la ejecución de estructuras de aluminio”

La norma EN 1090-1 incluirá los criterios armonizados para el mercado CE de las construcciones metálicas. Esta norma está previsto aprobarla en 2009 y será obligatoria en la mayoría de países europeos en 2011 [23].

La norma EN 1090-2 reemplaza a las seis partes en las que estaba dividida la antigua ENV 1090 “Ejecución de estructuras de acero”. Además, establece los requisitos para la ejecución de estructuras de acero de acuerdo con el Eurocódigo 3 y las partes de acero de las estructuras mixtas diseñadas según el Eurocódigo 4. También, presupone que el trabajo se realiza con el personal necesario y el equipamiento y los recursos adecuados para realizarlo de acuerdo con los requisitos específicos.

Las novedades más importantes de esta nueva norma son [23]:

#### **Unificación de las prenormas de ejecución de estructuras de acero**

Esta parte de la nueva norma contiene tanto las normas generales para la ejecución de estructuras de acero como las reglas particulares para estructuras construidas con chapas y perfiles conformados en frío, con aceros de alto límite elástico, con acero

inoxidable, con celosía de sección hueca y los puentes. Por tanto, esta norma tiene un campo de aplicación muy amplio y requiere que los proyectistas tomen decisiones sobre su aplicación específica antes de la ejecución del proyecto.

### **Clases de Ejecución**

En la norma se definen cuatro Clases de Ejecución que varían desde la Clase de Ejecución EXC4, la más exigente, hasta la Clase de Ejecución EXC1, la menos exigente. Cada Clase de Ejecución contiene una serie de requisitos para la fabricación y el montaje que deberán aplicarse a la estructura en conjunto, a un elemento individual o a un detalle de un elemento. Estos requisitos se recopilan en el Anexo A.3 de la norma.

El proyectista debe seleccionar la Clase de Ejecución requerida en el proyecto de la estructura, un elemento o un detalle. El objetivo de la elección entre cuatro Clases de Ejecución es dotar de un nivel de fiabilidad ante el fallo, que se obtiene en función de las consecuencias del fallo de la estructura, el elemento o el detalle.

### **Determinación de las clases de ejecución**

En el Anexo B de la norma se dan las pautas para la elección de la clase de ejecución en función de las “categorías de uso” (SC1 – cuasi estáticas, SC2 – fatiga) y las “categorías de producción (el método de producción, PC1 o PC2 donde las siendo más difíciles de producir las estructuras/elementos/detalles de la categoría PC2 que los de la PC1).

### **Tolerancias**

Se definen tres tipos de tolerancias geométricas: las básicas, las funcionales y las especiales.

1. Las tolerancias básicas son necesarias para la resistencia mecánica y la estabilidad de la estructura.
2. Las tolerancias funcionales son necesarias para alcanzar otros criterios como el ajuste o la apariencia.
3. Las tolerancias especiales pueden ser necesarias para un proyecto concreto y se definirán en el pliego de especificaciones.

Además, se especifican dos clases de tolerancias funcionales. Las tolerancias de Clase 1 serían tolerancias por defecto en el proceso rutinario de fabricación. Las tolerancias de Clase 2 son más exigentes y requerirán de medidas especiales de fabricación y montaje.

#### **1.1.5.3 Países europeos que han publicado la EN 1090-2**

A continuación se presenta un listado con los 21 países europeos cuyos organismos nacionales de normalización han publicado la norma EN 1090-2 hasta la fecha (15 de abril de 2009). También se da la referencia a la norma en cada país. En España, la versión traducida norma está pendiente de publicación por parte de AENOR:

<b>País</b>	<b>Organismo Nacional</b>	<b>Referencia al Documento Nacional</b>	<b>País</b>	<b>Organismo Nacional</b>	<b>Referencia al Documento Nacional</b>
Alemania	DIN	DIN EN 1090-2	Islandia	IST	ÍST EN 1090-2:2008
Chipre	CYS	CYS EN 1090-2:2008	Italia	UNI	UNI EN 1090-2:2008
Croacia	HZN	HRN EN 1090-2:2008	Letonia	LVS	LVS EN 1090-2:2008
Dinamarca	DS	DS/EN 1090-2:2008	Lituania	LST	LST EN 1090-2:2008
Eslovaquia	SUTN	STN EN 1090-2	Noruega	SN	NS-EN 1090-2:2008
Eslovenia	SIST	SIST EN 1090-2:2008	Polonia	PKN	PN-EN 1090-2:2008
Finlandia	SFS	SFS-EN 1090-2:en	Reino Unido	BSI	BS EN 1090-2:2008
Francia	AFNOR	NF EN 1090-2	Rep. Checa	UNMZ	CSN EN 1090-2
Holanda	NEN	NEN-EN 1090-2:2008	Rumanía	ASRO	SR EN 1090-2:2008
Hungría	MSZT	MSZ EN 1090-2:2009	Suecia	SIS	SS-EN 1090-2:2008
Irlanda	NSAI	I.S. EN 1090-2:2008			

*Tabla elaborada con los datos obtenidos de la página oficial del Centro Europeo de Normalización: <http://www.cen.eu/esearch>*

## 1.2 Objetivos

El presente trabajo se divide en tres bloques, en los que se analiza la historia de la construcción ligera, del marco normativo y algunos aspectos particulares, desde el punto de vista de su ejecución.

### Primer bloque

En el primer bloque (Capítulo 1) se realiza una descripción de la construcción ligera. En primer lugar, se examinan las aplicaciones de las estructuras ligeras dentro del marco del Eurocódigo 3 parte 1.3; a continuación, la historia de la construcción de estructuras ligeras; y por último, la evolución del marco normativo en Norteamérica, Europa y España. Para ello se ha realizado una amplia consulta bibliográfica y en Internet (páginas web de organismos nacionales de normalización, de asociaciones nacionales e internacionales de empresas, de empresas, de institutos gubernamentales, de universidades).

### Segundo bloque

En el segundo bloque (Capítulo 2), el objetivo principal es recopilar en un extracto de la norma EN 1090-2 aquellas partes aplicables a la ejecución de estructuras metálicas ligeras convencionales.

Como se ha descrito en el apartado 1.1.5.2, en la nueva norma EN 1090-2 se unifican todos apartados de la norma ENV 1090. De este modo, en un mismo tomo se encuentran todas las reglas generales y las particulares de ejecución de estructuras de acero. En el caso de aplicar la norma para la ejecución de una estructura ligera, existirán normas aplicables y otras no.

Dada esta situación, el objetivo principal de este apartado es realizar un extracto de la norma en el que, como si se tratase de una nueva versión de la norma ENV 1090-2, se

incluyan todos los aspectos de ejecución particulares de las estructuras ligeras (como hacía la norma ENV 1090-2 [24]) y, además, las reglas generales de ejecución de estructuras metálicas aplicables a las estructuras ligeras convencionales (contenidas anteriormente en la ENV 1090-1 [25]).

NOTA Cuando se trabaja con los espesores de chapas y perfiles de paredes delgadas convencionales (hasta 4,0 mm en perfiles y 1,0 mm en chapas) algunas reglas generales asociadas a los procedimientos de corte, soldadura, perforación, etc., dejan de ser aplicables. Por ejemplo, el avellanado de agujeros, la preparación de bordes para la soldadura o la rugosidad de un borde cortado en chapas de un espesor tan pequeño.

En caso de trabajar con los espesores mayores, no convencionales, que siguen considerándose de paredes delgadas (hasta 15 mm para perfiles y chapas, según el Eurocódigo 3 parte 1.3), las normas no incluidas en este extracto podrían ser entonces aplicables. En estos casos, habría que consultar la norma completa.

Otro objetivo importante de este apartado es realizar una norma comentada. Con ello se pretende, por ejemplo, introducir aclaraciones, definir términos y procesos o eliminar referencias a otras normas. Los distintos tipos de comentarios son:

- Comentario y justificación en los puntos de la norma que no han sido incluidos en el trabajo
- Aclaración de conceptos confusos.
- Eliminación de referencias a otras normas, incluyendo el texto de la norma a la que se hace referencia.
- Inclusión de definiciones de términos y procesos.
- Descripción de productos utilizados en las estructuras ligeras, asociados a su norma de producto, con una recopilación de la gama existente en el mercado de un producto.
- Citas de guías de montaje de estructuras.
- Textos de la norma ENV 1090-2, para saber lo que decía la norma anterior
- Textos de otras normas vigentes en España, para comparar el contenido.
- Textos de normas americanas, para comparar el contenido o sobre temas que no se tratan en la norma.

El contenido de estos comentarios está basado en la consulta de: bibliografía, artículos técnicos, normas europeas de productos y procesos, normas españolas, normas americanas, guías de construcción de “steel framing”, catálogos de productos y páginas web de organismos nacionales de normalización, de asociaciones nacionales e internacionales de empresas, de universidades, etc.

NOTA El extracto se ha realizado a partir del proyecto final de la norma prEN 1090-2, de enero de 2008 [26]. En el extracto, la estructura de la norma se ha mantenido íntegramente, con todos los apartados y subapartados. El formato del texto de la norma (tipo de letra, tamaño, márgenes, formato de tablas, etc.) también se ha respetado. Los comentarios se introducen en el texto mediante cuadros sombreados en azul.

### **Tercer bloque**

En el tercer bloque (Capítulo 3), se realiza un pequeño estudio de soluciones particulares empleadas en la construcción ligera y se han creado dos modelos de encuesta para conocer la opinión que tienen técnicos de empresas del sector sobre la norma EN 1090-2 y su grado de implantación en la industria. Las soluciones estudiadas son las juntas de dilatación en cubiertas metálicas ligeras y los tratamientos de protección de superficies de elementos conformados en frío. Una de las encuestas se ha presentado a una empresa a modo de ejemplo y representa una línea de trabajo futuro, en la que se podría realizar un profundo estudio del estado y opinión que tienen las empresas del sector en cuanto a la implantación de la norma EN 1090-2, y de ejecución.

## Capítulo 2

# Extracto de la norma EN 1090-2

***“Ejecución de estructuras de acero y aluminio - Parte 2:  
Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero”***

*Para su aplicación en estructuras ligeras diseñadas de acuerdo con el  
Eurocódigo 3 parte 1.3*

## Contenido

1	Ámbito de aplicación .....	32
2	Normas para consulta .....	33
2.1	Generalidades .....	33
2.2	Materiales.....	33
2.2.1	Aceros.....	33
2.2.2	Aceros moldeados.....	34
2.2.3	Consumibles para el soldeo.....	34
2.2.4	Fijaciones.....	34
2.3	Preparación .....	36
2.4	Soldeo .....	36
2.5	Ensayos .....	37
2.6	Montaje.....	37
2.7	Protección contra la corrosión .....	38
2.8	Tolerancias .....	38
2.9	Miscelánea .....	38
3	Términos y definiciones .....	39
4	Documentación .....	41
4.1	Pliego de especificaciones .....	41
4.1.1	Generalidades .....	41
4.1.2	Clases de ejecución.....	42
4.1.3	Grados de preparación.....	42
4.1.4	Tolerancias geométricas .....	42
4.2	Documentación del constructor .....	42
4.2.1	Documentación de calidad.....	42
4.2.2	Plan de calidad .....	43
4.2.3	Seguridad en los trabajos de montaje .....	44
4.2.4	Documentación de ejecución.....	44
5	Productos de acero.....	44
5.1	Generalidades .....	44
5.2	Identificación, documentos de inspección y trazabilidad .....	44
5.3	Productos de acero.....	45
5.3.1	Generalidades .....	45
5.3.2	Tolerancias de espesor .....	46
5.3.3	Condiciones de las superficies.....	46
5.3.4	Propiedades especiales .....	47
5.4	Aceros moldeados.....	47
5.5	Consumibles para el soldeo.....	47
5.6	Fijaciones mecánicas .....	48
5.6.1	Generalidades .....	48
5.6.2	Terminología.....	49
5.6.3	Uniones atornilladas no pretensadas .....	49
5.6.4	Uniones estructurales pretensadas .....	49
5.6.5	Indicadores de tensión directa .....	50
5.6.6	Uniones resistentes a la intemperie .....	50
5.6.7	Pernos de cimentación.....	50
5.6.8	Dispositivos de bloqueo.....	50
5.6.9	Arandelas en cuña .....	52
5.6.10	Roblones.....	52
5.6.11	Fijaciones para elementos de paredes delgadas.....	52
5.6.12	Fijaciones especiales .....	55
5.6.13	Identificación y suministro.....	55
5.7	Espárragos y conectores a cortante .....	55
5.8	Lechadas.....	55

6	Preparación y montaje.....	55
6.1	Generalidades .....	55
6.2	Identificación .....	56
6.3	Manipulación y almacenamiento .....	56
6.4	Corte.....	57
6.4.1	Generalidades .....	57
6.4.2	Cizalla y recorte por punzonado ( <i>nibbling</i> ).....	59
6.4.3	Corte térmico.....	59
6.4.4	Dureza de las superficies de los bordes libres .....	59
6.5	Conformación.....	60
6.5.1	Generalidades .....	60
6.5.2	Conformado en caliente .....	60
6.5.3	Enderezado con llama .....	61
6.5.4	Conformación en frío.....	61
6.6	Perforación .....	62
6.6.1	Dimensión de los agujeros.....	62
6.6.2	Tolerancias en el diámetro del agujero para tornillos y clavos.....	63
6.6.3	Ejecución de la perforación .....	63
6.7	Acabados de corte.....	64
6.8	Superficies de apoyos de contacto total .....	65
6.9	Ensamblaje .....	65
6.10	Comprobación del ensamblaje .....	65
7	Soldeo .....	65
7.1	Generalidades .....	65
7.2	Plan de soldeo.....	66
7.2.1	Requisitos para un plan de soldeo.....	66
7.2.2	Contenido de un plan de soldeo.....	66
7.3	Procesos de soldeo .....	66
7.4	Cualificación de los procedimientos de soldeo y del personal de soldeo .....	68
7.4.1	Cualificación de los procedimientos de soldeo .....	68
7.4.2	Soldadores y operadores de soldeo .....	70
7.4.3	Coordinación de soldeo .....	70
7.5	Preparación y ejecución del soldeo .....	71
7.5.1	Preparación de la unión .....	71
7.5.2	Almacenamiento y manipulación de los consumibles de soldeo .....	72
7.5.3	Protección frente a la intemperie.....	72
7.5.4	Ensamblaje para el soldeo .....	73
7.5.5	Precalentamiento .....	73
7.5.6	Uniones provisionales.....	73
7.5.7	Soldaduras de punteo .....	74
7.5.8	Soldaduras en ángulo.....	74
7.5.9	Soldaduras a tope .....	74
7.5.10	Soldaduras en aceros con resistencia a la corrosión atmosférica mejorada .....	75
7.5.11	Conexiones de perfiles tubulares o “insertos” .....	75
7.5.12	Soldeo de espárragos.....	75
7.5.13	Soldaduras de tapón y soldaduras en ojal o de ranura.....	76
7.5.14	Soldaduras por puntos en elementos de paredes delgadas .....	77
7.5.15	Otros tipos de soldadura.....	77
7.5.16	Tratamiento térmico post-soldadura.....	77
7.5.17	Ejecución del soldeo .....	77
7.6	Criterios de aceptación .....	78
7.7	Soldeo de aceros inoxidables.....	79
8	Fijación mecánica .....	79
8.1	Generalidades .....	79
8.2	Empleo de las uniones atornilladas .....	79
8.2.1	Generalidades .....	79
8.2.2	Tornillos .....	80
8.2.3	Tuercas .....	81
8.2.4	Arandelas.....	81
8.3	Apretado de los tornillos no pretensados .....	82
8.4	Preparación de superficies de contacto en uniones resistentes al deslizamiento.....	83
8.5	Apretado de los tornillos pretensados.....	83

8.6	Tornillos calibrados .....	83
8.7	Roblonado .....	83
8.8	Fijación de elementos de paredes delgadas .....	83
8.8.1	Generalidades .....	83
8.8.2	Uso de tornillos autotaladrantes y autorroscantes .....	84
8.8.3	Uso de remaches ciegos .....	85
8.8.4	Fijación de solapes laterales ( <i>sidelaps</i> ) .....	85
8.9	Uso de fijaciones y métodos de fijación especiales .....	85
8.10	Gripado ( <i>galling</i> ) y agarrotamiento ( <i>seizure</i> ) de los aceros inoxidables .....	86
9	Montaje.....	86
9.1	Generalidades .....	86
9.2	Condiciones sobre el emplazamiento de la obra .....	86
9.3	Programa del método de montaje .....	87
9.3.1	Diseño básico del método de montaje.....	87
9.3.2	Método de montaje del constructor .....	88
9.4	Replanteo.....	89
9.4.1	Sistema de referencia .....	89
9.4.2	Puntos de posición .....	89
9.5	Soportes.....	89
9.5.1	Inspección de los soportes.....	89
9.5.2	Replanteo e idoneidad de los soportes .....	89
9.5.3	Mantenimiento de la idoneidad de los soportes .....	89
9.5.4	Soportes provisionales (forros).....	90
9.5.5	Enlechado y sellado.....	90
9.5.6	Anclaje .....	90
9.6	Montaje y trabajo en obra.....	90
9.6.1	Planos de montaje .....	90
9.6.2	Marcado .....	91
9.6.3	Manipulación y almacenamiento en obra .....	92
9.6.4	Montaje de prueba .....	92
9.6.5	Métodos de montaje .....	92
10	Tratamiento de superficies.....	94
10.1	Generalidades .....	94
10.2	Preparación de superficies de acero.....	95
10.3	Aceros resistentes a la intemperie.....	96
10.4	Acoplamiento galvánico ( <i>galvanic coupling</i> ) .....	96
10.5	Galvanización .....	96
10.6	Sellado de volúmenes .....	96
10.7	Superficies en contacto con el hormigón.....	96
10.8	Superficies inaccesibles .....	97
10.9	Reparaciones tras el corte o el soldeo.....	97
10.10	Limpieza tras el montaje .....	98
10.10.1	Limpieza de los elementos de paredes delgadas .....	98
10.10.2	Limpieza de los elementos de acero inoxidable .....	98
11	Tolerancias geométricas .....	98
11.1	Tipos de tolerancia .....	98
11.2	Tolerancias básicas .....	98
11.2.1	Generalidades .....	98
11.2.2	Tolerancias de fabricación.....	99
11.2.3	Tolerancias de montaje .....	99
11.3	Tolerancias funcionales .....	100
11.3.1	Generalidades .....	100
11.3.2	Valores tabulados .....	100
11.3.3	Criterios alternativos .....	100
12	Inspección, ensayos y correcciones.....	101
12.1	Generalidades .....	101
12.2	Productos de acero y componentes .....	101
12.2.1	Productos de acero.....	101
12.2.2	Componentes .....	101
12.2.3	Productos no conformes.....	102

**EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2**

12.3	Fabricación: dimensiones geométricas de los componentes fabricados .....	102
12.4	Soldeo .....	102
12.4.1	Inspección antes y durante el soldeo .....	102
12.4.2	Inspección después del soldeo .....	103
12.4.3	Inspección y ensayo de espárragos solicitados a cortante, soldados para las estructuras mixtas de acero y hormigón.....	105
12.4.4	Ensayos de producción sobre el soldeo .....	105
12.5	Fijación mecánica .....	105
12.5.1	Inspección de uniones atornilladas no pretensadas.....	105
12.5.2	Inspección y ensayo en uniones atornilladas pretensadas.....	106
12.5.3	Inspección, ensayo y reparaciones de roblones .....	106
12.5.4	Inspección de la fijación de componentes y chapas conformados en frío .....	106
12.5.5	Fijaciones y métodos de fijación especiales.....	106
12.6	Tratamiento de superficies y protección contra la corrosión.....	107
12.7	Montaje.....	107
12.7.1	Inspección del montaje de prueba .....	107
12.7.2	Inspección de la estructura montada.....	107
12.7.3	Examen de las posiciones geométricas de los nudos de unión .....	107
12.7.4	Otros ensayos de aceptación .....	109
Anexo A .....		110
A.1	Lista de información adicional requerida .....	110
A.2	Lista de opciones.....	110
A.3	Requisitos relacionados con las clases de ejecución.....	110
Anexo B .....		111
B.1	Introducción .....	111
B.2	Factores gobernantes en la elección de la clase de ejecución .....	111
B.2.1	Niveles de riesgo.....	111
B.2.2	Riesgos relacionados con la ejecución y el uso de la estructura .....	111
B.3	Determinación de la clase de ejecución .....	112
Anexo C .....		114
Anexo D .....		115
D.1	Tolerancias básicas .....	115
D.1.2	Tolerancias básicas de fabricación – Perfiles conformados en frío mediante prensado .....	116
D.1.7	Tolerancias básicas de fabricación – Chapas perfiladas conformadas en frío .....	116
D.1.8	Tolerancias básicas de fabricación – Agujeros para fijaciones, muescas y bordes cortados .....	117
D.2	Tolerancias funcionales .....	118
D.2.2	Tolerancias funcionales de fabricación – Perfiles conformados en frío mediante prensado .....	119
D.2.8	Tolerancias funcionales de fabricación – Agujeros para fijaciones, muescas y bordes cortados.....	120
D.2.13	Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas perfiladas conformadas en frío.....	121
D.2.26	Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas de cubierta diseñadas como membranas .....	121
D.2.27	Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas perfiladas de acero .....	121
Anexo F.....		122
F.1	Tolerancias básicas .....	122
F.1.1	Campo de aplicación .....	122
F.1.2	Especificación de funcionamiento .....	122
F.1.3	Requisitos prescriptivos .....	122
F.1.4	Método de trabajo .....	123
F.2	Preparación de superficies para aceros al carbono .....	124
F.2.1	Preparación de superficies antes de la pintura o la proyección térmica.....	124
F.2.2	Preparación de superficies antes de la galvanización .....	124
F.3	Soldaduras y superficies para el soldeo.....	124
F.4	Superficies en uniones pretensadas.....	124
F.5	Preparación de fijaciones.....	125
F.6	Métodos de revestimiento.....	125

F.6.1	Pintado .....	125
F.6.2	Metalización (Proyección metálica).....	126
F.6.3	Galvanización .....	126
F.7	Inspección y comprobación.....	126
F.7.1	Generalidades .....	126
F.7.2	Comprobación rutinaria .....	126
F.7.3	Áreas de referencia.....	127
F.7.4	Elementos galvanizados .....	127
Anexos no incluidos.....		128

## 1 Ámbito de aplicación

En este extracto de la Norma EN 1090-2 se especifican los requisitos para la ejecución de estructuras y elementos manufacturados de acero producidos a partir de elementos conformados en frío y chapas hasta S690, incluido.

Este extracto de la Norma EN 1090-2 proporciona requisitos independientemente del tipo y forma de la estructura (por ejemplo, edificios, puentes, componentes en celosía), incluyendo estructuras sometidas a fatiga o acciones sísmicas.

### Comentario 1: "Fatiga en estructuras ligeras"

La fatiga en estructuras ligeras puede tenerse en cuenta en el diseño, pero afecta poco porque no suele haber soldadura y por el pequeño espesor de sus elementos. La resistencia a fatiga de los elementos está gobernada a menudo por los detalles o las uniones [27]. En estos casos, se debe prestar una atención especial a los taladros, tanto a las separaciones mínimas como a su ejecución.

### *Instrucción EAE [28]*

#### **42.1.3. Necesidad de efectuar la comprobación frente a la fatiga.**

En general, no será necesario efectuar la comprobación de la fatiga en las estructuras de edificación o industriales, salvo en los casos siguientes ... [Los casos indicados quedan fuera del ámbito de la construcción ligera, por dimensiones y/o usos]

### *AISI 1996 [29]*

#### **A1.1 Alcance y límites de aplicación**

Esta Especificación se aplica al diseño de miembros estructurales conformados en frío (...) utilizados para soportar cargas en un edificio. Está permitido utilizarla para estructuras que no sean edificios siempre que los efectos dinámicos se consideren adecuadamente.

Este extracto de la Norma se aplica a elementos estructurales y chapas, como las definidas en la EN 1993-1-3.

Este extracto de la Norma se aplica a piezas de acero de estructuras mixtas diseñadas de acuerdo con el apartado correspondiente de la EN 1994.

Este extracto de la Norma puede ser usada para estructuras diseñadas de acuerdo con otras reglas de diseño, siempre que las condiciones de ejecución cumplan con ellas y cualquier requisito adicional esté incluido en el Pliego de especificaciones.

Este extracto de la Norma especifica los requisitos relativos a las clases de ejecución.

Este extracto de la Norma especifica los requisitos relativos a las tolerancias geométricas.

NOTA Las tolerancias geométricas requeridas por las reglas de diseño de la EN 1993 están cubiertas por los tipos de tolerancias esenciales.

Este extracto de la Norma proporciona los requisitos para la limpieza de las superficies previa a la preparación de superficies para la aplicación de un tratamiento protector. También de los requisitos y las pautas para la ejecución de la protección contra la corrosión de los aceros al carbono.

La Norma 1090-2 no cubre los requisitos para la estanqueidad o la resistencia a la permeabilidad del aire de las chapas (*sheeting*).

## 2 Normas para consulta

### 2.1 Generalidades

Los siguientes documentos a los que se hace referencia en el texto son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha, sólo se aplicará la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplicará la última edición de esa publicación (incluyendo cualquier enmienda).

### 2.2 Materiales

#### 2.2.1 Aceros

EN 10021, Acero y productos siderúrgicos. Condiciones técnicas generales de suministro.

EN 10025-1, Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 1: Condiciones técnicas generales de suministro.

EN 10025-2, Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados.

EN 10025-3, Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 3: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino en la condición de normalizado/laminado de normalización.

EN 10025-4, Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente.

EN 10029, Chapas de acero laminadas en caliente, de espesor igual o superior a 3 mm. Tolerancias dimensionales sobre la forma y sobre la masa.

EN 10048, Fleje de acero laminado en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma.

EN 10051, Chapas, bandas y flejes laminados en caliente en continuo, de acero aleado y no aleado, no recubiertos. Tolerancias dimensionales y sobre la forma.

EN 10131, Productos planos de acero laminados en frío, no recubiertos o recubiertos electrolíticamente de cinc o cinc-níquel, de acero de bajo contenido en carbono y de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Tolerancias dimensionales y de forma.

EN 10139, Flejes de acero bajo en carbono, no recubiertos para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.

EN 10140, Fleje de acero laminado en frío. Tolerancias dimensionales y de forma.

EN 10143, Chapas y bandas de acero con revestimiento metálico en continuo por inmersión en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma.

EN 10149-1, Productos planos laminados en caliente de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 1: Condiciones generales de suministro.

EN 10149-2, Productos planos laminados en caliente de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 2: Condiciones de suministro para aceros en estado de laminado termomecánico.

EN 10149-3, Productos planos laminados en caliente de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 3: Condiciones de suministro para aceros en estado de normalizado o laminado de normalización.

## **EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2**

EN 10169-1, Productos planos de acero, recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados). Parte 1: Generalidades (definiciones, materiales, tolerancias, métodos de ensayo).

EN 10169-2, Productos planos de acero, recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados). Parte 2: Productos para aplicaciones exteriores en la edificación.

EN 10169-3, Productos planos de acero, recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados). Parte 3: Productos para aplicaciones interiores en la edificación

EN 10204, Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección.

EN 10268, Productos planos de acero laminados en frío de alto límite elástico para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.

EN 10292, Bandas (chapas y bobinas) de acero de alto límite elástico, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.

EN 10326, Chapas y bandas de acero estructural recubiertas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.

EN 10327, Chapas y bandas de acero bajo en carbono recubiertas en continuo por inmersión en caliente para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.

ISO 4997, Chapas de acero al carbono laminadas en frío de calidad estructural.

### **2.2.2 Aceros moldeados**

### **2.2.3 Consumibles para el soldeo**

EN 439, Productos de aportación para el soldeo. Gases de protección para el soldeo y para el corte por arco eléctrico.

EN 440, Consumibles para el soldeo. Alambres y depósitos para el soldeo por arco con protección gaseosa de aceros no aleados y aceros de grano fino. Clasificación.

EN 756, Consumibles para el soldeo. Alambres y combinaciones alambres-fundentes macizos y tubulares para el soldeo por arco sumergido de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación.

EN 758, Consumibles para el soldeo. Alambres tubulares para el soldeo por arco con y sin gas de protección de aceros no aleados y aceros de grano fino. Clasificación.

EN 760, Consumibles para el soldeo. Fundentes para el soldeo por arco sumergido. Clasificación

EN 1668, Consumibles para el soldeo. Varillas, alambres y depósitos para el soldeo bajo atmosfera inerte con electrodo de tungsteno de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación.

EN 13479, Consumibles para el soldeo. Norma general de producto para metales de aportación y fundentes para el soldeo por fusión de materiales metálicos.

EN ISO 2560, Consumibles para soldeo. Electrodo recubiertos para el soldeo manual al arco de aceros no aleados y de grano fino. Clasificación (ISO 2560:2002).

### **2.2.4 Fijaciones**

EN 15048-1, Uniones atornilladas sin precarga - Parte 1: Requisitos generales.

EN 20898-2, Características mecánicas de los elementos de fijación. Parte 2: tuercas con valores de carga de prueba especificados. Rosca de paso grueso. (ISO 898-2:1992). (Versión oficial EN 20898-2:1993).

EN ISO 898-1, Características mecánicas de los elementos de fijación fabricados de aceros al carbono y de aceros aleados. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones. (ISO 898-1:1999).

EN ISO 1479, Tornillos autorroscantes con cabeza hexagonal. (ISO 1479:1983).

EN ISO 1481, Tornillos autorroscantes con cabeza cilíndrica, redondeada y ranurada. (ISO 1481:1983).

EN ISO 2320, Tuercas hexagonales autofrenadas de acero. Características mecánicas y funcionales. (ISO 2320:1997).

EN ISO 3506-1, Características mecánicas de los elementos de fijación de acero inoxidable resistente a la corrosión. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones. (ISO 3506-1:1997).

EN ISO 3506-2, Características mecánicas de los elementos de fijación de acero inoxidable resistente a la corrosión. Parte 2: Tuercas. (ISO 3506-2:1997).

EN ISO 6789, Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración (ISO 6789:2003).

EN ISO 7040, Tuercas hexagonales autofrenadas, (con anillo no metálico), de tipo 1. Clases de calidad 5, 8 y 10. (ISO 7040:1997).

EN ISO 7042, Tuercas hexagonales autofrenadas todo metal, de tipo 2. Clases de calidad 5, 8, 10 y 12. (ISO 7042:1997).

EN ISO 7049, Tornillos autorroscantes con cabeza redondeada y hueco cruciforme. (ISO 7049:1983).

EN ISO 7719, Tuercas hexagonales autofrenadas todo metal, de tipo 1. Clases de calidad 5, 8 y 10. (ISO 7719:1997).

EN ISO 10511, Tuercas hexagonales delgadas autofrenadas (con anillo no metálico). (ISO 10511:1997).

EN ISO 10512, Tuercas hexagonales autofrenadas (con anillo no metálico), de tipo 1, con rosca métrica de paso fino. Clases de calidad 6, 8 y 10. (ISO 10512:1997).

EN ISO 10513, Tuercas hexagonales autofrenadas todo metal, de tipo 2, de rosca métrica de paso fino. Clases de calidad 8, 10 y 12. (ISO 10513:1997).

EN ISO 10684, Elementos de fijación. Recubrimientos por galvanización en caliente (ISO 10684:2004).

EN ISO 15480, Tornillos autotaladrantes con cabeza hexagonal de arandela, con rosca autorroscante. (ISO 15480:1999).

EN ISO 15976, Remaches ciegos de vástago a rotura, cuerpo cerrado y cabeza alomada. St/St (ISO 15976:2002).

EN ISO 15979, Remaches ciegos de vástago a rotura, cuerpo abierto y cabeza alomada. St/St. (ISO 15979:2002).

EN ISO 15980, Remaches ciegos de vástago a rotura, cuerpo abierto y cabeza avellanada. St/St. (ISO 15980:2002).

EN ISO 15983, Remaches ciegos de vástago a rotura, cuerpo abierto y cabeza alomada. A2/A2. (ISO 15983:2002).

EN ISO 15984, Remaches ciegos de vástago a rotura, cuerpo abierto y cabeza avellanada. A2/A2. (ISO 15984:2002).

## **EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2**

ISO 10509, Tornillos autorroscantes de cabeza hexagonal con brida.

### **2.3 Preparación**

EN ISO 9013, Corte térmico. Clasificación de los cortes térmicos. Especificación geométrica de los productos y tolerancias de calidad (ISO 9013:2003).

ISO 286-2, (UNE EN 20286-2:1996) Sistema ISO de tolerancias y ajustes. Parte 2: Tablas de los grados de tolerancia normalizados y de las desviaciones límite de los agujeros y de los ejes. (ISO 286-2:1988).

CEN/TR 10347, Guía para la conformación de los aceros estructurales en proceso.

### **2.4 Soldeo**

EN 287-1, Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.

EN 1011-1:1998, Soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 1: Directrices generales para el soldeo por arco.

EN 1011-2:2001, Soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 2: Soldeo por arco de los aceros ferríticos.

EN 1418, Personal de soldadura. Ensayos de cualificación de los operadores de soldeo para el soldeo por fusión y de los ajustadores de soldeo por resistencia para el soldeo automático y totalmente mecanizado de materiales metálicos.

EN ISO 3834, (Todas las partes) Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. (ISO 3834:2005).

EN ISO 4063, Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia (ISO 4063:1998).

EN ISO 5817, Soldeo. Uniones soldadas por fusión de acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones). Niveles de calidad para las imperfecciones (ISO 5817:2003).

EN ISO 9692-1, Soldeo y procesos afines. Recomendaciones para la preparación de la unión. Parte 1: Soldeo por arco con electrodos revestidos, soldeo por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldeo por llama, soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldeo por haz de alta energía de aceros (ISO 9692-1:2003).

EN ISO 14373, Soldeo por resistencia. Procedimiento para la soldadura por puntos de aceros bajos en carbono revestidos y sin revestir. (ISO 14337:2000).

EN ISO 14554, (Todas las partes) Requisitos de calidad para el soldeo. Soldeo por resistencia de materiales metálicos. (ISO 14554:2000).

EN ISO 14731, Coordinación del soldeo. Tareas y responsabilidades. (ISO 14731:2006).

EN ISO 15609-1, Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco. (ISO 15609-1:2004).

EN ISO 15609-5, Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo. Parte 5: Soldeo por resistencia (ISO 15609-5:2004).

EN ISO 15610, Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación basada en el empleo de consumibles de soldeo ensayados (ISO 15610:2003).

EN ISO 15611, Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación mediante experiencia previa de soldeo (ISO 15611:2003).

EN ISO 15612, Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación por adopción de un procedimiento de soldeo estándar. (ISO 15612:2004).

EN ISO 15613, Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación mediante ensayos de soldeo anteriores a la producción (ISO 15613:2004).

EN ISO 15614-1, Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco de níquel y sus aleaciones. (ISO 15614-1:2004).

EN ISO 16432, Soldeo por resistencia. Procedimiento para el soldeo por protuberancias de aceros bajos en carbono revestidos y sin revestir mediante protuberancias embutidas (ISO 16432:2006).

EN ISO 16433, Soldeo por resistencia. Procedimiento para el soldeo por costura de aceros bajos en carbono revestidos y sin revestir. (ISO 16433:2006).

CEN ISO/TR 3834-6, Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Parte 6: Pautas para la implementación de la ISO 3834 (ISO/TR 3834-6:2007).

## **2.5 Ensayos**

EN 473, Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos. Principios generales.

EN 571, Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes.

EN 970, Examen no destructivo de soldaduras por fusión. Examen visual.

EN 1290, Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen de uniones soldadas mediante partículas magnéticas.

EN 1435, Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Examen radiográfico de uniones soldadas.

EN 1713, Ensayo no destructivo de soldaduras. Ensayo ultrasónico. Caracterización de las indicaciones en las uniones soldadas.

EN 1714, Examen no destructivo de soldaduras. Examen ultrasónico de uniones soldadas.

EN 12062, Examen no destructivo de soldaduras. Reglas generales para los materiales metálicos.

EN ISO 9018, Ensayos destructivos en soldaduras de materiales metálicos. Ensayo de tracción en uniones en cruz y con solape (ISO 9018:2003).

EN ISO 10447, Soldeo por resistencia. Ensayos de pelado y de cincelado en soldaduras por puntos y protuberancias. (ISO 10447:2006).

## **2.6 Montaje**

ISO 4463-1, Métodos de medición para la edificación. Replanteo y medición. Parte 1: Planificación y organización, procedimientos de medición, criterios de aceptación.

ISO 7976-1, Tolerancias para la edificación. Método de medición de edificios y de productos de edificación. Parte 1: Métodos e instrumentos.

ISO 7976-2, Tolerancias para la edificación. Método de medición de edificios y de productos de edificación. Parte 2: Posición de los puntos de medición.

## **EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2**

ISO 17123, (Todas las partes) Óptica e instrumentos ópticos. Procedimientos de campo para el ensayo de los instrumentos geodésicos y los instrumentos de inspección.

### **2.7 Protección contra la corrosión**

EN 14616, Proyección térmica. Recomendaciones para la proyección térmica.

EN 15311, Proyección térmica. Elementos con recubrimiento de proyección térmica. Condiciones técnicas de suministro.

EN ISO 1461:1999, Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo. (ISO 1461:1999).

EN ISO 2063, Proyección térmica. Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Cinc, aluminio y sus aleaciones (ISO 2063:2005).

EN ISO 2808, Pinturas y barnices. Determinación del espesor de película. (ISO 2808:2007).

EN ISO 8501, (Todas las partes) Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies.

EN ISO 8503-1, Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 1: Especificaciones y definiciones relativas a las muestras ISO de comparación táctil-visual para la evaluación de superficies preparadas mediante proyección de agentes abrasivos. (ISO 8503-1:1988).

EN ISO 8503-2, Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 2: Método para caracterizar un perfil de superficie de acero decapado por proyección de agentes abrasivos. Utilización de muestras ISO de comparación táctil-visual. (ISO 8503-2:1988).

EN ISO 12944, (Todas las partes) Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores.

EN ISO 14713, Protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc y aluminio. Directrices. (ISO 14713:1999).

ISO 19840, Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Medición y criterios de aceptación para el espesor de las películas secas sobre superficies rugosas.

ISO 8501-3, Preparación de superficies de acero antes de la aplicación de pinturas y productos afines. Inspección visual de la limpieza de la superficie. Parte 3: Grados de preparación de soldaduras, bordes cortados y otras superficies con imperfecciones.

### **2.8 Tolerancias**

EN ISO 13920, Soldeo. Tolerancias generales en construcciones soldadas. Dimensiones de longitudes y ángulos. Forma y posición. (ISO 13920:1996).

### **2.9 Miscelánea**

EN 508-1, Productos para cubiertas de chapa metálica. Especificación para las chapas autoportantes de acero, aluminio o acero inoxidable. Parte 1: Acero.

EN 508-3, Productos para cubiertas de chapa metálica. Especificación para las chapas autoportantes de acero, aluminio o acero inoxidable. Parte 3: Acero inoxidable.

EN 1993-1-8, Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero. Parte 1-8: Diseño de juntas.

ISO 2859-5, Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 5: Sistema de planes de muestreo secuencial indexados mediante aprobación de límite de calidad (ALQ) para la inspección por lotes.

### 3 Términos y definiciones

Para el propósito de este documento, se aplican las definiciones siguientes:

#### 3.1

##### **Obra de construcción** (*construction works*)

Todo lo que sea construido o resulte de las operaciones de construcción. Este término incluye tanto las obras de edificación como las de ingeniería civil. Se refiere al conjunto de la construcción, incluyendo tanto elementos estructurales como no estructurales.

#### 3.2

##### **Obra** (*works*)

Parte de las obras de construcción que son “construcciones metálicas” (*structural steelwork*).

#### 3.3

##### **Construcción metálica** (*structural steelwork*)

Estructuras de acero o elementos de acero manufacturados usados en las obras de construcción.

#### 3.4

##### **Constructor**

Persona u organización que ejecuta la obra (el proveedor en la EN ISO 9000)

#### 3.5

##### **Estructura**

Véase la norma EN 1990.

*EN 1990 [30]*

#### 1.5.1.6

##### **Estructura**

Combinación ordenada de elementos conectados diseñados para soportar cargas y dar una rigidez suficiente.

#### 3.6

##### **Fabricación**

Incluye todas las actividades requeridas para producir y suministrar un elemento. Según corresponda, este término comprende, por ejemplo, la fabricación, la preparación y el ensamblaje, el soldeo, la unión mecánica, el transporte, el tratamiento superficial y la inspección y la documentación respectiva.

#### 3.7

##### **Ejecución**

Todas las actividades realizadas para completar físicamente la obra, por ejemplo: fabricación, soldadura, unión mecánica, transporte, montaje, tratamiento superficial y la inspección y documentación respectiva.

#### 3.7.1

##### **Pliego de especificaciones**

Documentación que recoge los datos y requisitos técnicos de una estructura de acero en particular, incluyendo aquéllos que se especifican para suplementar y matizar las reglas de la EN 1090-2.

NOTA 1 El Pliego de especificaciones incluye aquellos requisitos que el presente extracto de la norma EN 1090-2 señala que deberán ser especificados.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

NOTA 2 El Pliego de especificaciones puede interpretarse como un conjunto completo de requisitos para fabricar e instalar los elementos estructurales de acero, con los requisitos de fabricación dados en un conjunto de especificaciones según la prEN 1090-1.

### 3.7.2

#### **Clase de ejecución**

Conjunto clasificado de requisitos exigidos para la ejecución de la obra como conjunto, de un elemento individual o de un detalle de un elemento.

### 3.8

#### **Categoría de uso**

Categoría que caracteriza a un elemento en términos de las circunstancias de uso.

### 3.9

#### **Categoría de ejecución**

Categoría que caracteriza a un elemento en términos de los métodos empleados para su ejecución.

### 3.10

#### **Producto de acero** (*constituent product*)

Material y producto utilizado para la fabricación de un componente y que forma parte de él, como por ejemplo: el acero estructural, elementos de unión, consumibles para el soldeo.

### 3.11

#### **Elemento o componente**

Parte de una estructura de acero, que puede estar compuesta por el ensamblaje de varios elementos menores.

#### 3.11.1

##### **Elemento conformado en frío**

Véase la EN 10079 y la EN 10131.

### 3.12

#### **Preparación**

Todas las actividades llevadas a cabo en el acero para producir las partes listas para el ensamblaje y su inclusión en elementos. Según corresponda, este término incluye, por ejemplo, la identificación, la manipulación y el almacenamiento, el corte, la conformación y la perforación.

### 3.13

#### **Método básico de proyecto de montaje**

Esbozo de un método de montaje sobre el que se basa el proyecto (también conocido como secuencia de montaje de proyecto).

#### 3.13.1

##### **Memoria del método de montaje**

Documentación que describe los procedimientos que serán empleados para montar la estructura.

### 3.14

#### **No conformidad**

Véase la norma EN ISO 9000.

*EN ISO 9000 [31]*

### **3 Términos y definiciones**

#### **No conformidad**

Incumplimiento de un requisito.

#### **Requisito**

Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

NOTA 1 “Generalmente implícita” significa que es habitual o una práctica común para la organización, sus

clientes y otras partes interesadas que la necesidad o expectativa bajo consideración esté implícita.

NOTA 2 Pueden utilizarse calificativos para identificar un tipo específico de requisito, por ejemplo, requisito de un producto, requisito de la gestión de la calidad, requisito del cliente.

NOTA 3 Un requisito especificado es aquél que está establecido, por ejemplo, en un documento (registro, especificación, plano)

### 3.15

#### **NDT adicional o ensayo no destructivo adicional (NDT, *Non Destructive Testing*)**

Técnica de ensayo no destructivo que es adicional a la inspección visual, como por ejemplo, el ensayo por partículas magnéticas, por líquidos penetrantes, corrientes de inducción (*Eddy current*), por ultrasonidos o por radiografía.

### 3.16

#### **Tolerancia**

Véase la ISO 1803.

*ISO 1803 [32]*

#### **Tolerancia**

La variación permitida de una medida de referencia especificada.

#### 3.16.1

##### **Tolerancia básica**

Límites básicos para la tolerancia geométrica necesarios para satisfacer las hipótesis de cálculo de la estructura, en relación a la resistencia mecánica y la estabilidad.

#### 3.16.2

##### **Tolerancia funcional**

Tolerancia geométrica que puede ser requerida para otra función distinta de la resistencia mecánica y la estabilidad, como puede ser la apariencia o el ajuste.

#### 3.16.3

##### **Tolerancia especial**

Tolerancia geométrica que no está recogida en los tipos de tolerancia tabulados y los valores de tolerancias dados en la EN 1090-2, y que necesita ser especificada en cada caso particular.

#### 3.16.4

##### **Tolerancia de fábrica**

Rango admisible en la dimensión de un elemento como resultado de su fabricación.

## 4 DOCUMENTACIÓN

### 4.1 Pliego de especificaciones

#### 4.1.1 Generalidades

Antes de comenzar la ejecución de cualquier parte de la obra deberá completarse la información requerida dentro del Pliego de especificaciones que corresponda a dicha parte de la obra. Deberá haber un procedimiento para introducir modificaciones en la información acordada previamente dentro del Pliego de especificaciones. El Pliego de especificaciones considerará de los siguientes puntos los que sean aplicables:

- a) Información adicional, de acuerdo con lo indicado en el apartado A.1
- b) Opciones, de acuerdo con lo indicado en el apartado A.2
- c) Clases de ejecución, véase el apartado 4.1.2

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

- d) Grados de preparación, véase el apartado 4.1.3
- e) Clases de tolerancia, véase el apartado 4.1.4
- f) Requisitos técnicos a considerar para la seguridad de la obra, véanse los apartados 4.2.3 y 9.2

### 4.1.2 Clases de ejecución

Existen cuatro clases de ejecución de la 1 a la 4, denotadas como EXC1 a EXC4, en las que las exigencias técnicas aumentan desde la EXC1 hasta la EXC4.

Las clases de ejecución pueden aplicarse a la totalidad de la estructura o a una parte o a detalles específicos. Una estructura puede incluir varias clases de ejecución. Normalmente, un detalle o grupo de detalles serán incluidos en una misma clase de ejecución. De todos modos, la elección de una clase de ejecución no tiene por qué ser necesariamente la misma para todos los requisitos.

Si no hay ninguna clase de ejecución especificada, se aplicará la EXC2.

La lista de los requisitos relativos a las clases de ejecución se encuentra en el apartado A.3.

En el Anejo B se encuentra una orientación para la elección de las clases de ejecución.

NOTA La elección de las clases de ejecución está relacionada con las categorías de ejecución y las categorías de uso, ligadas a los "niveles de riesgo" (*consequence classes*, CC) como se definen en el Anejo B de la EN 1990:2002.

### 4.1.3 Grados de preparación

Existen tres grados de preparación, denotados del P1 al P3 de acuerdo con la ISO 8501-3, en los que las exigencias técnicas aumentan desde el P1 hasta el P3.

NOTA Los grados de preparación están relacionados con la vida útil nominal de la protección contra la corrosión y de las categorías de corrosividad como se define en el apartado 10.

Los grados de preparación se pueden aplicar a la totalidad de la estructura o a una parte o a detalles específicos. Una estructura puede incluir varios grados de preparación. Normalmente, un detalle o grupo de detalles suele tener un grado de preparación específico, pero no necesariamente. Puede haber detalles que tengan más de un grado de preparación.

#### Comentario 2: "Detalles con más de un grado de preparación"

Un mismo detalle puede tener más de un grado de preparación, cuando ese detalle se ubica en distintos puntos de la estructura y es sometido a distintas condiciones. El interesado en saber cuál es el grado de preparación que tiene que tener un producto es el aplicador del tratamiento de pintura.

### 4.1.4 Tolerancias geométricas

Se definen dos tipos de tolerancias geométricas en el apartado 11.1:

- a) Tolerancias geométricas
- b) Tolerancias funcionales, con dos clases en los que la exigencia de los requisitos aumenta desde la clase 1 hasta la clase 2.

## 4.2 Documentación del constructor

### 4.2.1 Documentación de calidad

Para las clases de ejecución EXC2, EXC3 y EXC4 se documentarán los siguientes puntos:

- a) La asignación de tareas y de autoridad durante las distintas fases del proyecto
- b) Los procedimientos, los métodos y las instrucciones de trabajo que deben aplicarse
- c) Un plan de inspección específicos para la obra
- d) Un procedimiento para manejar cambios y modificaciones
- e) Un procedimiento para resolver no conformidades, peticiones de concesiones y disputas sobre calidad
- f) Cualquier “punto de espera” (*hold point*) o requisito para verificar inspecciones o ensayos y todos los requisitos consiguientes al acceso.

#### 4.2.2 Plan de calidad

Deberá especificarse si se requiere un plan de calidad para la ejecución de la obra.

NOTA La norma EN ISO 9000 da la definición de plan de calidad

*EN ISO 9000 [31]*

### 3 Términos y definiciones

#### Plan de calidad

Documento que especifica qué procedimientos y recursos asociados deben aplicarse, quién debe aplicarlos y cuándo deben aplicarse a un proyecto, producto, proceso o contrato específico.

NOTA 1 Estos procedimientos generalmente incluyen los relativos a los procesos de gestión de la calidad y los procesos de realización del producto.

NOTA 2 Un plan de la calidad hace referencia con frecuencia a partes del manual de la calidad o a procedimientos documentados.

NOTA 3 Un plan de la calidad es generalmente uno de los resultados de la planificación de la calidad.

Deberá contener:

- a) Un documento de gestión general que deberá tratar los siguientes aspectos:
  - Estudio de los requisitos especificados comparado con las capacidades del proceso.
  - Diagrama de organización (organigrama) y plantilla directiva responsable de cada aspecto de la ejecución.
  - Principios y dispositivos de organización para la inspección, incluyendo la asignación de las responsabilidades para cada tarea de inspección.
- b) La documentación de calidad previa a la ejecución, como se define en el apartado 4.2.1. Los documentos estarán listos antes de la ejecución del trabajo al que hacen referencia.
- c) Los registros de ejecución que son los registros reales de las inspecciones y las comprobaciones llevadas a cabo en sí, o que demuestran la cualificación o la certificación de los recursos implementados. Los registros de ejecución relacionados con puntos de espera que afectan a la continuación de la ejecución se redactarán antes de superar ese punto.

El Anejo C contiene una “lista de comprobaciones” (*check-list*) para el contenido del plan de calidad recomendado para la ejecución de estructuras de acero con referencia a las pautas generales de la ISO 10005.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

### 4.2.3 Seguridad en los trabajos de montaje

Las instrucciones de los métodos de trabajo cumplirán con los requisitos técnicos relacionados con la seguridad en los trabajos de montaje, como se define en los apartados 9.2 y 9.3.

### 4.2.4 Documentación de ejecución

Se preparará una documentación suficiente durante la ejecución y como registro de la estructura construida, para demostrar que la obra se ha llevado a cabo de acuerdo con el Pliego de especificaciones.

## 5 Productos de acero (*constituent steel products*)

### 5.1 Generalidades

Generalmente los productos de acero usados para la ejecución de estructuras de acero conformado en frío se seleccionarán a partir de las Normas Europeas respectivas incluidas en los siguientes apartados. Si van a emplearse productos de acero no contemplados en este conjunto de normas, deberán especificarse sus propiedades.

Las definiciones y los requisitos de la EN 10021, "Requisitos generales de suministro de productos de acero", ha se aplicarán junto con aquéllos de las normas europeas del producto respectivas.

### 5.2 Identificación, documentos de inspección y trazabilidad

Las propiedades de los productos de acero suministrados deberán documentarse de forma que puedan ser comparadas con las propiedades requeridas. Su conformidad con la norma del producto pertinente se comprobará según el apartado 12.2.

Para los productos metálicos, los documentos de inspección según la EN 1020 serán los que se indican en la Tabla 3.

**Tabla 1– Documentos de inspección para los productos metálicos**

Producto de acero	Documentos de inspección
Aceros estructurales (Tabla 3)	según la Tabla B.1 de la EN 10025-1 <sup>a</sup>
Consumibles para el soldeo (Tabla 5)	2.2
Uniones atornilladas estructurales	2.1
Tornillos roscachapa y remaches ciegos	2.1
Espárragos para el soldeo de espárragos por arco	2.1

<sup>a</sup> La norma EN 10025-1 exige que los elementos incluidos en la fórmula CEV deban presentarse en el documento de inspección. La presentación de los elementos añadidos exigidos por la EN 10025-2 debería incluir AL, Nb y Ti.

Para la EXC3 y la EXC4, los productos de acero deberán ser identificables en todas las etapas, desde la recepción hasta la entrega, después de su incorporación a la obra.

NOTA La trazabilidad puede estar basada en registros documentales por lotes de producto asignados a procesos de producción comunes, a menos que se especifique una única trazabilidad.

Para la EXC2, la EXC3 y la EXC4, si circulan conjuntamente distintos grados y/o tipos de productos de acero, cada artículo se designará con una marca que identifique su grado respectivo.

Los métodos de marcaje deberán estar de acuerdo con los indicados en el artículo 6.2.

Si se requiere el marcado, los productos de acero no marcados serán tratados como productos no conformes.

**Comentario 3:** “Aclaración sobre los grados, calidades y tipos de acero”

Cuando hablamos de “tipos de acero” (a veces se utiliza “calidades de acero”), nos referimos al valor mínimo especificado del límite elástico del acero. Cuando hablamos de “grados de acero”, nos referimos a la soldabilidad.

La norma UNE 10027-1 establece las reglas para la designación simbólica de los aceros mediante símbolos numéricos y letras que expresan ciertas características básicas, por ejemplo, mecánicas, químicas, físicas, de aplicación, necesarias para establecer una designación abreviada de los aceros [33].

*Instrucción EAE [28]*

**27.1 Aceros laminados en caliente**

Los aceros laminados en caliente utilizables a los efectos de esta Instrucción son los que corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 27.1a.

Tabla 27.1a: Aceros laminados en caliente

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

...Todos los tipos y grados de acero de la tabla 27.1a son, generalmente, aptos para el soldeo por todos los procedimientos, siendo creciente la soldabilidad desde el grado JR hasta el K2.

**5.3 Productos de acero**

**5.3.1 Generalidades**

Las propiedades de los productos de acero que vayan a emplearse en la fabricación de elementos conformados en frío deberán ser las adecuadas para el proceso de conformación en frío. Los aceros al carbono adecuados para la conformación en frío se indican en la Tabla 3.

Los tipos, las calidades y, si es oportuno, los espesores de los recubrimientos y los acabados deberán especificarse junto con cualquier otra opción requerida que sea permitida por la norma del producto, incluidas aquellas relacionadas con la idoneidad de los galvanizados en caliente, si procede.

Tabla 3 – Normas de producto para bandas y chapas adecuadas para conformación en frío

Productos	Requisitos técnicos de suministro	Tolerancias
Aceros estructurales no aleados	EN 10025-2	EN 10051
Aceros estructurales soldables de grano fino	EN 10025-3, EN 10025-4	EN 10051
Aceros de alto límite elástico para conformado en frío	EN 10149-1, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10268	No disponible
Aceros laminados en frío	ISO 4997	EN 10131
Aceros galvanizados en continuo por inmersión en caliente	EN 10292, EN 10326, EN 10327	EN 10143
Productos planos de acero recubiertos en continuo de materias orgánicas	EN 10169-2, EN 10169-3	EN 10169-1
Flejes	EN 10139	EN 10048 EN 10140

### 5.3.2 Tolerancias de espesor

De acuerdo con la EN 10029, las tolerancias para el espesor de chapas de acero estructural serán tal y como sigue, salvo que se especifique lo contrario.

- Para la clase EXC4: Clase B
- Para otros elementos estructurales se usará la clase A de espesor, salvo que se especifique lo contrario.

#### Comentario 4: "Normas aplicables para las tolerancias en el espesor"

En la norma EN 1993-1-3 [34] se recomiendan los siguientes valores para los rangos de espesor del núcleo de acero  $t_{cor}$  de perfiles y chapas de paredes delgadas conformados en frío:

- para chapas y perfiles:  $0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15 \text{ mm}$
- para uniones:  $0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 4 \text{ mm}$

La norma EN 10029 "Chapas de acero laminadas en caliente de espesor 3 mm o superior - Tolerancias en dimensiones, forma y masa" sólo sería aplicable para las chapas y perfiles con espesor comprendido entre  $3 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 15 \text{ mm}$ . Estos espesores son muy poco frecuentes. Los espesores habituales para chapas son de 0,6 mm a 1,0 mm, para perfiles de correas de 2,0 mm a 4,0 mm y para perfiles de viviendas unifamiliares de 1,0 mm a 3,0 mm.

Para el rango de espesor comprendido entre  $0,45 \text{ mm} \leq t_{cor} \leq 3 \text{ mm}$ , se aplicará lo indicado en la norma EN 10143 "Chapas y bobinas de acero con revestimiento metálico en continuo por inmersión en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma", tal como se indica en la norma EN 1993-1-3, apartado 3.2.4.

### 5.3.3 Condiciones de las superficies

Los requisitos para las condiciones de la superficie serán de Clase A para las chapas y planos anchos de acuerdo con los requisitos de la EN 10163-2.

Cuando se requieran condiciones más estrictas para chapas en las clases EXC3 y EXC4, deberán ser especificadas.

Se deberán especificar también los requisitos adicionales relacionados con restricciones especiales en las imperfecciones superficiales o reparación de los defectos superficiales con amolado de acuerdo con la EN 10163.

**Comentario 5: “Normas aplicables para la condición de las superficies”**

La norma EN 10163-2 “*Condiciones de suministro relativas al acabado superficial de chapas, bandas, planos anchos y perfiles de acero laminados en caliente. Parte 2: Chapas y planos anchos*” es una norma de uso general para los productos de acero y se refiere a productos de espesor superior a 4 mm, raramente usados en construcción ligera.

Las normas de condición de superficie de los productos habitualmente utilizados en las estructuras ligeras son:

- La norma EN 10143 “*Chapas y bobinas de acero con revestimiento metálico en continuo por inmersión en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma*”, para los productos de acero con recubrimiento metálico.
- La norma EN 10169 “*Productos planos de acero, recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados)*”, para los productos de acero con recubrimiento orgánico.

Los requisitos del acabado superficial de otros productos se especificarán en términos de las normas europeas o internacionales que sean apropiadas.

Si se requiere de un acabado decorativo o especial y la norma pertinente no lo define adecuadamente, éste deberá especificarse.

La condición de la superficie de los productos de acero será tal que puedan ser alcanzados los requisitos pertinentes para la grado de preparación de acuerdo con el apartado 10.2.

**5.3.4 Propiedades especiales****Apartado excluido**

Las propiedades a las que se refiere este apartado:

- las clases de calidad de las discontinuidades internas en uniones cruciformes, diafragmas de apoyo y rigidizadores, recogidas en la norma EN 10160
- las propiedades de deformación perpendicular a la superficie de los productos de acero, recogidas en la norma EN 10164

no son materia de este trabajo. Estas propiedades se aplican en chapas gruesas o diafragmas de apoyo de puentes.

**5.4 Aceros moldeados****Apartado excluido**

Los aceros moldeados se solían usar para elementos de formas complejas, difíciles de obtener con uniones remachadas o atornilladas [35]. La aparición de la soldadura ha reducido mucho su uso. Hoy se usa en piezas muy cargadas y con posibilidad de giro o deslizamiento sobre otras (por ejemplo, en aparatos de apoyos de cubiertas o puentes, o también en nudos esféricos en los que confluyen barras tubulares atornilladas para cubiertas del tipo “malla espacial”).

**5.5 Consumibles para el soldeo**

Todos los consumibles para el soldeo deberán cumplir los requisitos de la EN 13479 y las normas del producto apropiadas de acuerdo con lo indicado en la Tabla 5.

**Comentario 6: “Soldeo de elementos de paredes delgadas”**

Existen dos tipos de soldadura aplicables a las chapas y los perfiles de paredes delgadas [36]:

- *Soldeo por resistencia*: Grupo de procesos de soldadura que une piezas por el calor obtenido de la resistencia al flujo de corriente eléctrica. Se aplica presión para soldar las piezas entre sí.
- *Soldeo por fusión*: soldeo que conlleva una fusión localizada sin aplicación de fuerza exterior, en el que la(s) superficie(s) a unir tienen que fundirse con o sin adición de metal de aportación.

**Tabla 5 – Normas del producto para los consumibles para el soldeo**

<b>Consumibles para el soldeo</b>	<b>Normas de producto</b>
Gases de protección para el soldeo y para el corte por arco eléctrico	EN 439
Alambres y depósitos para el soldeo por arco con protección gaseosa de aceros no aleados y aceros de grano fino	EN 440
Alambres y combinaciones alambres-fundentes macizos y tubulares para el soldeo por arco sumergido de aceros no aleados y de grano fino	EN 756
Alambres tubulares para el soldeo por arco con y sin gas de protección de aceros no aleados y aceros de grano fino	EN 758
Fundentes para el soldeo por arco sumergido	EN 760
Varillas, alambres y depósitos para el soldeo bajo atmósfera inerte con electrodo de tungsteno de aceros no aleados y de grano fino	EN 1668
Electrodos recubiertos para el soldeo manual al arco de aceros no aleados y de grano fino	EN ISO 2560

El tipo de consumibles para el soldeo deberán ser apropiados al proceso de soldeo, el material al que soldará y al procedimiento de soldeo.

Para los aceros de calidad superior a la S355, el uso de consumibles y fundentes con un índice de basicidad medio-alto se recomienda para los procesos de soldadura: 111, 114, 121, 122, 136, 137 (véase el apartado 7.3 para la definición de los procesos de soldadura).

**Comentario 7: “Soldeo de aceros resistentes a la intemperie”**

Los aceros resistentes a la intemperie conforme a la norma 10025-5 no se emplean para fabricar chapas ni elementos conformados en frío utilizados en construcciones ligeras. Los aceros empleados son aceros al carbono no aleados o de grano fino, con recubrimientos metálicos protectores.

Un ejemplo de este tipo de acero es el acero corten, de un color rojizo característico, muy utilizado en arquitectura (cerramientos, suelos, fachadas...) [37]. También se ha utilizado en construcción de esculturas y en puentes.

**5.6 Fijaciones mecánicas**

**5.6.1 Generalidades**

La resistencia a la corrosión de los conectores, fijaciones y arandelas de sellado deberá ser comparable a la especificada para los elementos a unir.

La galvanización de las fijaciones deberá cumplir la EN ISO 10684.

Los elementos individuales que forman parte de una unión pueden tener distintos revestimientos protectores siempre que sean compatibles.

### 5.6.2 Terminología

En el siguiente texto se usan las abreviaturas siguientes:

- a) “tornillo” significa: “tornillo de cabeza hexagonal”
- b) “tuerca” significa: “tuerca hexagonal”
- c) “arandela” significa: “arandela plana o arandela plana de chaflán simple”
- d) “unión atornillada” significa: “un tornillo con una tuerca y la(s) arandela(s) necesaria(s)”

### 5.6.3 Uniones atornilladas no pretensadas

Las uniones atornilladas estructurales en aplicaciones no pretensadas deberán cumplir con la EN 15048-1.

Para uniones atornilladas no pretensadas pueden ser utilizados uniones atornilladas conforme a la EN 14399-1.

#### Comentario 8: “Empleo de tornillos según la EN 14399-1”

No es aconsejable el empleo de uniones atornilladas según la EN 14399-1 “*Pernos estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 1: Requisitos generales*”.

En general, la resistencia de las uniones atornilladas en estructura metálica ligera está condicionada por la resistencia al aplastamiento de la chapa y no por la resistencia a cortante del tornillo [38]. Esto se debe a que la resistencia al aplastamiento depende del espesor de la chapa que, en el caso de piezas de paredes delgadas, es muy pequeño.

Los tornillos utilizados en las uniones pretensadas son de alta resistencia (grados 8.8 y 10.9). Esta elevada tensión de rotura supone, si se utilizasen para unir elementos de paredes delgadas, un aprovechamiento muy reducido de las propiedades de estos tornillos. Por este motivo, los tornillos normalmente utilizados en construcción ligera son de grado 4.6 y 5.6.

Deberán especificarse los grados (*property classes*) de los conjuntos tornillo-tuerca y, si es oportuno, los acabados superficiales junto con cualquier otra opción requerida que esté permitida por la norma del producto.

Las propiedades mecánicas deberán ser especificadas para:

- a) Uniones atornilladas de aceros al carbono y aleados con mayores diámetros que los especificados en la EN ISO 898-1 y la EN 20898-2.
- b) Uniones atornilladas de aceros inoxidables austeníticos con mayores diámetros que los especificados en la EN ISO 3506-1 y la EN 3506-2.
- c) Tornillos austenítico-ferríticos.

### 5.6.4 Uniones estructurales pretensadas

#### Apartado excluido

En las estructuras ligeras de acero no suelen realizarse uniones estructurales pretensadas debido a:

- Poco aprovechamiento de las propiedades de los tornillos de alta resistencia empleados, como se explica en el comentario anterior (comentario 8).
- Los productos con revestimiento metálico tienen un coeficiente de rozamiento muy bajo. Para poder realizar esta unión debería realizarse un tratamiento de superficie que destruiría el revestimiento en la zona, con lo que debería realizarse un tratamiento de protección una vez finalizada la unión. Esto reduce la velocidad de ejecución y aumenta el coste de la estructura.

### 5.6.5 Indicadores de tensión directa

#### Apartado excluido

Los indicadores de tensión directa se utilizan para controlar el apretado de los tornillos pretensados hasta que se alcanza la tensión mínima. Dado que las uniones pretensadas no se emplean en construcción ligera, estos indicadores de tensión tampoco.

### 5.6.6 Uniones (*assemblies*) resistentes a la intemperie

Las uniones resistentes a la intemperie deberán cumplir con los requisitos de la EN 15048-1.

Deberán estar hechas con un material resistente a la corrosión atmosférica, y su composición química deberá ser especificada.

NOTA Las fijaciones del Tipo 3 Grado A de la norma ATSM podrían ser adecuados [39].

### 5.6.7 Pernos de cimentación

#### Apartado excluido

Los pernos de cimentación se emplean para la fijación de las bases de los pilares de las estructuras metálicas y suelen ir embebidos en el hormigón de la cimentación del pilar. Este sistema no se suele emplear en las estructuras ligeras.

En su lugar, los carriles o durmientes (*tracks*) se anclan a la cimentación mediante anclajes metálicos de expansión o anclajes químicos. Este tipo de anclaje no está recogido en la norma prEN 1090-2. Deberán seguirse las recomendaciones del fabricante.

### 5.6.8 Dispositivos de bloqueo

Deberá especificarse la necesidad de emplear dispositivos de bloqueo, como las “tuercas de seguridad” (*prevailing torque nuts*) u otros tipos de tornillos que eviten de forma efectiva el aflojamiento de la unión en caso de estar sometida a golpes o a vibraciones importantes.

#### Comentario 9: “Dispositivos de bloqueo”

Los dispositivos de bloqueo de las uniones atornilladas pueden ser “tuercas de seguridad” (*prevailing torque nuts*), arandelas elásticas, contratuercas, adhesivos fijadores de rosca y otros dispositivos basados en la fricción mediante tornillos, tuercas o arandelas dentadas. Los dispositivos más habituales son las tuercas de seguridad, las arandelas elásticas y las contratuercas.

Las tuercas de seguridad (también denominadas de bloqueo, de autocierre, autoblocantes o autofrenadas) pueden ser de dos tipos: las “todo metal” y las de anillo no metálico (habitualmente de nylon). El principio de funcionamiento es impedir el movimiento de la tuerca hasta un valor determinado de par de apriete o aflojamiento (*prevailing torque*) [40].

- Las tuercas de seguridad “todo metal” consiguen este par mediante la distorsión de la rosca superior de la tuerca por distintos medios.
- Las tuercas con anillo no metálico disponen de un anillo en la parte superior con un diámetro interior inferior al del tornillo; así se consigue una fuerte fricción entre la rosca del tornillo y el anillo.

Las arandelas elásticas pueden ser [41]:

- arandelas Grower (o de muelle o de resorte)
- arandelas elásticas abombadas
- arandelas elásticas alabeadas
- arandelas elásticas dentadas

Estas arandelas se cierran bajo el tornillo con el par de apriete inicial. Cuando la tensión se reduce

por el aflojamiento en la unión, estas arandelas originan una presión entre los flancos de las roscas del tornillo y de la tuerca; a su vez, la eficacia de esta inmovilización viene incrementada por la incrustación del material de la arandela en la tuerca y en la pieza (en las dentadas o las Grower) [42].

Descripción		Normas DIN	Normas EN ISO	
<b>Tipo tuerca</b>	Tuercas hexagonales autofrenadas todo metal		DIN 980 DIN 6925	EN ISO 7042 EN ISO 7719 EN ISO 10513
	Tuercas hexagonales autofrenadas (con anillo no metálico)		DIN 982 DIN 6924	EN ISO 7040 EN ISO 10512
	Tuercas hexagonales autofrenadas delgadas		DIN 985	EN ISO 10511
<b>Ensayos</b>	Tuercas hexagonales autofrenadas de acero. Características mecánicas y funcionales	DIN 267-15	EN ISO 2320	

Tipo arandela		Normas DIN	Tipo arandela		Normas DIN
Arandelas Grower		DIN 127 DIN 7980 DIN 6905	Arandela elástica alabeada		DIN 137-B DIN 6904
Arandela elástica abombada		DIN 137-A DIN 6904	Arandela elástica dentada		DIN 6798 DIN 6907

El sistema de bloqueo con contratuerca consiste en la utilización de una segunda tuerca, de menor altura que ésta, cuya función no es la de aprisionar las piezas, sino tan solo la de no permitir que se afloje aquélla, al provocar una tensión en el propio tornillo, que bloquea el conjunto [42]. Normalmente la contratuerca suele ser una tuerca hexagonal rebajada DIN 936, o bien, una tuerca de seguridad DIN 7967.

El uso de los dispositivos de bloqueo queda recogido en el artículo 76.4 de la instrucción EAE, en el apartado 8.2.1 de la norma EN 1090-2 y en el apartado 8.3.1.3 de la prenorma ENV 1090-2.

**5.6.9 Arandelas en cuña**

Apartado excluido

Las arandelas en cuña se usan en uniones atornilladas cuando la superficie de apoyo es oblicua, por ejemplo en perfiles UPN (arandela de cuña DIN 434 o DIN 6918 para tornillos pretensados) o IPE (arandela de cuña DIN 435 o DIN 6917 para tornillos pretensados) [41]. Estos perfiles no se emplean en estructuras de perfiles y chapas de paredes delgadas.

**5.6.10 Roblones**

Apartado excluido

En este sistema de unión se introduce un remache en el agujero y es presionado para formar la cabeza en el otro extremo. Cuando se enfría, el remache se contrae comprimiendo las chapas unidas.

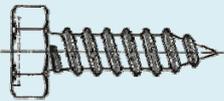
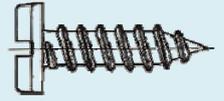
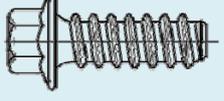
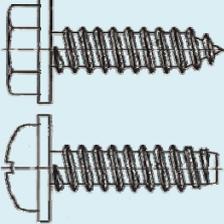
Este sistema se utilizó para la construcción de estructuras metálicas como puentes, edificios o barcos, pero ha caído en desuso con la aparición de la soldadura y los tornillos pretensados [43].

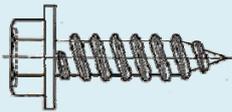
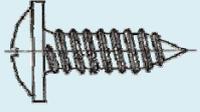
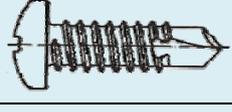
**5.6.11 Fijaciones para elementos de paredes delgadas**

Los tornillos autotaladrantes deberán cumplir con las EN ISO 15480 y los autorroscantes con las normas EN ISO 1481, EN ISO 7049 o la ISO 10509.

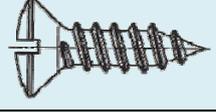
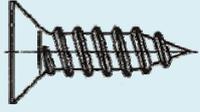
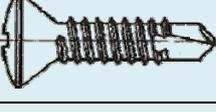
Comentario 10: “Tornillos autotaladrantes y tornillos autorroscantes”

Los tornillos de la siguiente tabla se utilizan para realizar uniones en estructuras ligeras:

Descripción		Normas DIN	Normas EN ISO
Tornillos autorroscantes con cabeza hexagonal		DIN 7976	EN ISO 1479
Tornillos autorroscantes con cabeza cilíndrica, redondeada y ranurada <sup>a</sup>		DIN 7971	EN ISO 1481
Tornillos autorroscantes con cabeza redondeada y hueco cruciforme <sup>a</sup>		DIN 7981	EN ISO 7049
Tornillos autotaladrantes con cabeza hexagonal de arandela, con rosca autorroscante <sup>a</sup>		DIN 7504-K	EN ISO 15480
Tornillos autorroscantes de cabeza hexagonal con valona (o brida)		-	ISO 10509
Tornillos autorroscantes con arandela plana incorporada <sup>a</sup>		-	EN ISO 10510

Tornillo autorroscante de cabeza hexagonal con arandela incorporada <sup>a b</sup>		DIN 6928	-
Tornillo autorroscante de cabeza abombada y hueco cruciforme, con arandela <sup>b</sup>		DIN 968	-
Tornillos autotaladrantes de cabeza cilíndrica abombada ancha de hueco cruciforme, con rosca autorroscante <sup>b</sup>		-	EN ISO 15481
Características mecánicas de los elementos de fijación de acero inoxidable resistente a la corrosión. Parte 4: Tornillos autorroscantes <sup>a b</sup>		-	EN ISO 3506-4
<p><sup>a</sup> Tornillo incluido en el catálogo FATOR 2008 [44]</p> <p><sup>b</sup> Este tipo de tornillo no está recogidos en la norma EN 1090-2, pero se usan para la unión de elementos y chapas de paredes delgadas</p>			

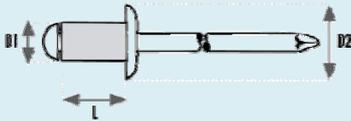
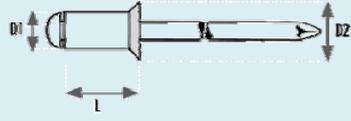
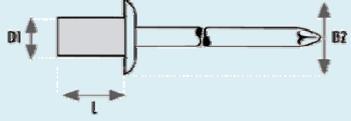
Existen otros tipos de tornillos autorroscantes, muy empleados en la construcción ligera, que sirven para unir aplacados a los componentes de acero de paredes delgadas. Estos tornillos presentan una cabeza avellanada para quedar enrasada con la superficie unida. No están recogidos en la norma 1090-2.

Descripción		Normas DIN	Normas EN ISO
Tornillos autorroscantes de cabeza avellanada y ranurada <sup>a</sup>		DIN 7972	EN ISO 1482
Tornillos autorroscantes de cabeza avellanada, abombada y ranurada <sup>a</sup>		DIN 7973	EN ISO 1483
Tornillos autorroscantes de cabeza avellanada y hueco cruciforme <sup>a</sup>		DIN 7982	EN ISO 7050
Tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme, con rosca autorroscante		-	EN ISO 15482
Tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme, con rosca autorroscante		-	EN ISO 15483
<p><sup>a</sup> Tornillo incluido en el catálogo FATOR 2008 [44]</p>			

Los remaches deberán cumplir con las normas EN ISO 15976, EN ISO 15979, EN ISO 15980, EN ISO 15983 o la EN ISO 15984.

**Comentario 11: “Tipos de remaches ciegos”**

A continuación, se detallan en una tabla los distintos tipos de remaches asociados a su norma:

Tipo remache			Material <sup>a</sup>	Normas EN ISO	Normas DIN
Extremo	Cabeza	Figura			
abierto	alomada		St/St	EN ISO 15979	DIN 7337-A
			A2/A2	EN ISO 15983	
	avellanada		St/St	EN ISO 15980	DIN 7337-B
			A2/A2	EN ISO 15984	
cerrado	alomada		St/St	EN ISO 15976	-

<sup>a</sup> Cada una de las partes del remache ciego (cabeza y vástago), pueden estar formadas de distintos materiales: St (acero galvanizado), A2 (acero inoxidable austenítico), Al (aluminio), Cu (cobre), etc. La designación de los materiales se hace como A/B, siendo A el material de la cabeza y B el del vástago [45].

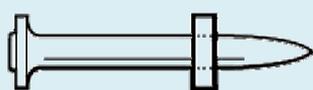
Los clavos (*pins*) neumáticos o de cartucho serán clasificados como elementos de fijación especiales.

**Comentario 12: “Clavos neumáticos o de cartucho”**

Los clavos se utilizan generalmente para fijar los carriles (*tracks*) a losas de hormigón o a vigas de acero. Existen dos tipos de clavos [46]:

- *Clavos lisos*: Se utilizan para las fijaciones en hormigón. Disponen de una guía de plástico o de goma que sirve para guiar el clavo recto durante la instalación y su cabeza previene un clavado excesivo.
- *Clavos estriados*: Se utilizan para las fijaciones en acero, ya que su espiga estriada mejora su resistencia a la extracción. Al igual que en los lisos, disponen de una guía de plástico y su cabeza previene del clavado excesivo. Debe tenerse muy en cuenta el espesor de las chapas clavadas, ya que si la punta no atraviesa totalmente las chapas, la presión sobre la punta puede hacer que se salga.

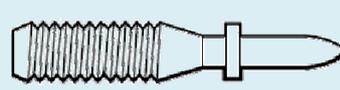
Las herramientas utilizadas pueden ser neumáticas y de cartucho. Estas herramientas utilizan un pistón que es accionado por aire comprimido en las neumáticas y por pólvora en las de cartucho. Estas mismas herramientas se utilizan para la fijación de los pernos roscados.



Clavo liso



Clavo estriado



Perno roscado

Los elementos de fijación usados en membranas deberán ser de un tipo específico para dicha aplicación.

### 5.6.12 Fijaciones especiales

Las fijaciones especiales son aquéllas no contempladas en las normas europeas o internacionales. Las fijaciones especiales deberán especificarse, así como también cualquier ensayo necesario.

NOTA El uso de elementos de fijación especiales se contempla en el apartado 8.9.

### 5.6.13 Identificación y suministro

Los elementos de fijación de los apartados 5.6.7 al 5.6.12 se suministrarán en envases duraderos y etiquetados de manera que su contenido sea fácilmente identificable.

El etiquetado o la documentación adjunta deberán contener la siguiente información de forma legible y duradera:

- Marca del fabricante y, si procede, los números del lote
- Tipo de fijaciones y material y, si es conveniente, su ensamblaje.
- Revestimiento protector
- Dimensiones en mm, como sea adecuado para el diámetro nominal, la longitud y, si es pertinente, el diámetro de la arandela, el espesor y el intervalo efectivo de la fijación de la parte elastomérica.
- Diámetro de la broca (*drill bit*) según corresponda
- Para tornillos: detalles de los valores del par torsor límite
- Para clavos o remaches neumáticos o de cartucho: detalles de la “carga de disparo” (*firing charge*) y las “fuerzas de clavado” (*driving forces*), según corresponda.

Las fijaciones y cualquier arandela asociada deberán llevar una marca de identificación del fabricante duradera. Las marcas en tornillos y tuercas serán reconocibles después de su instalación.

## 5.7 Espárragos y conectores a cortante

Los espárragos para soldeo de espárragos por arco, incluyendo los conectores a cortante, para la construcción mixta acero/hormigón deben cumplir con los requisitos de la norma EN ISO 13918.

Los conectores a cortante distintos a los de tipo espárrago deberán clasificarse como fijaciones especiales y cumplir con el apartado 5.6.12.

## 5.8 Lechadas

### Apartado excluido

Las lechadas (*grouting materials*) son morteros de cemento Portland que se emplean para rellenar los huecos existentes en las bases de los pilares y apoyos de las estructuras metálicas convencionales. En estructuras ligeras no es habitual su empleo. En caso de emplearse véase el apartado 5.8 de la norma EN 1090-2.

## 6 Preparación y montaje

### 6.1 Generalidades

Este apartado especifica los requisitos para el corte, el conformado, la perforación y el ensamblaje de los componentes de acero para su inclusión en elementos.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

NOTA El soldeo y la fijación mecánica son tratados en los capítulos 7 y 8, respectivamente.

Las construcciones de acero serán fabricadas considerando los requisitos del capítulo 10 y dentro de las tolerancias especificadas en el capítulo 11.

El equipamiento empleado en el proceso de fabricación deberá ser mantenido para garantizar que su uso, desgaste y fallo no perturben de forma importante el proceso de fabricación.

### 6.2 Identificación

En todas las etapas de la fabricación, cada pieza o paquete de piezas similares de elementos estructurales de acero deberá estar identificado con un sistema apropiado. Para las clases de ejecución EXC3 y EXC4, los elementos acabados deberán estar identificados mediante certificados de material.

La identificación puede realizarse, según corresponda, por lotes o por la forma y el tamaño del elemento, o mediante el uso de marcas duraderas y distinguibles de manera que no produzcan daño alguno. Las muescas cinceladas no están permitidas.

En los materiales revestidos para elementos conformados en frío no están permitidos los números estampados ni las marcas punzonadas o perforadas utilizados para el marcado de elementos simples o paquetes de elementos similares, salvo que se especifique lo contrario.

En el caso de no estar permitido el uso, deberá especificarse si pueden emplearse “estampados flojos” (*soft or low stress stamps*).

#### Comentario 13: “Marcaje de los elementos de paredes delgadas”

El marcado de los componentes y chapas conformados en frío se realiza normalmente mediante inyección de tinta. También se usan etiquetas adhesivas permanentes.

EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4 y EN 10149-1

### 9. Marcado

9.1 Los productos deben estar marcados: con pintura, por troquelado o mediante etiquetas adhesivas permanentes o atadas con los siguientes datos ...

9.4 Para los productos ligeros, se permite el suministro en paquetes, atados de forma segura. En este caso, el marcado puede realizarse mediante una etiqueta adherida al paquete o sobre la parte superior del mismo.

Deberá especificarse cualquier zona donde las marcas de identificación no estén permitidas o no deban ser visibles después de la conclusión del montaje.

### 6.3 Manipulación y almacenamiento

Los productos de acero deberán ser manipulados y almacenados en unas condiciones conformes a las recomendaciones del fabricante.

Un producto básico no debe ser usado una vez superado el “periodo máximo de almacenamiento” (*shelf life*) especificada por el fabricante. Los productos que han sido manipulados o almacenados de un modo o durante un tiempo que pudiera haberlos conducido a un deterioro importante serán revisados antes de utilizarlos, para asegurarse de que siguen cumpliendo las normas del producto pertinentes.

Los componentes de acero estructurales deberán ser empaquetados, manipulados y transportados de una forma segura, de modo que no se produzcan deformaciones permanentes y que los daños

superficiales sean mínimos. Deberán aplicarse, según corresponda, las medidas preventivas de manipulación y el almacenaje indicadas en la Tabla 8.

**Tabla 8 – Lista de las medidas preventivas para la manipulación y el almacenamiento**

<b>Izado</b>	
1	Protección de los componentes contra daños en los puntos de izado
2	Evitar el izado por un solo punto de elementos de gran longitud mediante el uso de vigas de reparto, según corresponda
3	El atado en paquetes de los componentes ligeros particularmente propensos a sufrir daños en los bordes, a retorcerse/alabearse ( <i>twisting</i> ) y a la distorsión cuando se manipulan individualmente. Se tiene que tener cuidado para evitar daños locales en el contacto directo entre componentes, en bordes sin refuerzo en los puntos de eslingado u otras zonas donde una importante proporción del peso del paquete recaiga en un único borde sin refuerzo
<b>Almacenamiento</b>	
4	El apilado por encima del terreno de los elementos fabricados, almacenados antes del transporte o montaje, para mantenerlos limpios
5	Los soportes necesarios para evitar las deformaciones permanentes
6	El almacenamiento de las chapas perfiladas y otros materiales provistos con superficies decorativas pretratadas de acuerdo con las normas pertinentes
<b>Protección contra la corrosión</b>	
7	Evitar la acumulación de agua
8	Precauciones para evitar la penetración de humedad en los paquetes ( <i>bundles</i> ) de perfiles con revestimientos metálicos. NOTA En el caso de un almacenamiento prolongado al descubierto en obra, los paquetes de perfiles deberían ser abiertos y los perfiles separados para evitar la aparición de óxido blanco o negro
	<p><u>Comentario 14:</u> “Óxido blanco y óxido negro”</p> <p>El recubrimiento metálico a base de zinc (galvanizado) puede, en espacios cerrados con mala aireación, desarrollar un fenómeno de corrosión comúnmente denominado como “óxido blanco”. En idénticas condiciones, los recubrimientos metálicos a base de aluminio desarrollan productos de corrosión conocidos como “óxido negro” [47].</p>
9	Apropiado tratamiento de protección contra la corrosión de los elementos conformados en frío de espesor menor que 4 mm, realizado antes de abandonar los trabajos de fabricación, suficiente para resistir por lo menos a la exposición sufrida durante el transporte, el almacenamiento y el montaje inicial.
<b>Transporte</b>	
10	Se necesitan medidas especiales para proteger las construcciones durante el transporte.

## 6.4 Corte

### 6.4.1 Generalidades

El corte de elementos de paredes delgadas deberá llevarse a cabo de forma que se cumplan los requisitos para las tolerancias geométricas, la dureza máxima y la suavidad (*smoothness*) de los bordes libres especificados en la norma EN 1090-2.

NOTA Son conocidos y reconocidos como métodos de corte el serrado, el cizallado, el corte con disco, las técnicas de corte por chorro de agua (hidrocorte) y el corte térmico. El oxicorte manual sólo debe utilizarse cuando no sea practicable utilizar el oxicorte automático.

**Comentario 15: “Corte en obra”**

El corte en obra se suele realizar mediante sierra circular, aunque pueden usarse otras herramientas como sierras de calar, amoladoras o cizallas eléctricas. En caso de que el elemento no tenga importancia estructural o estética, se puede realizar mediante oxicorte manual (ya que se producirán fragilizaciones, distorsiones de forma y tensiones residuales).

Uno de los beneficios del sistema constructivo “steel framing” es que se suministra con las longitudes exactas, por lo que se minimiza el corte en obra [48].

Si un proceso no es conforme, no deberá usarse hasta ser corregido y verificado de nuevo. Éste deberá ser usado en un rango limitado de productos de acero que produzcan resultados conformes.

Cuando se corten materiales revestidos, el método de corte deberá seleccionarse para minimizar el daño en el revestimiento.

**Comentario 16: “Idoneidad de los sistemas de corte según el tipo de revestimiento”**

El zinc proporciona una protección catódica del acero, en particular en los bordes no recubiertos resultantes del proceso de corte.

La durabilidad de los bordes de corte está determinada por la relación entre el espesor de zinc y el espesor de la chapa. Las chapas de elevado espesor con bajo espesor de recubrimiento de zinc presentan una menor resistencia a la corrosión de los bordes de corte.

El método de corte influye en la durabilidad de los bordes. Las recomendaciones de la tabla siguiente se refieren al corte de productos semi-acabados de acero (usados por los fabricantes de perfiles y chapas conformados en frío), y se ha obtenido a partir de las guías de utilización de Arcelor [47] [49].

<b>Tipo corte</b>	<b>Con recubrimientos metálicos</b>	<b>Con recubrimientos orgánicos</b>
<b>Sierras de disco</b>	Evitar	
	Deteriora la resistencia a la corrosión de los bordes. Se elimina el zinc en los bordes de la zona de corte y se generan rebabas y una rugosidad elevada. En los prelacados, se producen quemaduras en el revestimiento y se generan virutas y rebabas.	
<b>Cizallado</b>	Adecuado	
	Con herramientas de corte correctamente ajustadas y afiladas, se minimiza la aparición de rebabas y de filamentos de pintura (en los productos prelacados).	
<b>Corte con láser</b>	Adecuado	
	Durabilidad parecida al cizallado. Excelente precisión y ausencia de rebabas. En el corte de productos prelacados, el gas utilizado deberá ser el nitrógeno, ya que el oxígeno provoca quemaduras en el recubrimiento orgánico. Es más costoso debido a los caudales requeridos (20 bar frente a 1 bar en el caso de oxígeno).	
<b>Corte con plasma</b>	Adecuado	
	Mejora la durabilidad de los bordes, debido a la formación de un óxido de hierro protector durante el proceso de corte. Excelente precisión y ausencia de rebabas.	
<b>Hidrocorde</b>	Evitar	Adecuado
	Perjudica la resistencia a la corrosión de los bordes, debido a la formación de una superficie extremadamente rugosa y carente de recubrimiento de zinc.	Este proceso permite obtener una excelente calidad de corte: sin rebabas, sin deterioro del recubrimiento orgánico y sin zona térmicamente afectada. Debe evitarse que se desprenda durante el corte la película protectora necesaria.

Estas recomendaciones dan una idea de las consecuencias del corte en los productos galvanizados y prelacados. Las recomendaciones contenidas en la tabla anterior deberían seguirse siempre y cuando el borde cortado:

- Vaya a ser soldado
- Se le vayan a fijar otros elementos, como en bordes de aleros con vierteaguas
- Tenga importancia el componente estético

Deberán ser eliminadas las rebabas que puedan causar daño o impidan una correcta alineación o doblado de perfiles.

#### 6.4.2 Cizalla y recorte por punzonado (*nibbling*)

Los bordes libres deberán ser inspeccionados y esmerilados, según sea necesario, para eliminar los defectos importantes. Si se emplea esmerilado o mecanizado después del cizallado o el bocado, la profundidad mínima de esmerilado o mecanizado debe ser de 0,5 mm.

##### Comentario 17: "Recorte por punzonado" (*nibbling*)

El recorte por punzonado es un proceso de corte en el que contorno recortado se forma mediante un punzonado múltiple. Al hacer esto, la distancia entre los agujeros es menor que la dimensión del punzón, solapándose los agujeros.

Se utiliza para realizar recortes y contornos que no pueden ser realizados en una sola operación por la máquina y para producir recortes irregulares en forma [50].

#### 6.4.3 Corte térmico

ENV 1090-2 [24]

##### 6.5 Corte

... El Pliego de Condiciones debe especificar, donde sea necesario, si el corte con disco, con laser, con plasma o el corte térmico está permitido. Donde se usen materiales revestidos, el método de corte no debe introducir un calor severo al material.

EN ISO 9013:2003 [51]

##### OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma internacional se aplica a los materiales apropiados para el oxicorte, corte por plasma y corte por láser. Es aplicable para cortar espesores entre 3 y 300 mm mediante oxicorte, entre 1 y 150 mm mediante plasma y entre 0,5 a 40 mm mediante láser. Esta norma internacional incluye especificaciones geométricas del producto y tolerancias de calidad.

#### 6.4.4 Dureza de las superficies de los bordes libres

##### Apartado excluido

La comprobación de la capacidad de los procesos de corte se emplea en estructuras de clase de ejecución EXC4 que vayan a soldarse. Las chapas y perfiles de paredes delgadas suelen cortarse mediante sierras de disco y no suele ser importante el endurecimiento local (véase el comentario 16).

ENV 1090-2 [24]

##### 6.5 Corte

... Nota 1: El corte o la perforación de perfiles de paredes delgadas mediante cizallado no conducen, en general, a un endurecimiento de los bordes por encima de 380HV10. Los bordes cizallados o punzonados en perfiles de paredes delgadas no requieren normalmente de ningún tratamiento posterior.

## **6.5 Conformación**

### **6.5.1 Generalidades**

El acero se puede doblar hasta que adopte la forma requerida, tanto mediante procesos de conformación en caliente como por procesos de conformación en frío, siempre que las características no queden reducidas por debajo de las especificadas para el material respectivo.

*EN 1993-1-3 [34]*

#### **1.1 Objeto y campo de aplicación**

La Norma EN-1993-1-3 establece los requisitos para el proyecto con perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío. Ésta es aplicable a productos de acero conformado en frío fabricados a partir de chapa o banda de acero galvanizado o no, laminados en frío o en caliente y que se conforman mediante procesos de conformado con rodillos o con prensa ...

Los requisitos y recomendaciones para la conformación en caliente y en frío y el enderezado por llama para los aceros deberán ser como los dados en las normas de producto y en CEN/TR 10347.

La conformación por aplicación controlada de calor puede ser utilizada bajo las condiciones especificadas en el apartado 6.5.2 y el 6.5.3.

Los componentes conformados que exhiban fisuras o desgarro laminar, o daño en los revestimientos, deberán ser tratados como productos no conformes.

### **6.5.2 Conformado en caliente**

La conformación en caliente ( $T \geq 580^\circ\text{C}$ ) de los elementos conformados en frío de paredes delgadas y las chapas no está permitida si el límite elástico nominal utilizado en el cálculo es el modificado (aumentado por la conformación en frío).

*Instrucción EAE [28]*

#### **Artículo 73.4 Modificación del límite elástico (en estructuras ligeras)**

Cuando se someta al material a un recocido posterior o bien a un tratamiento térmico tal que se supere la temperatura de  $580^\circ\text{C}$  durante más de una hora se deberá utilizar el límite elástico básico  $f_{yb}$ .

*ENV 1090-2 [24]*

### **6.8 Tratamientos térmicos**

Cuando en el diseño de un elemento conformado en frío se ha considerado el límite elástico alcanzado por conformación en frío, los miembros no deben someterse a tratamientos de calor ( $T \geq 580^\circ\text{C}$ ) durante periodos de más de una hora.

El Pliego de Condiciones debe definir si el tratamiento térmico de materiales revestidos está permitido, y los límites que deben verificarse.

Nota: Las temperaturas de la magnitud indicada en el párrafo superior son los que, con mayor probabilidad, serán dañinos a los revestimientos metálicos y orgánicos.

Siempre que esté permitido, el conformado en caliente debe ajustarse a los requisitos relativos a la conformación en caliente de la norma de producto pertinente y a las recomendaciones del productor de acero.

### 6.5.3 Enderezado con llama

#### Apartado excluido

El enderezado con llama es un procedimiento de corrección poco frecuente en la construcción de estructuras de acero convencionales; en las construcciones ligeras lo es menos. En caso de emplearse, véase la norma EN 1090-2.

La instrucción EAE permite también el enderezado con llama si se cumplen los requisitos necesarios para la conformación en caliente.

#### *Instrucción EAE [28]*

#### **Artículo 75.3.2. Enderezado**

Previamente a la ejecución de otras actividades, debe asegurarse el cumplimiento de las tolerancias del capítulo XVIII (de la instrucción), 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 artículo 75.3.4 (Conformación en caliente).

### 6.5.4 Conformación en frío

La conformación en frío, realizada con conformación mediante rodillos, prensas o plegadoras, deberá ajustarse a los requisitos de conformabilidad en frío dados en las normas pertinentes. No deberá usarse el martillado.

NOTA El conformado en frío conlleva una reducción en la ductilidad. Además debe prestarse atención al riesgo de sufrir una fragilización por hidrógeno asociada con los tratamientos posteriores como el tratamiento con ácido durante el revestimiento o la galvanización en caliente

- a) Para aceros de grado superior a S355, sometidos a tratamiento de alivio de tensiones tras el proceso de conformación en frío (véase el comentario 18).

#### Comentario 18: "Tratamiento de alivio de tensiones"

El tratamiento de alivio de tensiones se realiza para mejorar la resistencia frente a rotura frágil. Esta mejora se tiene en cuenta en el cálculo, según EC-3, eliminando parte de las tensiones de compresión en las carreras de carga.

En los componentes de paredes delgadas no se producen tensiones residuales significativas debido al pequeño espesor de las chapas (el espesor tiene un efecto multiplicador de las tensiones residuales), con lo que no es necesario realizar dicho tratamiento para mejorar el comportamiento frente a rotura frágil.

- b) Los perfiles laminados en frío y las chapas pueden ser conformadas mediante el perfilado con rodillos, el plegado y el curvado progresivo según corresponda al material empleado.

Para los elementos conformados en frío y las chapas utilizadas como componentes estructurales, el conformado en frío deberá cumplir las siguientes dos condiciones:

- 1) Los revestimientos y el acabado (*accuracy*) del perfil no deben ser dañados.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

- 2) Deberá especificarse si los productos de acero requieren membranas protectoras a ser aplicadas antes de la conformación.

NOTA 1 Algunos revestimientos y los acabados tienden a sufrir daños por abrasión, tanto durante la conformación como en el subsiguiente montaje. Para más información, véase la EN 508-1 y la EN 508-3.

### 6.6 Perforación

#### 6.6.1 Dimensión de los agujeros

Este apartado se aplica a la ejecución de agujeros para las uniones con fijaciones mecánicas y pasadores (*pins*).

La definición del diámetro nominal del agujero combinado con el diámetro nominal del tornillo que se va a usar en el agujero determina si el agujero es “normal” o “sobredimensionado”. Los términos de “corto” y “largo” aplicados a los agujeros rasgados se refieren a los dos tipos de holguras de los agujeros utilizados en el diseño de tornillos no pretensados. Deberían especificarse dimensiones especiales para las juntas de dilatación (*movement joints*).

**Comentario 19:** “Juntas de dilatación en estructuras metálicas ligeras”

Véase el apartado 3.1.1 sobre juntas de dilatación en estructuras ligeras.

Las holguras nominales para tornillos y para pasadores deberán ser tal como se especifican en la Tabla 11. La holgura nominal se define como:

- La diferencia entre el diámetro nominal del agujero y el diámetro nominal del tornillo para agujeros redondos.
- La diferencia entre la longitud o el ancho respectivamente del agujero y el diámetro nominal del tornillo para los agujeros rasgados.

**Tabla 11 – Holguras nominales para tornillos y pasadores (mm)**

Diámetro nominal del tornillo o pasador (mm)	6 <sup>1</sup>	8 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	12	14	16	18	20 <sup>2</sup>
Agujeros redondos normales	0,8 <sup>d</sup>		1 <sup>a,b</sup>		2			
Agujeros redondos sobredimensionados	1,6 <sup>d</sup>		3		4			
Agujeros rasgados cortos (en longitud) <sup>c</sup>	- <sup>e</sup>		4		6			
Agujeros rasgados largos (en longitud) <sup>c</sup>	- <sup>e</sup>		1,5 d					

<sup>a</sup> Para fijaciones revestidas, la holgura nominal puede incrementarse en 1 mm por el espesor del revestimiento de la fijación.

<sup>b</sup> Para tornillos con diámetro nominal de 12 y 14 mm, pueden usarse agujeros con 2 mm de holgura bajo las condiciones dadas en la EN 1993-1-8

<sup>c</sup> Para tornillos en agujeros rasgados, las holguras nominales en el ancho son las mismas que las holguras especificadas para los agujeros redondos normales.

<sup>d</sup> Para tornillos con diámetro inferior a 12 mm (1/2 inch), el diámetro de un agujero estándar es el diámetro del tornillo más 0,8 mm (1/32 inch). (Tomado del Anexo E3 de la AISI 1996 [29])

<sup>e</sup> Para tornillos con diámetro inferior a 12 mm, la norma EN 1090-2 no especifica ninguna holgura. En el Anexo 3 de la AISI 1996 se especifica una holgura de 6,4 mm para los agujeros rasgados cortos y de 2,5·d para agujeros rasgados largos. Estos valores son superiores a los de la norma EN 1090-2 para diámetros mayores a 12 mm.

<sup>1</sup> Estos diámetros no están incluidos en la norma EN 1090-2.

<sup>2</sup> Para diámetros mayores, véase la norma EN 1090-2.

EN 1993-1-8 [52]

### 3.6.1 Tornillos y remaches

(5) Los tornillos M12 y M14 pueden usarse en agujeros con una holgura de 2 mm siempre que la resistencia de cálculo del grupo de tornillos basada en el aplastamiento sea mayor o igual a la resistencia de cálculo del grupo de tornillos basada en el cortante.

Párrafo excluido: “El avellanado en elementos de paredes delgadas”

A los elementos de paredes delgadas de espesores convencionales no se les aplica el avellanado debido a que su pequeño espesor lo hace impracticable.

Para los remaches ciegos usados para la unión de chapas perfiladas, el diámetro del agujero con holgura ( $d_n$ ) deberá cumplir lo siguiente, de acuerdo con las normas para remaches dadas en el apartado 5.6.11:

$$d_n + 0,1 \text{ mm} \leq d_{nom} + 0,2 \text{ mm} \quad \text{con} \quad d_{nom} = \text{diámetro nominal del remache}$$

EN 1993-1-3 [34]

### 8.3 Uniones con fijaciones mecánicas

(12) Las reglas de cálculo para los remaches ciegos son válidas sólo si el diámetro del agujero no es superior a 0,1 mm del diámetro del remache.

#### 6.6.2 Tolerancias en el diámetro del agujero para tornillos y clavos

Salvo que se especifique lo contrario, el diámetro de los agujeros deberá ser  $\pm 0,5$  mm del diámetro nominal de diseño.

#### 6.6.3 Ejecución de la perforación

Los agujeros para fijaciones o clavos pueden realizarse por cualquier procedimiento (taladrado, punzonado, por láser, plasma u otros cortes térmicos) siempre que el acabado del agujero sea tal que:

- a) Se cumplan los requisitos de corte en relación con la dureza local y la calidad de la superficie cortada, de acuerdo con el apartado 6.4.
- b) Todos los “agujeros emparejados” (*matching holes*) para fijaciones o clavos se ajusten los unos con los otros de modo que las fijaciones se puedan insertar libremente a través de los miembros ensamblados en una dirección con el ángulo adecuado con respecto a las caras en contacto.

El punzonado está permitido siempre que el espesor nominal del elemento no sea mayor que el diámetro nominal del agujero o, para agujeros no circulares, su dimensión mínima.

Párrafo excluido: “Comprobación de las dimensiones y la deformación de los agujeros”

Esta comprobación se realiza en componentes de paredes gruesas, dónde pueden producirse defectos a causa de una excesiva diferencia de diámetro entre la entrada y la salida del agujero, o una deformación por formación de rebabas o hundimiento excesivos.

Párrafo excluido: “Escariado de agujeros”

El escariado de los agujeros se emplea para corregir las imperfecciones de los agujeros taladrados o punzonados en elementos de acero de paredes gruesas, dónde pueden producirse los defectos descritos en el comentario anterior.

Párrafo excluido: “Comprobación periódica de la capacidad de los procesos de perforación”

Esta comprobación se realiza en procesos que trabajan con elementos de acero de paredes gruesas. Por ejemplo, se comprueba si el punzón atraviesa la chapa, el diámetro resultante del agujero en las dos caras, etc.

En los empalmes, los agujeros de las superficies acopladas deben ser punzonados en un sentido en todos los elementos.

Para los elementos conformados en frío y las chapas los agujeros rasgados pueden ser formados mediante el punzonado en una operación simple, el punzonado consecutivo o juntando dos agujeros taladrados o punzonados mediante una sierra.

Se eliminarán las rebabas de los agujeros antes del ensamblaje. Si los agujeros son taladrados en una operación a través de partes sujetas con abrazaderas que no se separarán tras el taladrado, la eliminación de las rebabas sólo es necesaria en la parte exterior de los agujeros.

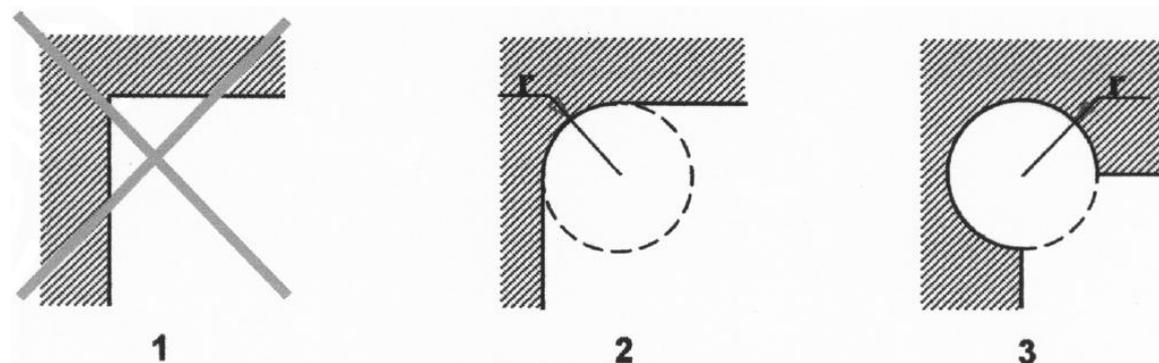
### 6.7 Acabados de corte

El sobrecorte (*overcutting*) de los ángulos entrantes no está permitido. Los ángulos entrantes son aquéllos cuya abertura entre las caras del corte es menor que 180°.

Los ángulos entrantes y las muescas deben redondearse hasta un radio mínimo de:

- 5 mm para las clases de ejecución EXC2 y EXC3.
- 10 mm para la clase de ejecución EXC4.

En la Figura 2 se dan algunos ejemplos.



#### Leyenda

- |   |   |
|---|---|
| 1 | No permitido  |
| 2 | Forma A (recomendada para el corte automático o totalmente mecanizados) |
| 3 | Forma B (permitido)   |

Figura 2 – Ejemplos de acabados de corte

Para los elementos de pequeño espesor y las chapas, deberán especificarse los puntos donde no están permitidos ángulos entrantes afilados, con los radios mínimos aceptables.

*Instrucción EAE [28]*

#### 75.3.3 Corte

... 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 5mm. En el caso de estructuras de clase de ejecución 4 y 3 el radio mínimo será 8mm.

## 6.8 Superficies de apoyos de contacto total

### Apartado excluido

Este apartado se refiere a las propiedades de planicidad y perpendicularidad de bordes de las superficies de contacto entre pilares, bases de pilares, etc., de estructura convencional. En general, no se aplicará a las estructuras metálicas ligeras.

## 6.9 Ensamblaje

El ensamblaje o armado de elementos deberá realizarse de modo que se cumplan con las tolerancias especificadas.

Se tomarán precauciones prevenir la corrosión galvánica producida por el contacto entre materiales metálicos.

El alineamiento para disponer agujeros deberá llevarse a cabo de modo que la ovalización no exceda los valores dados en el apartado D.2.8 N° 6 como sigue:

- Clases de ejecución EXC1 y EXC2: clase 1
- Clases de ejecución EXC3 y EXC4: clase 2

### Comentario 20: "Agujeros excesivamente deformados"

Las piezas con agujeros excesivamente deformados se rechazan y se reemplazan por otras, cuando no se pueda aumentar el diámetro porque afectaría a su comportamiento. Por ejemplo, en correas a compresión por inversión de cargas.

Sin embargo, podrían corregirse mediante escariado los agujeros en correas de fachada, o mediante ovalización horizontal los agujeros en elementos verticales.

Todas las uniones para los elementos provisionales dispuestas para los propósitos de fabricación deberán cumplir con los requisitos de la norma EN 1090-2 y cualquier otro requisito especial, incluyendo aquéllos relacionados con la fatiga, deberá ser especificado.

Los requisitos relativos a contraflechas o ajustes previos de los elementos deberán ser verificados antes de completar el ensamblaje.

## 6.10 Comprobación del ensamblaje

Después de completar el ensamblaje, el ajuste entre componentes que están interconectados en intercaras (*interfaces*, traducción conforme a la EN 1792 [53]) de conexión múltiples deberá comprobarse usando plantillas dimensionales, una medición tridimensional precisa o por un ensamblaje de prueba. Los requisitos sobre cuándo debe hacerse un ensamblaje de prueba o cuándo se está exento deberán ser especificados.

El ensamblaje de prueba significa colocar juntos suficientes elementos de una estructura para verificar que se ajustan. Debería considerarse la prueba de ajuste entre elementos en los que no es posible su comprobación mediante el uso de plantillas o de mediciones.

## 7 Soldeo

### 7.1 Generalidades

El soldeo deberá realizarse de acuerdo con los requisitos de la parte correspondiente de la norma EN ISO 3834 o la EN ISO 14554 según aplique.

## **EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2**

NOTA En la CEN ISO/TR 3834-6 se da una orientación para la implementación de la norma EN ISO 3834 en cuanto a los requisitos de calidad para la soldadura de fusión de materiales metálicos.

De acuerdo con las clases de ejecución, se aplican las siguientes partes de la EN ISO 3834:

- EXC1: Parte 4 “Requisitos de calidad elementales”
- EXC2: Parte 3 “Requisitos de calidad estándar”
- EXC3 y EXC4: Parte 2 “Requisitos de calidad exhaustivos”

El soldeo por arco de aceros ferríticos debería seguir los requisitos y recomendaciones de las normas EN 1011-1 y la EN 1011-2.

### **7.2 Plan de soldeo**

#### **7.2.1 Requisitos para un plan de soldeo**

Un plan de soldeo deberá estar provisto como parte del plan de producción requerido por la parte pertinente de la norma EN ISO 3834.

#### **7.2.2 Contenido de un plan de soldeo**

La implementación de un plan de soldadura deberá incluir, según corresponda:

- a) Las especificaciones del procedimiento de soldeo, incluyendo los consumibles de soldeo.
- b) Medidas para evitar deformaciones durante y tras el soldeo.
- c) La secuencia de soldeo con cualquier restricción o posiciones aceptables para los puntos de arranque y parada incluyendo las posiciones de arranque y parada intermedios, donde la geometría de la unión es tal que la soldadura no puede ejecutarse de forma continua.
- d) Requisitos para las comprobaciones intermedias.
- e) El giro de los componentes en el proceso de soldeo, en relación con la secuencia de soldeo.
- f) Detalles de las limitaciones que deben aplicarse.
- g) Medidas a emprender para evitar el desgarro laminar
- h) Equipamiento especial para los consumibles de soldeo (bajo contenido en hidrógeno, preparación, etc.)
- i) Requisitos para los criterios de aceptación de las soldaduras de acuerdo con el apartado 7.6.
- j) Referencia cruzada con el apartado 12.4 y el plan de ensayos.
- k) Requisitos para la identificación de las soldaduras.
- l) Requisitos para los tratamientos superficiales de acuerdo con el Capítulo 10.

Si el soldeo o ensamblaje solapan o enmascaran soldaduras previas es necesaria una consideración especial respecto a qué soldaduras han de ejecutarse en primer lugar y a la posible necesidad de inspeccionar/ensayar la soldadura primera antes de realizar la segunda o el montaje de los componentes enmascaradores.

### **7.3 Procesos de soldeo**

El soldeo puede realizarse mediante los siguientes procesos definidos en la norma EN ISO 4063:

- 111: Soldeo por arco metálico manual (Soldeo metálico por arco con electrodos revestidos)
- 114: Soldeo por arco con hilo tubular, sin protección gaseosa
- 121: Soldeo por arco sumergido con hilo/alambre
- 122: Soldeo por arco sumergido con varillas/electrodos desnudos
- 123: Soldeo por arco sumergido con hilos/alambres múltiples
- 124: Soldeo por arco sumergido con adición de polvo metálico
- 125: Soldeo por arco sumergido con alambre tubular (electrodo tubular)
- 131: Soldeo por arco con gas inerte; Soldeo MIG
- 135: Soldeo por arco con gas activo; Soldeo MAG
- 136: Soldeo por arco con hilo tubular con protección de gas activo
- 137: Soldeo por arco con hilo tubular con protección de gas inerte
- 141: Soldeo por arco con electrodo de wolframio (tungsteno) y gas inerte; Soldeo TIG
- 21: Soldeo por puntos
- 22: Soldeo por costura
- 23: Soldeo por protuberancias
- 783: Soldeo de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección
- 784: Soldeo de espárragos por aro inducido de ciclo corto

Para los procesos de soldeo por resistencia 21, 22 y 23, exclusivos de los elementos de paredes delgadas, se da una información adicional:

- En la norma EN ISO 14373 para el proceso 21 (soldeo por puntos)
- En la norma EN ISO 16433 para el proceso 22 (soldeo por costura)
- En la norma EN ISO 16432 para el proceso 23 (soldeo por proyecciones)

El diámetro de las soldaduras por puntos y por proyecciones deberá ser verificado durante la ejecución por medio del ensayo por pelado y cincel de acuerdo con la EN ISO 10447.

Cualquier otro proceso de soldadura sólo deberá usarse si está explícitamente especificado.

#### Comentario 21: "Procesos de soldeo en estructuras metálicas ligeras"

Las soldaduras utilizadas para unir elementos de acero conformado en frío pueden ser [54]:

##### **Soldadura resistente**

Se utiliza sobretodo en la industria del automóvil y en la fabricación de electrodomésticos.

##### **Soldadura por arco**

Los tipos de soldadura por arco son<sup>1</sup>:

- *Soldadura a tope (butt weld)*: Se utiliza en la conformación para conectar el acero plano de una bobina con la siguiente bobina.
- *Soldadura por punto (arc spot weld)*: Se utiliza para unir tableros y paneles a miembros de soporte (jácenas, etc.) en posición horizontal, sin preparar un agujero previo (a través de la chapa).
- *Soldadura por costura (arc seam weld)*: Se utiliza para unir chapa a chapa y chapas a miembros de soporte (jácenas, etc.) en posición horizontal, sin preparar una ranura previa (a través de la chapa).
- *Soldadura en ángulo (fillet weld)*: Es la más común y se emplea para uniones chapa a chapa o

perfil a perfil, en uniones en T o de solape.

- *Soldadura a tope de chapas con bordes levantados (butt weld between plates with raised edges)*: Es la soldadura formada en la ranura entre un elemento con una superficie curvada y otro con una superficie plana, o entre dos elementos con superficies curvadas.
- *Soldadura de tapón (plug weld)*: Es la misma soldadura que la soldadura por puntos, pero con el agujero previamente ejecutado. Se utilizan para unir chapas en múltiples capas y chapas a elementos estructurales

Las soldaduras por arco en la que el espesor nominal de al menos una de las partes conectadas sea inferior o igual a 0,48 mm se realizan de acuerdo con la norma ANSI/AWS D1.3 [55]. Este código aprueba los siguientes procedimientos de soldeo<sup>2</sup>:

- *Soldeo por arco con electrodo revestido (Manual Metal Arc Welding)*: más conocido como soldeo por arco manual, se suele utilizar para realizar soldaduras de punteo aunque es difícil de usar en elementos de paredes delgadas.
- *Soldeo por arco con alambre tubular y protección con gas (Tubular cored metal arc welding)*: es un proceso con electrodo continuo, se reducen la probabilidad de tener discontinuidades por arranque y parada, y utiliza una mayor intensidad de corriente, por lo que aumenta la productividad. Tiene electrodos diseñados especialmente para el soldeo de chapas de acero galvanizadas.
- *Soldeo por arco protegido con gas (con gas inerte, MIG-welding; con gas activo MAG-welding)*: Se utiliza un equipo parecido a la soldeo FCAW, pero sus electrodos son sólidos o con revestimiento metálico por lo que dejan una escoria inapreciable. Es ideal para el soldeo de chapas en taller. En obra no se usa por la potencial pérdida del gas protector.
- *Soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio (TIG welding, Tungsten Inert Gas welding)*: En el soldeo TIG se produce la unión por calentamiento mediante un arco entre el electrodo de tungsteno y el metal base. El electrodo y el baño de soldadura se protegen mediante un gas inerte. Si es necesario, se puede añadir un metal de aportación introduciendo una varilla en el baño de soldadura. Aunque la calidad de la soldadura es muy alta, este proceso es poco habitual porque es el más lento de todos.
- *Soldeo por arco sumergido (SAW, Submerged Arc Welding)*: suele emplearse en procesos automatizados de soldadura de elementos de paredes delgadas.

<sup>1</sup> Los nombres en español de los tipos de soldaduras se han tomado de la norma UNE EN 2255 [56].

<sup>2</sup> Los nombres en español de los procedimientos de soldeo se han tomado de la norma UNE EN ISO 4063 [57].

## 7.4 Cualificación de los procedimientos de soldeo y del personal de soldeo

### 7.4.1 Cualificación de los procedimientos de soldeo

#### 7.4.1.1 Generalidades

El soldeo deberá llevarse a cabo con procedimientos cualificados utilizando una “especificación de procedimiento de soldeo” (WPS, *Welding Procedure Specification*) de acuerdo con la parte correspondiente de la EN ISO 15609 o la EN ISO 14555 o la EN ISO 15620, según corresponda. Si se especifica, deberán incluirse en la WPS las posiciones de deposición especiales para las soldaduras de punteo.

#### 7.4.1.2 Cualificación de los procedimientos de soldeo 111, 114, 12, 13 y 14

a- La cualificación del procedimiento de soldeo depende de la clase de ejecución, el metal base y el grado de mecanización de acuerdo con la Tabla 12.

b- Si la norma EN ISO 15613 o la EN ISO 15614-1 se utilizan procedimientos de cualificación, se aplicarán las siguientes condiciones:

- 1- Si se especifican ensayo de impacto, deberán llevarse a cabo con la menor temperatura para la norma del grado de acero requiera propiedades de impacto
- 2- Si se suelda sobre "imprimaciones de taller" (*shop primers*), los ensayos se realizarán sobre el máximo espesor de capa aceptado (nominal + tolerancia).

**Tabla 12 – Métodos de cualificación de procedimientos de soldeo para los procesos 11, 114, 12, 13 y 14**

Método de cualificación	Norma	EXC 2	EXC 3	EXC 4
Ensayo de procedimiento de soldeo	EN ISO 15614-1	X	X	X
Ensayo de soldeo de prototipo	EN ISO 15613	X	X	X
Procedimiento de soldeo estándar	EN ISO 15612	X <sup>a</sup>	-	-
Experiencia previa de soldeo	EN ISO 15611	X <sup>b</sup>	-	-
Consumibles de soldeo ensayados	EN ISO 15610			
X	Permitido			
-	No permitido			
<sup>a</sup>	Sólo para materiales ≤ S 355 y sólo para soldeo manual o parcialmente mecanizado			
<sup>b</sup>	Sólo para materiales ≤ S 275 y sólo para soldeo manual o parcialmente mecanizado			

#### 7.4.1.3 Cualificación de los procedimientos de soldeo para otro tipo de procesos de soldeo

La cualificación de los procedimientos de soldeo no cubiertos en el apartado 7.4.1.2 deberá realizarse de acuerdo con la Tabla 13.

**Tabla 13 – La cualificación de los procedimientos de soldeo para los procesos 21, 22, 23, 783, 784**

Proceso de soldeo (según la EN ISO 4063)		Especificación de procedimiento de soldeo (WPS)	Cualificación del procedimiento de soldeo
Número de referencia	Nomenclatura		
21 22 23	Soldeo por puntos Soldeo por costura Soldeo por protuberancias	EN ISO 15609-5	EN ISO 15612
783 784	Soldeo de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección Soldeo de espárragos por aro inducido de ciclo corto	EN ISO 14555	EN ISO 14555 <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Para la clase EXC2, se permite la cualificación del procedimiento de soldeo basada en la experiencia previa			

#### 7.4.1.4 Validez de una cualificación de procedimiento de soldeo

La validez de un procedimiento de soldeo depende de los requisitos de la norma usada para la cualificación. Si se especifica, los ensayos de producción de soldaduras tienen que realizarse de acuerdo con la parte pertinente de la norma de cualificación, por ejemplo la norma EN ISO 14555.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

Se requieren los siguientes ensayos adicionales para un procedimiento de soldeo cualificado de acuerdo con la norma EN ISO 15614-1, que se incluya en un proceso de soldeo que no haya sido utilizado:

- a) Durante un periodo entre uno y tres años, deberá realizarse el “ensayo pertinente de soldeo de producción” (*suitable production welding test*, traducción conforme a la EN 1792 [53]) para grados de acero superiores a S355. El examen y ensayo deberá incluir una inspección visual, una inspección por radiografía o ultrasonidos (no requerida para soldaduras en ángulo), una detección de fisuras superficiales mediante ensayo de partículas magnéticas o de líquidos penetrantes, un examen macroscópico y un ensayo de dureza.

### Definiciones

De acuerdo con la UNE-CEN/TR 14599 [58]:

- *Soldeo de producción*: cualquier soldeo llevado a cabo durante la fabricación y antes de la entrega al usuario final.

- b) Durante un periodo superior a tres años:

- 1) Para la aceptabilidad de los grados de acero de hasta S355, incluido, deberá inspeccionarse una probeta grande extraída de un ensayo de producción
- 2) Para grados de acero superiores a S355, deberán realizarse nuevos ensayos de cualificación de procedimiento de soldeo.

Para el soldeo por resistencia, los parámetros de soldeo pueden ser determinados con ensayos de acuerdo a la norma EN ISO 10447.

### 7.4.2 Soldadores y operadores de soldeo

Los soldadores deben cualificarse de acuerdo con la norma EN 287-1 y los operadores de soldeo de acuerdo a la EN 1418.

### Definiciones

De acuerdo con la UNE-CEN/TR 14599 [58]:

- *Soldador*: Persona que mantiene y manipula el porta-electrodos, pistola o soplete a mano.
- *Operador de soldeo*: Persona que realiza procesos de soldeo por fusión totalmente mecanizados o automáticos.

Los registros de todos los soldadores y operarios de soldeo deberán permanecer disponibles.

### 7.4.3 Coordinación de soldeo

Para las clases de ejecución EXC2, EXC3 y EXC4, la coordinación de soldeo deberá mantenerse durante la ejecución del soldeo mediante un personal de coordinación de soldeo adecuado, cualificado y experimentado en las operaciones de soldeo que supervisan como se especifica en la norma EN ISO 14731.

Con respecto a las operaciones de soldeo que van a supervisarse, el personal de coordinación de soldeo deberán tener un conocimiento técnico de acuerdo con las Tabla 14.

NOTA 1 Los grupos de acero son los definidos en la ISO/TR 15608. La correspondencia entre grados de acero y las normas de referencia pueden encontrarse en la ISO/TR 20172.

NOTA 2 Las letras B, S y C hacen referencia respectivamente al conocimiento básico (*basic*), específico (*specific*) y profundo (*comprehensive*) tal como se especifica en EN ISO 14731.

**Tabla 14 – Conocimientos técnicos del personal de coordinación  
Aceros estructurales al carbono**

EXC	Aceros (grupo de acero)	Normas de referencia	Espesor (mm) $t \leq 15$
EXC2	S235 a S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10149-2, EN 10149-3	B
	S420 a S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10149-2, EN 10149-3	S
EXC3	S235 a S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10149-2, EN 10149-3	S
	S420 a S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10149-2, EN 10149-3	C
EXC4	Todos	Todas	C

## 7.5 Preparación y ejecución del soldeo

### 7.5.1 Preparación de la unión

#### 7.5.1.1 Generalidades

La preparación de la unión debe ser apropiada para el proceso de soldadura. Si la cualificación de los procedimientos de soldeo se realiza de acuerdo con las normas EN ISO 15614-1, EN ISO 15612 ó EN ISO 15613, la preparación de la unión deberá cumplir con la preparación del ensayo de cualificación del procedimiento de soldeo. Las tolerancias para las preparaciones de la unión y su ajuste deberán incluirse en las WPS.

NOTA 1 Las normas EN ISO 9692-1 y la EN ISO 9692-2 ofrecen algunos detalles recomendados de preparación de soldaduras.

La preparación de la unión deberá estar libre de fisuras visibles. Las fisuras visibles deberán ser eliminadas mediante esmerilado y la geometría de la unión corregida si procede.

Si se corrigen muescas grandes u otros errores en la geometría de la junta mediante soldeo, deberá usarse un procedimiento cualificado y, posteriormente, esa zona deberá ser amolada y enrasada con la superficie adyacente.

Todas las superficies que van a ser soldadas deben estar secas y libres de cualquier material (óxido, materiales orgánicos o galvanizaciones) que pudiera afectar negativamente a la calidad de las soldaduras o impedir el proceso de soldeo.

Las capas de imprimación que se aplican en taller pueden dejarse en las caras de fusión sólo si no afectan negativamente al proceso de soldeo. Para las clases de ejecución EXC3 y EXC4, las imprimaciones de prefabricación no deberán dejarse en las caras de fusión, salvo que los ensayos de cualificación del procedimiento de soldeo, de acuerdo con las normas EN ISO 15614-1 o EN ISO 15613, se hayan realizado utilizando tales imprimaciones.

NOTA 2 La norma EN ISO 17652-2 describe los ensayos para la determinación de la influencia de las imprimaciones de taller en la soldabilidad.

7.5.1.2 Perfiles huecos

Apartado excluido

El trabajo con perfiles huecos para el montaje de estructuras de celosía no es materia de este trabajo.

7.5.2 Almacenamiento y manipulación de los consumibles de soldeo

Los consumibles de soldeo deben almacenarse, manipularse y utilizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Si los electrodos y fundentes necesitan secarse y almacenarse, deben alcanzarse los niveles apropiados de temperatura y tiempos de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o, si no están disponibles, con los requisitos de la Tabla 16.

**Tabla 16 – Temperatura y tiempo para el secado en horno (*baking*) y almacenamiento de los consumibles de soldeo**

	Nivel de temperatura (T)	Tiempo (t)
Secado en horno <sup>a</sup>	300 °C < T ≤ 400 °C	2 h < t ≤ 4 h
Almacenamiento <sup>a</sup>	≥ 150 °C	Antes del soldeo
Almacenamiento <sup>b</sup>	≥ 100 °C	Durante el soldeo
<sup>a</sup> Horno fijo ( <i>fixed oven</i> ) <sup>b</sup> Estufa portátil ( <i>portable quiver</i> )		

Los consumibles que permanezcan sin usar al final del turno de soldeo deben secarse otra vez de acuerdo con los requisitos anteriores. Para los electrodos, el secado no debe realizarse más de dos veces. El resto de consumibles deben desecharse.

Los consumibles de soldeo que presenten signos de daño o deterioro deben rechazarse.

NOTA Ejemplos de daño o deterioro incluyen revestimientos agrietados o desprendidos en los electrodos revestidos, alambres oxidados o sucios y alambres con revestimiento protector de cobre dañados o desprendidos.

7.5.3 Protección frente a la intemperie

Tanto el soldador como la zona de trabajo deben estar protegidos adecuadamente contra los efectos directos del viento, de la lluvia y de la nieve.

NOTA Los procesos de soldeo con protección gaseosa son particularmente sensibles a los efectos del viento.

Las superficies a soldar deben mantenerse secas y libres de condensación.

Cuando las temperaturas del material a soldar están por debajo de 5 °C puede ser necesario un calentamiento adecuado.

Para los grados de acero superiores a S355, debe proveerse un calentamiento adecuado cuando la temperatura del material está por debajo de 5 °C.

Comentario 22: “Soldadura en obra”

El arquitecto técnico David Caballol Batolomé, en un artículo sobre estructuras ligeras [59], comenta:

*... el proceso de soldadura manual realizada en obra no es fácilmente aplicable con garantías a cualquier espesor y tipo de acero.*

*Cuando los espesores del material son menores de dos milímetros y, muy especialmente, cuando*

*el espesor desciende por debajo de 1,6 mm (1/16 de pulgada) el metal base funde a su través y el metal fundido abandona el perfil antes de que pueda ser establecido el cordón de soldadura. Se aprecian los característicos “boquetes” y se dice que la soldadura “se ha comido el perfil”, no quedando garantizada la calidad de la unión.*

*... el zinc que compone su galvanizado exterior una vez volatilizado por efecto del calor desprendido y combinado con oxígeno forma óxido de zinc, el cual en caso de quedar atrapado en el cordón de soldadura produce poros en el mismo. Antes de soldar un elemento galvanizado se debería retirar previamente el recubrimiento de la zona afectada. Pero dado los escasos espesores con que contamos y el precioso tiempo que se pierde en llevar a cabo este trabajo, no suele hacerse así.*

#### **7.5.4 Ensamblaje para el soldeo**

Los componentes que se van a soldar deben estar correctamente alineados y fijos en su posición mediante soldaduras de punteo o dispositivos externos y se mantendría así durante el soldeo inicial. El ensamblaje debe realizarse de tal forma que el ajuste de las uniones y las dimensiones finales de los componentes estén todos dentro de las tolerancias requeridas. Deben establecerse los márgenes necesarios para la distorsión y la contracción o retracción.

Los componentes que se van a soldar deben estar ensamblados y fijos en su posición de tal forma que las uniones a soldar sean realmente accesibles y fácilmente visibles para el soldador.

No deben introducirse soldaduras adicionales y las posiciones de las soldaduras especificadas no se deben cambiar sin asegurarse previamente de que cumplan con la especificación.

#### **7.5.5 Pre calentamiento**

El pre calentamiento deberá realizarse de acuerdo con las normas EN ISO 13916 y EN 1011-2.

El pre calentamiento deberá llevarse a cabo de acuerdo con la WPS oportuna y aplicado durante el soldeo, incluyendo el soldeo de punteo y el soldeo de las uniones provisionales.

#### **Comentario 23: “Pre calentamiento en estructuras ligeras”**

No es necesario el pre calentamiento en el soldeo de elementos de acero de paredes delgadas. En el caso, por ejemplo, de soldar una correa ligera a un elemento de paredes gruesas, sería necesario pre calentarlo el elemento de pared gruesa. De este modo, se evita la formación de componentes frágiles en el metal de aportación y en la zona afectada por el calor del material base por enfriamiento rápido; se evitan también faltas de fusión en el metal base, la fisuración por hidrógeno y disminuyen las tensiones residuales [60].

#### **7.5.6 Uniones provisionales**

Cuando el procedimiento de ensamblaje o montaje requiera el empleo de dispositivos provisionales soldados, éstos deben estar situados de forma que puedan ser retirados sin dañar a la estructura definitiva. Todas las soldaduras para uniones provisionales deben hacerse de acuerdo con la WPS. Debe especificarse cualquier área donde el soldeo de uniones provisionales no esté permitido.

Deberá especificarse el uso de uniones provisionales para las clases de ejecución EXC3 y EXC4.

Si las uniones provisionales soldadas han de eliminarse por corte o cincelado, la superficie del metal base debe alisarse cuidadosamente. El corte o el cincelado no están permitidos en las clases de ejecución EXC3 y EXC4, salvo que se especifique lo contrario.

Debe realizarse la inspección adecuada para asegurarse de que el producto de acero no está fisurado en la superficie donde esté situada la soldadura provisional.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

### 7.5.7 Soldaduras de punteo

Para las clases de ejecución EXC2, EXC3 y EXC4, las soldaduras de punteo deberán realizarse usando un procedimiento de soldeo cualificado. La longitud mínima de una soldadura de punteo debe ser el menor de los dos valores siguientes: cuatro veces el espesor de la parte más gruesa o 50 mm.

Toda soldadura de punteo no incorporada a la soldadura final debe ser retirada. Las soldaduras de punteo que vayan a incorporarse a la soldadura final deben tener una forma adecuada y ser ejecutadas por soldadores cualificados. Las soldaduras de punteo deben estar exentas de los defectos de deposición y deben limpiarse a fondo antes del soldeo final. Las soldaduras de punteo fisuradas deben eliminarse.

### 7.5.8 Soldaduras en ángulo

#### 7.5.8.1 Generalidades

##### Comentario 24: "Generalidades"

La introducción que se incluye en la norma hace referencia a soldaduras en ángulo para grandes espesores.

Las soldaduras en ángulo para componentes de paredes delgadas se realizan mediante soldadura por arco, y es el proceso más común en uniones perfil a perfil y chapa a chapa.

#### 7.5.8.2 Las soldaduras en ángulo para componentes de paredes delgadas

Las soldaduras en ángulo que finalicen en los extremos o lados de un componente delgado deben ser contorneadas continuamente alrededor de las esquinas una distancia no menor que dos veces la longitud del lado del cordón salvo que la configuración o el acceso lo hagan impracticable.

La longitud mínima de una pasada de soldadura en ángulo, excluyendo los remates finales, deben ser al menos cuatro veces la longitud del lado de la soldadura.

La soldadura intermitente en ángulo no deberá usarse donde la acción de la capilaridad pueda conducir a la formación de depósitos de óxido. Los extremos de las pasadas de soldaduras en ángulo deberán extenderse hasta el final de la parte conectada.

Para "uniones a solape" (*lap joint*, traducción conforme a la EN 1792 [53]), el solape mínimo no debe ser menor que cuatro veces el espesor de la parte conectada más delgada. No deben realizarse la soldadura en ángulo individual si los elementos no están sujetos (*restrained*) para prevenir la abertura de la unión.

Si el extremo de un elemento está conectado sólo por soldaduras en ángulo longitudinales, la longitud de cada soldadura no debe ser menor que la separación transversal entre ellos.

### 7.5.9 Soldaduras a tope

#### 7.5.9.1 Generalidades

La posición de las soldaduras a tope utilizadas para empalmar productos, para aprovechar las longitudes disponibles de los productos de acero, deberá comprobarse frente a la consistencia con el proyecto.

Los extremos de las soldaduras a tope deben estar terminados de forma que se garantice soldaduras sanas con espesor total de garganta.

Para las clases de ejecución EXC3 y EXC4, y para la EXC2 si se especifica, deben emplearse "apéndices iniciales y finales" (*run-on/run-off pieces*) para garantizar el espesor total de garganta en el borde. La soldabilidad de tales elementos de prolongación no debe ser menor que la del metal base.

Después de completar las soldaduras, cualquier elemento de prolongación o material suplementario debe ser eliminado y su retirada debe cumplir con lo indicado en el apartado 7.5.6.

Si se requiere una superficie a enrasada, debe eliminarse el exceso de metal de soldadura para satisfacer los requisitos de calidad.

#### 7.5.9.2 Soldaduras por un solo lado

##### Apartado excluido

No tiene sentido hablar de soldaduras por un solo lado en elementos de paredes delgadas. Al soldar un espesor tan pequeño, la soldadura abarca ambos lados de la chapa.

#### 7.5.9.3 Resanado (ranurado) por el reverso

##### Apartado excluido

Este proceso se utiliza en soldaduras de penetración completa de elementos de paredes gruesas.

#### 7.5.10 Soldaduras en aceros con resistencia a la corrosión atmosférica mejorada

##### Apartado excluido

Este tipo de aceros no se usan para la fabricación de estructuras ligeras de acero. Véase el comentario 7 en la página 48.

#### 7.5.11 Conexiones de perfiles tubulares o “insertos”

##### Apartado excluido

Este tipo de conexiones no se estudia en este trabajo, ya que formarían parte del estudio de las estructuras en celosía.

#### 7.5.12 Soldeo de espárragos

El soldeo de espárragos debe realizarse conforme a la norma EN ISO 14555

##### *Instrucción EAE [28]*

#### **77.4.11. Soldadura de conectadores**

Los conectadores cumplirán la norma 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 conformadas en frío en las vigas cumpliendo los siguientes requisitos:

- a) Las chapas perfiladas no galvanizadas tendrán un espesor nominal inferior a 1,5 mm.
- b) 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.
- c) En las zonas donde se suelden los conectadores incluso bajo las chapas perfiladas y entre ellas deben estar secas y libres de eventuales condensaciones de acuerdo con el apartado 85.4.3 de la instrucción EAE.
- d) Las chapas perfiladas deben estar lo más en contacto 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.

- e) 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.
- f) 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.

Observación

Para espesores de chapa superiores a los indicados, es probable que, al realizar el soldeo, el espárrago no atraviese la chapa y quede soldado a la chapa y no al perfil. En estos casos, será necesario realizar agujeros en la chapa antes de soldar el espárrago a la viga de soporte.

**7.5.13 Soldaduras de tapón y soldaduras en ojal o de ranura**

Los agujeros para las soldaduras de tapón y soldaduras en ojal o de ranura deben ser proporcionados de forma que se pueda facilitar el acceso adecuado para el soldeo. Deben especificarse las dimensiones de los agujeros.

Definiciones

De acuerdo con la UNE-CEN/TR 14599 [58]:

- *Soldeo en ojal*: soldadura entre dos componentes solapados que se realiza depositando una soldadura en ángulo alrededor de la periferia de un agujero en uno de los componentes para unirlo con la superficie del otro componente a través del agujero.
- *Soldeo de tapón*: soldadura realizada rellenando con material de aportación un agujero circular o alargado en un componente de una pieza, de tal forma que se una a través del agujero con la superficie de otro componente solapado con el primero.

NOTA Las dimensiones adecuadas son:

- a) Anchura: al menos 8 mm más que el espesor de la parte que la contenga.
- b) Longitud del agujero alargado: el menor de los dos valores siguientes: 70mm o cinco veces el espesor de la chapa.

Las soldaduras de tapón deben hacerse sólo en soldaduras de ranura después de comprobar que el soldeo en ángulo en la ranura es satisfactorio. No están permitidas las soldaduras de tapón ejecutadas sin una soldadura de ranura previa, salvo que se especifique lo contrario.

*Instrucción EAE [28]*

**77.4.10 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 menor que dos veces el espesor de la chapa ni mayor que 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 EXC3 y EXC4).

A menos que lo indique explícitamente el Pliego de especificaciones 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.

### 7.5.14 Soldaduras por puntos en elementos de paredes delgadas

#### 7.5.14.1 Soldaduras por puntos por arco

Las arandelas de soldeo deberían tener un espesor entre 1,2 mm y 2,0 mm con un agujero pre-punzonado de un diámetro de 10 mm como mínimo.

NOTA 1 Las arandelas de soldeo pueden introducir grietas en la unión; la aceptabilidad de esas grietas depende de las condiciones de servicio.

El ancho visible mínimo,  $d_w$ , de una soldadura por puntos por arco circular o alargada debe ser especificado.

NOTA 2 En la norma EN 1993-1-3 se da una guía sobre la relación entre la dimensión de la intercara (*interface*, traducción conforme a la EN 1792 [53]) y el ancho visible para una soldadura por puntos circular o una soldadura por puntos alargada.

#### 7.5.14.2 Soldadura por puntos por resistencia

El diámetro de una soldadura por puntos por resistencia debería corresponderse tanto como sea posible con el diámetro de la punta del electrodo recomendado  $d_r$  (en mm) dado por  $d_r = 5t^{1/2}$

donde

$t$  es el espesor de la chapa en contacto con la punta del electrodo (en mm).

### 7.5.15 Otros tipos de soldadura

Los requisitos para otros tipos de soldadura, por ejemplo soldaduras de sellado, deben ser especificados y sujetos a los mismos requisitos de soldeo que los especificados en la norma EN 1090-2.

### 7.5.16 Tratamiento térmico post-soldadura

#### Apartado excluido

El tratamiento térmico de post-soldadura no se aplica, generalmente, en la construcción ligera, ya que se usa para mejorar el comportamiento de estructuras sometidas a fatiga, para la reducción de las tensiones residuales producidas [60] (véase el artículo 77.4.12 de la Instrucción EAE).

### 7.5.17 Ejecución del soldeo

Deben ponerse cuidado para evitar la proyección de chispas erráticas del arco, y si ésta se produce, debe sanearse ligeramente la superficie del acero e inspeccionarse. La inspección visual debería ser suplementada mediante el ensayo con líquidos penetrantes o con partículas magnéticas.

Debe ponerse atención para evitar la proyección de soldadura. Para las clases de ejecución EXC3 y EXC4, deberá ser eliminada.

Los defectos tales como fisuras, cavidades locales y otras imperfecciones no permitidas deben eliminarse en cada pasada antes de la deposición de soldaduras posteriores.

Toda escoria debe ser eliminada de la superficie de cada pasada antes de añadir la pasada siguiente y de la superficie de la soldadura acabada. Se prestará una atención especial a las uniones entre la soldadura y el metal base.

Cualquier requisito relativo al esmerilado o rectificado de la superficie de las soldaduras completadas debe ser especificado.

7.5.18 Soldeo de tableros de puentes

Apartado excluido

El soldeo de tableros de puentes no es objeto de este trabajo.

7.6 Criterios de aceptación

Los componentes soldados deberán cumplir con los requisitos especificados en los Capítulos 10 y 11.

Los criterios de aceptación para las imperfecciones de las soldaduras deben ser como sigue, con referencia a la norma EN ISO 5817, excepto para el “Ángulo de acuerdo incorrecto” (*Incorrect toe*) (505) y la “Microfalta de fusión” (401) que no se tendrán en cuenta. Cualquier requisito adicional especificado para la geometría y el perfil de la soldadura deberá tenerse en cuenta.

- EXC1 Nivel de calidad D
- EXC2 Generalmente el nivel de calidad C, excepto el nivel D para la “Mordedura” (*Uncer-cut*) (5011, 5012), “Solapamiento” (506), “Cebado del arco” (601) y “Rechupe de cráter abierto” (*End crater pipe*) (2025)
- EXC3 Nivel de calidad B
- EXC4 Nivel de calidad B+ que es el nivel de calidad B con los requisitos adicionales dados en la Tabla 17

UNE EN ISO 5817 [61]

**Anexo B**

Esta norma internacional especifica los requisitos para los tres niveles de aceptación para las imperfecciones en las uniones soldadas de aceros (...) para los procesos de soldeo por fusión (a excepción de soldeo por haz de electrones) para espesores ≥ 0,5 mm.

Tabla 17 – Requisitos adicionales para el nivel de calidad B+

Designación de la imperfección		Límite para las imperfecciones <sup>a</sup>
Mordedura (5011, 5012)		No permitida
Poros internos (de 2011 a 2014)	Soldaduras a tope	$d \leq 0,1 s$ , pero máx. 2 mm
	Soldaduras en ángulo	$d \leq 0,1 a$ , pero máx. 2 mm
Inclusiones sólidas (300)	Soldaduras a tope	$h \leq 0,1 s$ , pero máx. 1 mm $l \leq s$ , pero máx. 10 mm
	Soldaduras en ángulo	$h \leq 0,1 s$ , pero máx. 1 mm $l \leq a$ , pero máx. 10 mm
Falta de alineación (507)		$h \leq 0,05 t$
Rechupe de raíz (515)		No permitida
<sup>a</sup> Los símbolos están definidos en la norma EN ISO 5817		

En el caso de no conformidades con los criterios anteriores, cada caso debería ser juzgado individualmente. Esta evaluación debería estar basada en la función del elemento y en las características de las imperfecciones (tipo, tamaño, situación) con objeto de decidir si la soldadura es aceptable o debe ser reparada.

NOTA Las normas EN 1993-1-1, EN 1993-1-9 y EN 1993-1-10 pueden emplearse para evaluar la aceptabilidad de las imperfecciones.

## 7.7 Soldeo de aceros inoxidables

### Apartado excluido

Los aceros inoxidables no son objeto del presente trabajo.

## 8 Fijación mecánica

### 8.1 Generalidades

Este capítulo contempla los requisitos para la fijación en taller y en obra, incluyendo la fijación de chapas perfiladas.

#### Comentario 25: "Generalidades"

El texto que sigue está basado en la introducción del capítulo 8 "Fijaciones mecánicas y uniones con fijaciones mecánicas" de la antigua prenorma ENV 1090-2.

Las uniones en los elementos de paredes delgadas y las chapas pueden ejecutarse empleando uno o más de los siguientes tipos de fijaciones mecánicas:

- a) Tornillos no pretensados con tuercas
- b) Tornillos roscachapa en sus diferentes variedades (autorroscantes, autotaladrantes)
- c) Remaches ciegos
- d) Clavos de cartucho
- e) Otras fijaciones especiales

como se describe a continuación.

Las fijaciones mecánicas tratadas en este apartado están pensadas para participar en la resistencia de una estructura durante su vida útil.

NOTA Las uniones atornilladas pretensadas no son objeto de este trabajo.

#### *ENV 1090-2 [24]*

### **8.1 Generalidades**

... Las uniones atornilladas pretensadas resistentes al deslizamiento pueden utilizarse en aquellas uniones sujetas a vibraciones y/o inversión de cargas. En caso de que se especifiquen tales uniones, éstas deberán emplearse de acuerdo a las previsiones de la ENV 1090-1.

### 8.2 Empleo de las uniones atornilladas

#### 8.2.1 Generalidades

Este capítulo se refiere a las uniones atornilladas especificadas en el apartado 5.6, compuestas por un conjunto de tornillo, tuercas y arandela (según corresponda).

Deberá especificarse si, además del apriete, tendrán que tomarse otras medidas u otros medios para asegurar las tuercas.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

Las uniones atornilladas con pequeñas “longitudes de paquete de apretadura” (*clamp length*) en elementos de paredes delgadas sujetos a vibraciones importantes, como los estantes de almacenaje, deberán usar un método de bloqueo.

Los tornillos y las tuercas no deben soldarse, salvo que se especifique lo contrario.

NOTA Esto no se aplica a las tuercas soldadas especiales, conforme a la norma EN ISO 21670 o los espárragos soldados.

### 8.2.2 Tornillos

Para los elementos y chapas de paredes delgadas, deberá especificarse el diámetro mínimo para cada tipo de fijación

Comentario 26: “Diámetro mínimo de las fijaciones en construcción ligera”

La norma EN 1993-1-3 [34] especifica las condiciones que debe cumplir la unión para cada tipo de fijación de componentes y chapas de paredes delgadas:

<b>Tornillos</b>	Tamaño mínimo del tornillo	M6
	Espesor $t$	$0,75 \text{ mm} \leq t < 3 \text{ mm}$ <sup>1)</sup>
	Grado	4.6 - 10.9
<b>Remaches ciegos</b>	Diámetro del remache	$2,6 \text{ mm} \leq d \leq 6,4 \text{ mm}$
<b>Tornillos roscachapa</b>	Diámetro del tornillo <sup>2)</sup>	$3,0 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$
	Espesor $t$ <sup>3)</sup>	$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$
	Espesor $t_{sup}$ <sup>3)</sup>	$t_{sup} \geq 0,9 \text{ mm}$
<b>Clavos de cartucho</b>	Diámetro del clavo <sup>2)</sup>	$3,7 \text{ mm} \leq d \leq 6,0 \text{ mm}$
	Espesor $t$ <sup>3)</sup>	$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$
	Espesor $t_{sup}$ <sup>3)</sup>	$t_{sup} \geq 6,0 \text{ mm}$

Significado de los símbolos:

$t$  es el espesor de la parte o chapa conectada más delgada

$t_{sup}$  es el espesor del elemento de soporte al que se fija el tornillo o pasador

<sup>1)</sup> Para espesores mayores o iguales a 3 mm, se recomienda el uso de las reglas de la norma EN 1993-1-8.

<sup>2)</sup> Fijación en condiciones generales

<sup>3)</sup> Fijación en tracción

ENV 1090-2

#### 8.3.1.2 Tornillos

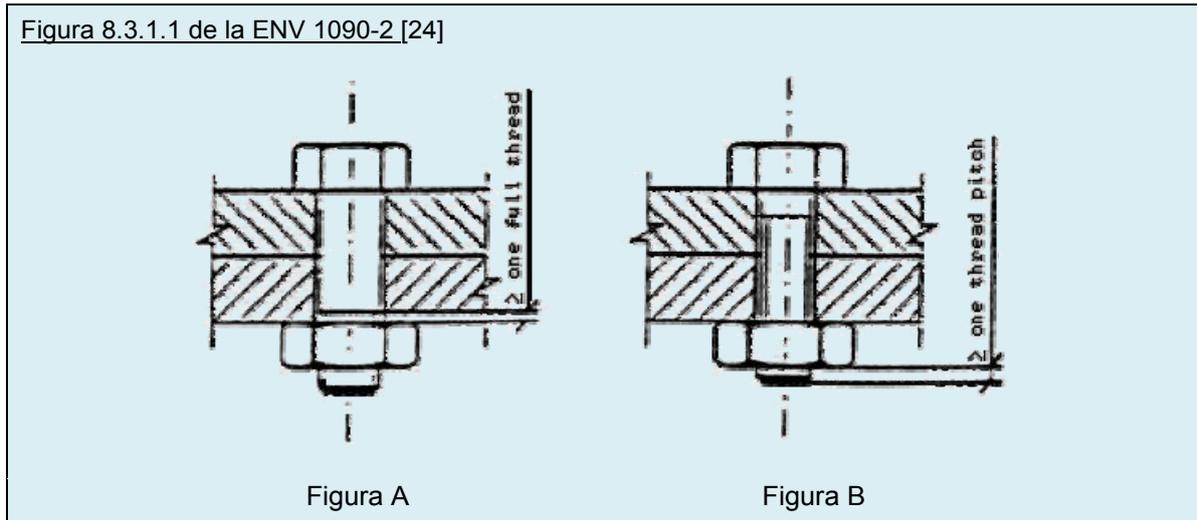
Los tornillos con rosca hasta la cabeza se usan normalmente, salvo que se especifique lo contrario.

La longitud del tornillo debe ser escogida de modo que tras el apriete se cumplan los siguientes requisitos para la longitud roscada y para la parte sobresaliente (*protusion*) del extremo del tornillo más allá de la superficie de la tuerca.

La longitud de la parte sobresaliente debe ser de al menos un filete de rosca medido desde la superficie exterior de la tuerca hasta el extremo del tornillo (Figura A).

Para tornillos no pretensados, al menos un filete de rosca completo (además de la salida de la rosca) deberá permanecer despejada entre la superficie de apoyo de la tuerca y la parte sin rosca de la espiga (Figura B).

Figura 8.3.1.1 de la ENV 1090-2 [24]



### 8.2.3 Tuercas

Las tuercas deberían desplazarse libremente sobre su tornillo acompañante, lo que es fácilmente comprobable durante el ensamblaje manual. Cualquier ensamblaje de tuerca y tornillo en el que la tuerca no se desplace libremente deberá ser descartado. Si se usa una herramienta mecánica, puede emplearse cualquiera de las siguientes comprobaciones:

- Para cada nuevo lote de tuercas o tornillos, puede comprobarse su compatibilidad mediante el ensamblaje manual antes de la instalación
- Para los ensamblajes atornillados montados pero antes de su apriete, pueden comprobarse tuercas de muestra para el desplazamiento libre a mano después del aflojamiento inicial.

Las tuercas deben montarse de forma que su marca de designación permanezca visible después del montaje.

ENV 1090-2 [24]

### 8.3.1.3 Tuercas

Las tuercas no necesitan asegurarse mediante dispositivos de bloqueo u otros medios mecánicos o químicos, salvo que se especifique otra cosa.

### 8.2.4 Arandelas

Normalmente, no se requiere el empleo de arandelas con los tornillos sin pretensar en agujeros redondos normales. Si se requiere, debe especificarse si las arandelas van a situarse bajo la tuerca o la cabeza del tornillo, el que sea rotado, o en ambos. Para "uniones de solape simple" (*single lap connections*) con una única hilera de tornillos, se requieren arandelas bajo la cabeza del tornillo y bajo la tuerca.

Comentario 27: "Uniones de solape simple con una única hilera de tornillos"

Este tipo de uniones se realizan en uniones de solape entre elementos o la unión de un elemento a otro mediante piezas auxiliares, como por ejemplo los refuerzo de esquina tipo "hold-down".

NOTA El empleo de arandelas puede reducir el daño local a los recubrimientos metálicos.

### Párrafos excluidos

En estructuras metálicas ligeras no suelen usarse los siguientes tipos de arandela:

- arandelas bajo tornillos pretensados

- arandelas planas (*plain washers*) en tornillos pretensados
- arandelas de chapa (*plate washers*): son arandelas hechas a medida cuando los taladros con grandes y las arandelas convencionales se quedarían pequeñas.
- arandelas en cuña (*taper washers*)

### 8.3 Apretado de los tornillos no pretensados

Los componentes unidos deben juntarse de forma que alcancen un contacto firme. Pueden usarse forros o galgas para el ajuste de la unión.

#### Comentario 28: “Uso de forros en estructuras metálicas ligeras”

Los forros o galgas en estructura ligera se usan para corregir las situaciones en las que existe una separación excesiva entre el puntal y el carril [62].

A propósito de la separación máxima entre el puntal y el carril, la norma AISI S200-07 [63] dice:

*Los bordes de los puntales (studs) de paredes estructurales deben tener cortes rectos y deben colocarse ajustadamente contra los carriles (tracks). Para el supuesto de este apartado, colocado ajustadamente significa que la tolerancia máxima de separación de 3,2 mm será aceptable ente el borde de un miembro de la pared y el carril.*

Asimismo, el “Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing” [64] apunta: “*Todos los puntales de apoyo (...) deben colocarse en los carriles con una separación máxima de 3,2 mm entre el borde del puntal y el alma del carril.*”

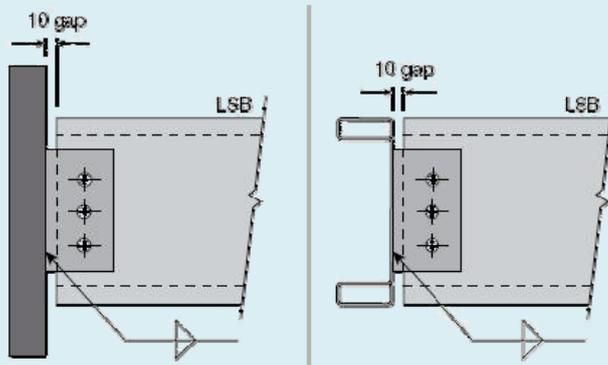
En la propuesta de cambio normativo “Light-frame Wall Systems with Wood Structural Panel Sheathing” [65], se analizan los efectos de la separación en el comportamiento frente al sismo:

*La separación del borde en los Cold-Formed Steel Framing no afectan negativamente a la resistencia, pero es probable que contribuyan a la flexibilidad del sistema y la deformación de la “pared de cortante” (shear wall). Los ensayos han demostrado que puede ser adecuada una tolerancia de separación menor en algunas situaciones. Por ejemplo, el ensayo de materiales más gruesos (mayores a 1,4 mm) ‘mostró que el movimiento relativo entre el puntal y el carril podía conducir a un fallo por cortadura de los tornillos.’ En esos casos, una tolerancia menor de 1,6 mm puede ser más adecuada. Adicionalmente, ‘una separación menor puede ser también deseable en estructuras de varios pisos donde la acumulación de esos cierres puede ser significativa...’ (Ref. AISI S200-07).*

Cada unión atornillada debe llevarse hasta la condición de “apretado ajustado” (*snug-tight*) sin sobreprensar los tornillos, especialmente los tornillos cortos y los M12.

#### Comentario 29: “Grupos de tornillos en estructuras metálicas ligeras”

En la construcción ligera no es habitual el atornillado de grupos de tornillos. Se utilizan en piezas en conectores especiales para unir vigas a columnas, vigas a otras vigas, etc.



En caso excepcional de que sí, véase norma general EN 1090-2.

**Comentario 30:** “Métrica de los tornillos utilizados en estructura metálica ligera”

La métrica de los tornillos utilizados normalmente en estructuras ligeras es de M6 a M16, siendo los más habituales los M12 a M16.

NOTA El término “apretado ajustado” puede identificarse, generalmente, como el resultado alcanzable por el esfuerzo de un hombre que utiliza una llave normal sin un brazo de prolongación y puede establecerse como el punto en el cual comienza a golpear una llave neumática.

El tornillo debe sobresalir de la cara de la tuerca después del apriete un filete de rosca completo como mínimo.

ENV 1090-2 [24]

**8.3.1.5 Apretado**

Para los tornillos, la parte rígida de la conexión debe mantenerse en contacto firme mediante un apretado “nominal” de los tornillos. Deben tomarse suficientes precauciones para no sobrecargar los tornillos durante el apretado.

**8.4 Preparación de superficies de contacto en uniones resistentes al deslizamiento**Apartado excluido

En construcción ligera no es habitual la preparación de superficies para realizar uniones resistentes al deslizamiento.

**8.5 Apretado de los tornillos pretensados**Apartado excluido

Los tornillos pretensados no son objeto de este trabajo.

**8.6 Tornillos calibrados**Apartado excluido

Los tornillos pretensados no son objeto de este trabajo.

**8.7 Roblonado**Apartado excluido

El roblonado no es objeto de este trabajo.

**8.8 Fijación de elementos de paredes delgadas****8.8.1 Generalidades**

Este apartado se aplica a elementos de paredes delgadas de un espesor de hasta 4 mm.

El funcionamiento de las fijaciones dependerá de la metodología usada en obra que puede determinarse mediante ensayos de procedimiento. Los ensayos de procedimiento se pueden usar para demostrar que las uniones requeridas pueden funcionar bajo las condiciones de obra. Se deberían considerar los siguientes aspectos:

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

- a) La capacidad de los remaches y los tornillos autorroscantes de producir el tamaño correcto del agujero.
- b) La capacidad de ajustar correctamente la fuerza de los destornilladores mecánicos con el par de apriete/profundidad correctos.
- c) La capacidad de dirigir el tornillo autotaladrante perpendicular a la superficie unida y ajustar la compresión adecuada a las arandelas de sellado dentro de los límites recomendados por el fabricante.
- d) La capacidad de seleccionar y emplear los “clavos de cartucho” (*cartridge fired pins*)
- e) La capacidad de formar una unión estructural adecuada y reconocer las incorrectas.

Las fijaciones deben de utilizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del producto.

El uso de fijaciones y los métodos de fijación especiales se tratan en el apartado 8.9.

### 8.8.2 Uso de tornillos autotaladrantes y autorroscantes

La longitud y la rosca de los tornillos deben seleccionarse para adecuarse a la aplicación específica y el espesor de los productos de acero unidos. La longitud de rosca efectiva debe ser tal que la porción roscada quede trabada en el elemento de soporte.

Los tornillos para ciertas aplicaciones requieren una rosca interrumpida. Si se usa una arandela selladora, el espesor de la arandela debería tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la longitud de la rosca.

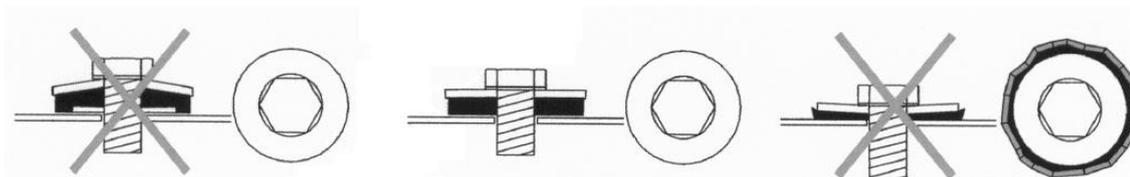
Las fijaciones deben situarse en el valle de la corruga, salvo que se especifique otra cosa.

Si los tornillos se fijan en la cresta de un perfil de cubierta, tienen que tomarse precauciones para evitar la abolladura de la chapa en el punto de penetración.

Las herramientas mecánicas para la fijación de los tornillos deben tener una profundidad regulable y/o un control del par de torsión, que deben ser ajustados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo. Si se utilizan desatornilladores mecánicos, las velocidades de perforación y avance (*driving*) (revoluciones por minuto) deben ser conformes a las recomendaciones del fabricante de la fijación.

Si se emplean arandelas selladoras, los tornillos deben ajustarse para comprimir la arandela elastomérica dentro de los límites fijados por el fabricante del producto.

Debe ajustarse la profundidad de una “atornilladora eléctrica” (*power screwdriver*) para comprimir la arandela selladora dentro de los límites fijados por el fabricante del producto.



**Figura 5 – Guía para la compresión de las arandelas selladoras**

Los tornillos sin arandelas de sellado se pueden ajustar utilizando un dispositivo de control del par o de profundidad apropiado para evitar el sobreapriete (*overtightening*).

El control del par se debe ajustar de modo que el par de formación de la rosca se alcance sin sobrepasar el par de rotura de la cabeza o el par de ripado de la rosca.

**Comentario 31: “Control del par de tornillos autorroscantes”**

El fabricante de la herramienta (atornilladora) suministra unas recomendaciones de uso en las que se detallan los ajustes (velocidad, control del par) según el tipo de aplicación.

El control del par permite al usuario predeterminar la fuerza a la que la broca deja de girar. De este modo, se evita que un apriete excesivo del tornillo en el material [66].

**8.8.3 Uso de remaches ciegos**

La elección de la longitud del remache ciego debe ser conforme al espesor total a unir.

NOTA 1 La longitud del remache recomendada por el fabricante del producto normalmente tiene en cuenta una cierta juego de las chapas a unir (resaltos al no ser completamente planas).

NOTA 2 La mayoría de los fabricantes ofrece una gama de herramientas de ajuste operadas de forma manual o mecánica para adaptarse a un consumo elevado o bajo.

NOTA 3 El diseño de una configuración predeterminada de características en la relación cabeza/vástago (*body/mandrel*) de un remache asegura uniones consistentes.

La instalación debe ser realizada según las recomendaciones del fabricante del producto.

Después del trabajo de instalación, las partes sobrantes de los remaches deben recogerse y retirarse de las superficies de trabajo exterior para prevenir la corrosión subsiguiente.

**8.8.4 Fijación de solapes laterales (*sidelaps*)**

La unión de paneles de cierre entre ellos (solapes laterales) y objetos parecidos como remates y accesorios debe ser adecuada para mantenerlos unidos firmemente a las chapas solapadas.

Los solapes laterales de chapas perfiladas en la superficie expuesta de una cubierta deberían ser fijados según las recomendaciones del fabricante del producto. El diámetro mínimo de estas fijaciones debería ser de 4,8 mm para los tornillos autorroscantes y autotaladrantes y 4,0 mm para los remaches ciegos.

Si las chapas están diseñadas para actuar como diafragmas, deben especificarse los requisitos para que las fijaciones de los solapes laterales actúen como fijaciones estructurales.

**8.9 Uso de fijaciones y métodos de fijación especiales**

Las fijaciones especiales deben utilizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante respectivo y los apartados apropiados de los apartados 8.1 al 8.8. Esto es aplicable también a los tornillos que unen la estructura de acero a otros materiales de acero, incluidos los pernos de cimentación con anclajes químicos (de resina).

NOTA 1 Ejemplos de métodos especiales de fijación son, especialmente, los agujeros roscados (*taped holes*), los pernos roscados (*threaded studs*), los adhesivos (*bonding*) o el clinchado (*clinching*) usando chapas que se unen mediante deformaciones puntuales.

Tales métodos deben emplearse sólo donde se haya especificado. Debe especificarse cualquier ensayo de procedimiento requerido para el uso de fijaciones especiales. Los ensayos de procedimiento pueden evitarse si se aporta una información suficiente de ensayos previos.

Especialmente, los agujeros roscados o los espárragos roscados pueden usarse como equivalente al uso de la unión atornillada definida en el apartado 5.6.3, siempre que los materiales, las formas de las roscas y las tolerancias de rosca cumplan con la norma de producto respectiva.

**Párrafo excluido: “Tornillos de inyección”**

Los tornillos de inyección no se utilizan en construcción ligera, sino en rehabilitación de estructuras de acero convencionales.

*Instrucción EAE [28]*

### **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 le proporciona resistencia al aplastamiento. Pueden ser utilizados pretensados o no.

## **8.10 Gripado (*galling*) y agarrotamiento (*seizure*) de los aceros inoxidables**

### Apartado excluido

Los aceros inoxidables no son objeto de este trabajo.

## **9 Montaje**

### **9.1 Generalidades**

En este capítulo se dan los requisitos para el montaje y otros trabajos que se realizan en obra, incluyendo el enlechado de las bases así como también aquéllos apropiados para la idoneidad del emplazamiento de la obra para un montaje seguro y para los soportes preparados exactamente.

El trabajo realizado a pie de obra incluye la preparación, el soldeo, la fijación mecánica y el tratamiento de superficies y deben cumplir con lo especificado en los capítulos 6, 7, 8 y 10, respectivamente.

La inspección y la aceptación de la estructura deben ser realizadas de acuerdo con los requisitos especificados en el capítulo 12.

### **9.2 Condiciones sobre el emplazamiento de la obra**

El montaje no debe comenzar hasta que el emplazamiento para los trabajos de construcción cumpla con los requisitos del plan de seguridad para las obras establecido de acuerdo con el apartado 4.2.2. El plan debe considerar, según proceda, aspectos como los siguientes:

- a) La provisión o disposición y el mantenimiento de la zona de estacionamiento para las grúas y el equipamiento de acceso.
- b) El acceso al emplazamiento de la obra y por dentro del mismo
- c) Las condiciones del suelo que afecten a la operación segura de la planta
- d) Los posibles asentamientos de los soportes de la estructura durante el montaje.
- e) Detalles de los servicios subterráneos, de los cables del tendido eléctrico o las obstrucciones en la obra.
- f) Las limitaciones de dimensiones o de pesos de componentes que puedan ser suministrados a pie de obra.
- g) Las condiciones climáticas y medioambientales especiales sobre el emplazamiento de la obra y los alrededores del mismo.

- h) Las particularidades de estructuras adyacentes que afecten a los trabajos de obra o que puedan verse afectados por éstos.

Las rutas de acceso a la obra y dentro de la misma debería darse en un plano de situación de la misma que muestre las dimensiones y el nivel de las rutas de acceso, el nivel de la zona de trabajo preparada para el tráfico dentro de la misma y la planta, así como las zonas disponibles para el almacenamiento.

Si los trabajos están interrelacionados con otras actividades industriales o comerciales, el plan de seguridad para las obras debe comprobarse para que sea consecuente con los planes de seguridad para otras partes de los trabajos de construcción. Esta comprobación debe considerar los aspectos correspondientes, tales como los siguientes:

- a) Procedimientos predispuestos para la cooperación con otros contratistas.
- b) Disponibilidad de servicios en obra.
- c) Valor de las cargas de construcción y almacenamiento máximas permitidas sobre la estructura.
- d) Control de la colocación del hormigón durante la construcción mixta.

NOTA La norma EN 1991-1-6 aporta las normas para determinar las cargas de construcción y almacenamiento incluyendo el hormigón.

### 9.3 Programa del método de montaje

#### 9.3.1 Diseño básico del método de montaje

Cuando sea importante para entender la estabilidad estructural en la condición de parcialmente construida, debe aportarse un método seguro de montaje en el que se basó el diseño (*design*). Este diseño básico de montaje debe considerar aspectos como los siguientes, según proceda:

- a) La posición y los tipos de uniones o nudos en obra
- b) El tamaño máximo de las piezas, su peso y su situación.
- c) La secuencia de montaje.
- d) El concepto de estabilidad para la estructura parcialmente construida, incluyendo cualquier requisito a arriostros o apuntalamientos (*propping*) provisionales.
- e) El apuntalamiento u otras acciones necesarios para facilitar el hormigonado subsiguiente de estructuras mixtas.
- f) Las características que pudieran originar un riesgo para la seguridad durante la construcción.
- g) El calendario y el método para el ajuste de las conexiones de cimentación.
- h) Las contraflechas y ajustes previos requeridos, incluyendo los valores que hay que comprobar en la fase de fabricación.
- i) La utilización de chapas perfiladas de acero para asegurar la estabilidad.
- j) La utilización de chapas perfiladas de acero para proporcionar un arriostros lateral.
- k) El transporte de unidades, incluyendo los accesorios para el izado, el giro o el empuje.
- l) Las deformaciones de la estructura parcialmente construida (contraflechas)
- m) Las posiciones particulares y las cargas de las grúas, los elementos almacenados, el contrapeso, etc., para las distintas fases del proceso de construcción,

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

- n) Los detalles de todos los trabajos provisionales y accesorios de la obra definitiva con instrucciones en lo que se refiere a su eliminación.

### 9.3.2 Método de montaje del constructor

Debe prepararse un programa del método que describa el método de montaje del constructor, y debe comprobarse de acuerdo a las normas de diseño, sobre todo la resistencia de la estructura parcialmente construida frente a las cargas de montaje y otras cargas.

El programa o declaración del método de montaje puede desviarse del método de montaje básico de proyecto, siempre que esto suponga una alternativa segura.

Las modificaciones al programa sobre el método de montaje, incluyendo aquéllas que sean necesarias por las condiciones de la obra, deben comprobarse y revisarse de acuerdo con lo indicado anteriormente.

El programa del método de montaje debe describir los procedimientos a emplear para el montaje seguro de la estructura y debe tenerse en cuenta en los requisitos técnicos relativos al plan de seguridad de la obra.

Los procedimientos deberían enlazarse a instrucciones específicas de trabajo.

El programa sobre el método de montaje debe tratar todos los aspectos correspondientes del apartado 9.3.1, y debe considerar adicionalmente los aspectos que procedan de la relación siguiente:

- a) Experiencia de cualquier montaje de prueba realizado de acuerdo con el apartado 9.6.4.
- b) Las ligazones o sujeciones necesarias para asegurar la estabilidad antes del soldeo y para controlar el movimiento locales del nudo o de la unión.
- c) Los dispositivos de elevación necesarios.
- d) La relación entre los pesos que hay que levantar y el radio de operación cuando haya que emplear grúas.
- e) La identificación de fuerzas de vuelco (*overturning*) o cíclicas (*sway*), particularmente aquéllas debidas a las condiciones previstas de viento sobre el emplazamiento de la obra, y los métodos exactos para mantener una resistencia adecuada a dichos esfuerzos.
- f) Métodos para hacer frente a los peligros que amenazan la seguridad.
- g) Métodos para proporcionar un acceso seguro a los puestos de trabajo y unas posiciones de trabajo seguras.

Para las estructuras mixtas se aplica lo siguiente:

- h) La secuencia de fijación de las chapas perfiladas para las losas mixtas debe estar planificada para asegurar que las chapas están adecuadamente soportadas por vigas de apoyo antes de la fijación, y de que están fijadas de forma segura antes de que sean utilizadas para conseguir el acceso a posiciones subsiguientes de trabajo.
- i) Las chapas perfiladas no deberían utilizarse para conseguir dicho acceso para el soldeo de conectores a cortante, a menos que dichas chapas estén ya aseguradas por fijaciones que cumplan con lo indicado en el punto i).
- j) La secuencia de colocación y el método de asegurar y sellar el encofrado permanente para garantizar que el encofrado es seguro antes de ser utilizado para conseguir acceso para las operaciones subsiguientes de construcción y soportar el armado y hormigonado del forjado.

## 9.4 Replanteo

### 9.4.1 Sistema de referencia

Las mediciones a pie de obra para los trabajos deben estar referidas al sistema establecido para la medición y replanteo de la obra de construcción, de acuerdo con la norma ISO 4463-1.

Como sistema de referencia para el replanteo de la estructura y establecimiento de las desviaciones (*deviations*) de los pilares, debe aportarse un estudio documentado de una red (topográfica) secundaria. Las coordenadas de la red secundaria dadas en este estudio serán aceptadas como verdaderas siempre que cumplan los criterios de aceptación especificados en la norma ISO 4463-1.

La temperatura de referencia para el replanteo y la medición de la estructura estarán especificadas.

### 9.4.2 Puntos de posición

Los puntos de posición, que marcan la posición proyectada para el montaje de los elementos individuales, deben ser conformes a la norma ISO 4463-1.

## 9.5 Soportes

### 9.5.1 Inspección de los soportes

Debe comprobarse la condición y la posición de los soportes empleando los medios visuales y de medición adecuados antes del inicio del montaje.

Si los soportes no son adecuados para el montaje, deberán corregirse antes de comenzar el montaje. Las no conformidades deben estar documentadas.

### 9.5.2 Replanteo e idoneidad de los soportes

Todas las cimentaciones, los pernos de cimentación y demás soportes de la estructura debe estar adecuadamente preparados para recibir la estructura de acero.

El montaje no se iniciará hasta que la posición y los niveles de los soportes cumplan con los criterios de aceptación dados en el apartado 11.2, o se haya publicado una modificación apropiada de los requisitos especificados.

El examen o inspección de conformidad empleados para comprobar las posiciones de los soportes debe estar documentado.

### 9.5.3 Mantenimiento de la idoneidad de los soportes

Mientras se está procediendo el montaje, los soportes de la estructura deben mantenerse en una condición equivalente a la que tenían al inicio del montaje.

#### Comentario 32: "Mantenimiento de la idoneidad de los soportes en estructuras ligeras"

Debe tenerse cuidado para que los soportes no reciban golpes mientras se está montando, porque se dañan con facilidad.

El "Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing" [67] señala: "*Los puntales, carriles y otros elementos de acero deberían estar en buenas condiciones. Los elementos doblados, torcidos, rajados o dañados de otro modo deben reemplazarse.*"

En general, no será necesario realizar compensaciones de asientos, ya que las cargas que transmiten son pequeñas y no suele haber cimentaciones aisladas.

NOTA 1 Debería identificarse todas las áreas de soportes que requieren protección contra las manchas de óxido y proveerles de una protección adecuada.

#### 9.5.4 Soportes provisionales (forros)

##### Apartado excluido

En general, en la construcción de estructuras ligeras no se utilizan calzos, cuñas o chapas de relleno bajo placas de asiento de pilares y otros apoyos.

ENV 1090-2 [24]

##### 9.1.1 Subestructura

Todas las cimentaciones, pernos de cimentación y otros soportes para la estructura deben prepararse adecuadamente para recibir la estructura de acero conformado en frío.

De la subestructura deben inspeccionarse su idoneidad y los requisitos necesarios para la ejecución de la obra.

El montaje no debe empezar hasta que la subestructura se haya demostrado que cumple con los requisitos de inspección y examen dados en apartado 12.7 de la prenorma ENV 1090-1 (ahora norma EN 1090-2).

NOTA Tienen que presentarse por escrito las deficiencias reconocidas en la estructura existente que puedan perjudicar o hacer el trabajo pendiente imposible.

El calzado (*packing*) y el enlechado (*grouting*) deben ser conformes a los requisitos pertinentes de la norma ENV 1090-1.

#### 9.5.5 Enlechado y sellado

##### Apartado excluido

Los requisitos del enlechado deben ser conformes a lo indicado en la norma EN 1090-2.

#### 9.5.6 Anclaje

Los dispositivos de anclaje en las partes de hormigón de la estructura o de las estructuras adyacentes deben ser ajustados de acuerdo con su especificación. Deben emprenderse medidas adecuadas para evitar el daño en el hormigón con el objetivo de alcanzar la resistencia de anclaje necesaria.

NOTA Esto aplica notablemente a los anclajes expansivos, para los cuales se necesita una distancia mínima desde los paramentos para evitar la rotura del hormigón.

### 9.6 Montaje y trabajo en obra

#### 9.6.1 Planos de montaje

Deben proveerse los planos de montaje o instrucciones equivalentes y formar parte del programa del método de montaje.

Los planos deben prepararse de forma que muestren las plantas y los alzados a un escala tal que puedan verse en ellos las marcas de montaje de los componentes.

Los planos deben mostrar las ubicaciones de los emparrillados, las cotas de los apoyos y el ensamblaje de los elementos junto con los requisitos para las tolerancias.

Los planos de cimentación deben mostrar la posición o situación de las bases y la orientación de la estructura, cualquier otra pieza en contacto directo con las cimentaciones, su localización y nivel de base, el nivel de apoyo proyectado y el nivel de referencia. Las cimentaciones deben incluir los soportes de las bases de los pilares y otros soportes estructurales.

**Comentario 33:** “Cimentaciones en estructura metálica ligera”

Las cimentaciones más habituales de las estructuras metálicas ligeras son:

- Losas de cimentación: sobre la que se suelen levantar las estructuras “steel framing”.
- Emparrillados sobre muros de cimentación: utilizadas también para las estructuras tipo “steel framing”.
- Las zapatas aisladas para el apoyo de pilares son poco habituales.

Los alzados deben mostrar los niveles de forjados y/o la estructura que requeridos.

Los planos deben mostrar los detalles necesarios para:

- a) La fijación del acero o los pernos a las cimentaciones, el método de ajuste mediante forros y el embutido y los requisitos sobre las lechadas.
- b) La fijación de la estructura de acero a sus soportes

Los planos deben mostrar los detalles y las disposiciones constructivas de cualquier estructura u otros trabajos provisionales a los fines del montaje para garantizar la estabilidad de la construcción o la seguridad del personal.

Para las chapas de paredes delgadas, son necesarios planos de instalación que especifiquen como mínimo y según corresponda:

- a) Tipo, espesor, material, longitud y designación de las chapas
- b) Tipo de fijaciones y orden (secuencia) de fijación, incluyendo notas de instalación especiales para el tipo de fijación (por ejemplo el diámetro del agujero taladrado y el par mínimo)
- c) Sistema estructural para las chapas.
- d) Uniones de costura (*seam joint*) y uniones a solape laterales (*sidelaps*) con la especificación del tipo de fijaciones y arandelas y la secuencia.
- e) Requisitos para la fabricación en obra.
- f) Posiciones de todas las conexiones en obra en las que no se usen agujeros pre-taladrados.
- g) Juntas de dilatación
- h) Aperturas y marcos necesarios (por ejemplo, lucernarios, exutorios, y el drenaje del tejado)
- i) Los soportes de bandejas (*mountings*) e insertos (*attachments*) (por ejemplo, tuberías, conducción de cables y falsos techos)
- j) Las limitaciones de paso durante el montaje y los requisitos de los dispositivos de reparto de cargas.

**Comentario 34:** “Cubiertas de chapa tipo sándwich”

En las cubiertas de chapa tipo sándwich, es recomendable:

- Disponer de ganchos para instalar “líneas de vida”
- Marcar pasos por la cubierta para proteger los sándwich.

**9.6.2 Marcado**

Los componentes que vayan a ensamblarse o montarse individualmente a pie de obra debe estar identificados mediante una marca de montaje.

## **EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2**

Un componente debe estar marcado con su orientación de montado respectiva, cuando ésta no se deduzca claramente su forma.

NOTA Las marcas deben situarse, cuando sea posible, en posiciones que sean visibles en almacenamiento y después del montaje.

El marcado debe cumplir con lo indicado en el apartado 6.2.

### **9.6.3 Manipulación y almacenamiento en obra**

La manipulación y el almacenamiento en obra deben cumplir con los requisitos del apartado 6.3 y los dados a continuación.

Los componentes se manipularán y almacenarán de forma que se minimicen los riesgos de daños. Se debe conceder una atención especial a las influencias de los métodos de eslingado para evitar el daño de la estructura de acero y a los tratamientos de protección.

La estructura de acero dañada durante la carga, el transporte, el almacenamiento o el montaje debe ser reparada hasta que esté conforme.

El procedimiento para la restauración debe definirse antes de proceder a la reparación. Para las clases de ejecución EXC2, EXC3 y EXC4 el procedimiento debe documentarse también.

Las fijaciones almacenadas en obra debe mantenerse en condiciones secas antes de usarse y deben ser empaquetadas e identificadas adecuadamente. Las fijaciones deben manipularse y usarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Todas las pequeñas chapas y otros accesorios deben empaquetarse e identificarse adecuadamente.

### **9.6.4 Montaje de prueba**

Cualquier montaje de prueba en obra debe ser ejecutado de acuerdo con los requisitos del apartado 6.10.

El montaje de prueba debería ser considerado:

- a) Para confirmar el ajuste entre los elementos
- b) Para probar la metodología, cuando la secuencia de montaje para mantener la estabilidad durante el montaje necesita evaluarse por adelantado.
- c) Para probar la duración de las operaciones, cuando las condiciones de la obra están restringidas por un tiempo que limita el plazo.

### **9.6.5 Métodos de montaje**

#### **9.6.5.1 Generalidades**

El montaje de la estructura debe realizarse conforme al programa del método de montaje y de modo que se garantice la estabilidad de estructural en todo momento.

Los pernos de cimentación no deberían emplearse para asegurar pilares sin anclar contra el vuelco, salvo que hayan sido comprobados previamente para este modo de empleo.

Durante todo su montaje, la estructura debe mantenerse firme y segura ante las cargas provisionales de montaje, incluyendo las debidas al equipamiento de montaje o su funcionamiento y frente a los efectos de las cargas del viento sobre la estructura inacabada.

Para las edificaciones, un mínimo de un tercio de los pernos o tornillos permanentes de cada unión debería instalarse antes de que pueda considerarse que dicha unión contribuye a la estabilidad de la parte de la estructura completa.

#### 9.6.5.2 Trabajos provisionales

Todos los arriostramientos y coacciones o sujeciones provisionales deben permanecer en su posición hasta que el montaje esté lo suficientemente avanzado para permitir que sean retirados de forma segura.

Todas las uniones para piezas provisionales previstas para los fines de montaje deben realizarse de acuerdo con los requisitos de la norma EN 1090-2, aquí recogidos, y de forma tal que no debiliten la estructura permanente ni disminuyan su capacidad de servicio.

Todos los dispositivos de anclaje provisionales deben estar asegurados contra cualquier posible aflojamiento involuntario.

Sólo deben usarse gatos que puedan ser bloqueados en cualquier posición bajo la carga, salvo que se hagan otras provisiones de seguridad.

#### 9.6.5.3 Alineación y ajuste

Debe tenerse cuidado en que ninguna parte de la estructura está deformada o sobrecargada permanentemente por el apilamiento de componentes estructurales o por cargas provisionales de montaje durante del proceso de montaje.

Cada parte de la estructura debe ser alineada tan pronto como sea posible, después de que haya sido montada, y debe quedar completado el ensamblaje final tan pronto como sea posible inmediatamente después.

No deben realizarse uniones permanentes entre las piezas hasta que una parte suficiente de la estructura no esté bien alienada, nivelada, aplomada y unida provisionalmente para garantizar que las piezas no se desplazarán durante el montaje o la alineación posteriores de la parte restante de la estructura.

Si cualquier falta de ajuste entre componentes montados no se puede corregir mediante el empleo de forros o galgas, los componentes de la estructura deben ser modificados localmente de acuerdo con los métodos especificados en la norma EN 1090-2, recogidos en el presente trabajo. Las modificaciones no deben comprometer el funcionamiento de la estructura en estado provisional o permanente. Este trabajo puede ejecutarse a pie de obra.

*ENV 1090-2 [24]*

#### 9.3.6 Alineación

Cuando se usen forros para alinear estructuras compuestas de materiales revestidos, dichos forros deberán protegerse de forma similar para proveerles la durabilidad especificada. Donde sea necesario, el Pliego de Condiciones deberá definir los tipos de revestimiento o los sistemas de protección.

Salvo que se especifique otra cosa, los pasadores cónicos (*drifts*) pueden utilizarse para alinear uniones. La rectificación para alinear agujeros de tornillos que transmitirán cargas deberá llevarse a cabo de modo que el alargamiento no exceda los valores dados en el apartado 6.9.

*BS 5950-7:1992 [68]*

#### 4.1 Generalidades

... El empleo de pasadores cónicos para realinear agujeros no debe alargar los agujeros o deformar el metal.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

En el caso de desalineación de los agujeros para tornillos, se comprobará la consistencia del método de corrección según los requisitos del capítulo 12.

Los agujeros realineados pueden demostrar que cumplen con los requisitos dados en el apartado 8.1 para agujeros sobredimensionados o en ranura, siempre que se haya verificado el descenso o camino de cargas.

### Comentario 35: "Corrección de la falta de encaje"

Para corregir la falta de encaje en estructuras ligeras, no es habitual el uso de pasadores cónicos, ni de forros, ni la realineación de agujeros, dado que normalmente:

- Se fuerzan hasta la posición
- Se cambian las piezas (son baratas)
- Muchos taladros se pueden realizar en obra, con lo que se reducen las situaciones con falta ajuste.

Las uniones completadas en obra deben verificarse de acuerdo con el apartado 12.5.

## 10 Tratamiento de superficies

### 10.1 Generalidades

Este capítulo especifica los requisitos para adecuar las superficies con imperfecciones, incluyendo las superficies soldadas y fabricadas, para la aplicación de pinturas y productos relacionados. Los requisitos a tener en cuenta en el sistema particular de revestimiento que se va a aplicar deben ser especificados.

Este capítulo no contempla los requisitos detallados para los sistemas de protección frente la corrosión, que son especificados en las siguientes referencias que deben ser aplicados según corresponda:

- a) Las superficies que van a pintarse: la serie de normas EN ISO 12944 y el Anejo F.
- b) Las superficies que van a recibir un revestimiento metálico mediante proyección térmica: las normas EN 14616, EN 15311, EN ISO 14713 y el Anejo F.
- c) Las superficies que van a recibir un revestimiento metálico mediante galvanización: las normas EN ISO 1461, EN ISO 14713 y el Anejo F.

### Comentario 36: "Proyección térmica en estructuras ligeras"

La proyección de zinc (metalización) se realiza introduciendo un alambre o polvo de zinc en pistolas de calor, dónde se funde y se proyecta a la parte que va a revestirse. El calor se suministra mediante una llama de oxígeno o un arco eléctrico. El revestimiento de zinc suele sellarse con una fina capa de poliuretano de baja densidad o resinas de epoxi o vinilo [69].

La metalización con zinc se usa para reparar las zonas dañadas durante procesos de soldeo, siempre que sea un área relativamente extensa y crítica de la estructura. También se emplean las pinturas ricas en zinc. Aunque la metalización con zinc alcanza, e incluso supera, las prestaciones del revestimiento original, requiere de un equipo especial y es un proceso lento [70].

Por motivos como la resistencia mecánica y la estabilidad, no hay necesidad de protección contra la corrosión cuando las estructura vaya a usarse por un periodo de vida útil corto, o en un ambiente de corrosividad despreciable (por ejemplo, la categoría C1 o la pintura por motivos estéticos exclusivamente), o haya sido dimensionada para permitir la corrosión.

NOTA 1 Se puede considerar un año como un periodo de "vida útil" corto.

**Comentario 37: “Protección de estructuras provisionales”**

Los elementos de paredes delgadas de las estructuras ligeras están protegidos de antemano (galvanizados), dado su pequeño espesor. No pueden dejarse “sin protección”.

Si se especifica el pintado por razones estéticas, es aplicable la Tabla 22 junto con el Anejo F.

Si se especifican tanto sistemas de protección frente a la corrosión como frente al fuego, deben probarse su compatibilidad.

NOTA 2 La protección frente al fuego no se considera generalmente como parte de la protección frente a la corrosión.

**Comentario 38: “Sistemas de protección contra el fuego”**

La protección frente al fuego de las estructuras de acero conformado en frío consiste en sistemas de cobertura y aislamiento de los elementos de la estructura (vigas, columnas, paredes de carga o de separación de sectores de fuego, cubiertas y forjados) [71] [72].

Los sistemas de cobertura protegen al acero de la acción directa del fuego. De esta manera, se consigue retardar la pérdida de las propiedades del acero a elevadas temperaturas. Los sistemas de cobertura pueden ser:

- Placas de yeso, de perlita, de fibrocemento
- Muros de fábrica u hormigón
- Paneles de granito, mármol

Los sistemas de aislamiento se colocan en el interior de los muros, falsos techos, cubiertas. Los aislamientos protegen al elemento e impiden la propagación del calor al resto de la estructura. Los sistemas de aislamiento pueden ser:

- Paneles de lana de vidrio o de roca
- Materiales proyectados: fibra mineral, mortero de vermiculita

Las condiciones que debe cumplir la protección de la estructura frente al fuego están recogidas en CTE Documento Básico SI y otros similares.

**10.2 Preparación de superficies de acero**

Todas las superficies en las que se van a aplicar pinturas y productos relacionados deben ser preparadas para cumplir con los criterios de la norma EN ISO 8501. El grado de preparación según la norma ISO 8501-3 debe ser especificado.

Si se especifica la vida esperada de la protección frente a la corrosión y la categoría de corrosividad, el grado de preparación debe estar de acuerdo con la Tabla 22.

**Tabla 22 – Grado de preparación**

Vida esperada de la protección frente a la corrosión <sup>a</sup>	Categoría de corrosividad <sup>b</sup>	Grado de preparación <sup>c</sup>
> 15 años	C1 / C2	P1
	Por encima de C2	P2
5 años a 15 años	C1 a C3	P1
	Por encima de C3	P2
< 5 años	C1 a C4	P1
	C5 – Im	P2

<p><sup>a b</sup> La vida esperada de la protección frente a la corrosión y la categoría de corrosión están referenciadas en las normas EN ISO 12944 y EN ISO 14173 según corresponda.</p> <p><sup>c</sup> El grado de preparación P3 puede ser especificado para casos especiales</p>
--

### 10.3 Aceros resistentes a la intemperie

#### Apartado excluido

Los aceros resistentes a la intemperie no son materia de este trabajo.

### 10.4 Acoplamiento galvánico (*galvanic coupling*)

Debe evitarse el contacto no proyectado entre diferentes productos metálicos, por ejemplo el acero inoxidable con el aluminio o el acero estructural, o el aluminio con las superficies galvanizadas.

### 10.5 Galvanización

Cuando el decapado vaya a emplearse antes de la galvanización, todos los huecos entre soldaduras e intervalos en soldadura discontinua deberían sellarse antes del decapado para evitar el ingreso de ácido, salvo que haya conflictos con las consideraciones expuestas en el apartado siguiente.

Si los componentes fabricados contienen espacios cerrados, deben proveerse de agujeros de ventilación y drenaje. Generalmente, los espacios cerrados deberán ser galvanizados internamente y, en caso contrario, debe especificarse si estos espacios deben sellarse después de la galvanización y, de ser así, con qué.

### 10.6 Sellado de volúmenes

Si los espacios cerrados se van a sellar mediante soldeo o se les va a aplicar un tratamiento de protección interno, debe especificarse el sistema de tratamiento interno. Debe indicarse si los espacios han de sellarse por soldeo o si van a estar provistos de un tratamiento de protección interno.

Si los espacios van a estar cerrados totalmente mediante soldaduras de sellado, debe especificarse si los defectos o imperfecciones de soldadura permitidos de acuerdo con la especificación de soldeo requieren su sellado mediante la aplicación de un material de relleno apropiado para prevenir la entrada de humedad. Si se requiere, debe especificarse una inspección posterior.

NOTA Se presta una atención especial a las fisuras en las soldaduras, que no son detectables mediante la inspección visual, y pueden permitir la entrada de agua al espacio sellado.

Si los perfiles cerrados van a ser galvanizados, no deben sellarse antes de su galvanización. En el caso de superficies solapadas con soldaduras continuas, debe proveerse de una ventilación adecuada, salvo que el área de solape sea tan pequeña que el riesgo de “salida explosiva” (*explosive egress*) de gases atrapados durante la galvanización se considere insignificante.

Si las fijaciones mecánicas penetran las paredes de espacios cerrados sellados, debe especificarse el método que va a emplearse para sellar la intercara (*interface*).

### 10.7 Superficies en contacto con el hormigón

Las superficies que van a estar en contacto con hormigón, incluyendo la cara inferior de las placas de apoyo, deben revestirse con el tratamiento de protección aplicado a la estructura, excluyendo cualquier revestimiento de acabado estético, por lo menos los primeros 50 mm de la longitud embebida salvo que se especifique otra cosa y el resto de superficies no necesiten ser revestidas, salvo que se especifique. Las superficies sin revestimiento deben “limpiarse con chorro” (*blast cleaned*) o cepillarse para eliminar los restos de “escamas de laminación” (*mill scale*) y limpiarse para

retirar el polvo, aceite y grasa. Inmediatamente antes de hormigonar, deben eliminarse los restos de óxido, polvo y cualquier escombros.

### 10.8 Superficies inaccesibles

Las áreas y superficies que tendrán una accesibilidad difícil tras el ensamblaje deben tratarse antes de su ensamblaje.

Salvo que se especifique lo contrario, las uniones atornilladas, incluyendo el perímetro de alrededor de tales uniones, deben tratarse con el sistema completo de protección frente a la corrosión especificado para el resto de estructura.

*ENV 1090-2 [24]*

#### 8.1.1 Resistencia a la corrosión

Los materiales de los conectores y las fijaciones deben decidirse de forma que eviten el fallo estructural de los conectores y las fijaciones o el deterioro de la estructura de acero y el material de cobertura.

La resistencia a la corrosión de los conectores y las fijaciones tiene que ser, como mínimo, la misma que la del elemento unido.

En el caso de las fijaciones, que estén en contacto directo con la atmósfera corrosiva o la humedad originada por la condensación o el transporte por fuerzas capilares, la totalidad de la zona cargada debe ser de acero inoxidable austenítico o un material una durabilidad equivalente. En casos donde sólo la cabeza esté expuesta a la atmósfera corrosiva o que el resto de mecanismos de corrosión en las zonas cargadas pueda descartarse, podrán emplearse fijaciones de acero galvanizadas o sin con una protección, si sus cabezas están completamente protegidas por un material no corrosivo.

Las cabezas de plástico y las arandelas de sellado deberán resistir la radiación ultravioleta y los agentes presentes en la atmósfera.

#### Comentario 39: "Protección de tornillos"

La protección contra la corrosión de los tornillos se consigue utilizando:

- Tornillos de acero inoxidable, según la norma EN ISO 3506.
- Tornillos de acero, según EN ISO 898-1, con recubrimientos de zinc, según la norma ISO 4042. Este recubrimiento puede conseguirse mediante electrólisis o por inmersión.

La resistencia frente a la corrosión de los tornillos zincados puede ser mejorada mediante un tratamiento posterior de pasivación por fosfatado. Esta capa de conversión crómica puede mejorarse con revestimientos selladores (Ultra GL, JS-500 o similar, Finigard, etc.) capaces de resistir el shock térmico de 120 °C [44] [73] [74].

### 10.9 Reparaciones tras el corte o el soldeo

Debe especificarse si se requiere la reparación, o cualquier tratamiento de protección adicional, en los bordes cortados y las superficies adyacentes tras el corte.

Cuando los productos de acero revestidos previamente vayan a ser soldados, deben especificarse los métodos y el alcance de la reparación necesarios para el revestimiento.

Si se han eliminado o dañado las superficies galvanizadas a causa del soldeo, las superficies deben ser limpiadas, preparadas y tratadas con una imprimación rica en zinc y un sistema de pintura que ofrezca un nivel de protección frente a la corrosión similar al de la galvanización para la categoría de corrosividad dada (véase la norma EN ISO 1461 para una guía adicional).

## 10.10 Limpieza tras el montaje

### 10.10.1 Limpieza de los elementos de paredes delgadas

La estructura debe ser limpiada a diario de los restos de los remaches ciegos, de las virutas de perforación, etc., para prevenir el daño por corrosión.

### 10.10.2 Limpieza de los elementos de acero inoxidable

#### Apartado excluido

Los aceros inoxidables no son materia del presente trabajo.

## 11 Tolerancias geométricas

### 11.1 Tipos de tolerancia

Este capítulo define los tipos de desviaciones geométricas y da los valores cuantitativos para dos tipos de desviaciones permitidas:

- a) Aquéllos aplicables a un conjunto (*range*) de criterios que son esenciales para la resistencia mecánica y la estabilidad de la estructura finalizada, denominados "tolerancias básicas o normales" (*essential tolerances*).
- b) Aquéllos requeridos para satisfacer otros criterios, como el ajuste o la apariencia, denominados tolerancias funcionales.

Las tolerancias básicas y las funcionales son normativas.

NOTA Para los componentes de acero estructural, la norma prEN 1090-1 se refiere a las tolerancias básicas.

Las desviaciones permitidas dadas no incluyen las deformaciones elásticas inducidas por el peso propio de los componentes.

Además, se pueden especificar tolerancias especiales para desviaciones geométricas ya definidas con valores cuantitativos o para otros tipos de desviaciones geométricas. Si se requieren tolerancias especiales, debe darse la siguiente información, según corresponda:

- a) Los valores modificados (*amended values*) para las tolerancias ya definidas;
- b) Los parámetros definidos y los valores permitidos para las desviaciones geométricas que hay que controlar;
- c) Si dichas tolerancias especiales se aplican a todos los componentes correspondientes o sólo a componentes particulares que están identificados.

En cada caso, los requisitos son para el examen de aceptación final. Si los elementos prefabricados van a formar parte de la estructura que se construye en obra, deben cumplirse las tolerancias especificadas para la inspección (*checking*) final de la estructura ejecutada, además de las tolerancias para elementos prefabricados.

### 11.2 Tolerancias básicas

#### 11.2.1 Generalidades

Las tolerancias básicas deben cumplir lo indicado en el Anexo D.1. Los valores especificados son desviaciones admitidas. Si la desviación real excede al valor permitido, el valor medido debe ser tratado como una no conformidad según el Capítulo 12.

En algunos casos, existe la posibilidad de que la desviación no corregida de una tolerancia básica pueda justificarse de acuerdo con el diseño estructural, si el exceso de desviación se incluye específicamente en un recálculo. En caso contrario, la no conformidad debe corregirse.

## 11.2.2 Tolerancias de fabricación

### 11.2.2.1 Perfiles laminados

Los productos estructurales conformados en frío mediante rodillos o plegadoras deben cumplir con las desviaciones permitidas por la norma del producto pertinente. Esas desviaciones permitidas continúan aplicándose a los componentes fabricados a partir de dichos productos, salvo que sustituyan a criterios más estrictos especificados en este capítulo.

### 11.2.2.2 Perfiles soldados

#### Apartado excluido

Las tolerancias a las que se refiere este apartado son propias de elementos no utilizados en las estructuras ligeras (perfiles en I soldados, secciones en cajón soldadas y placas rigidizadas).

### 11.2.2.3 Perfiles conformados en frío

Los componentes conformados en frío mediante prensado deben cumplir con las desviaciones permitidas dadas en la Tabla D.1.2. Para los componentes fabricados a partir de perfiles conformados en frío, véase el apartado 11.2.2.1.

NOTA Como ejemplo, las tolerancias de la sección transversal de la norma EN 10162 ("Perfiles de acero conformados en frío. Condiciones técnicas de suministro. Tolerancias dimensionales y de la sección transversal") se aplican a los perfiles laminados en frío, mientras que la Tabla D.1.2 se aplica a los perfiles conformados mediante prensado.

### 11.2.2.4 Placa rigidizada (*stiffened plating*)

Ver el apartado excluido 11.2.2.2 *Perfiles soldados*.

### 11.2.2.5 Chapas perfiladas (*profiled sheet*)

Las chapas perfiladas empleadas como componentes estructurales deben cumplir con las desviaciones permitidas especificadas en la norma EN 508-1, más las contenidas en la Tabla D.1.7.

### 11.2.2.6 Láminas

#### Apartado excluido

Las láminas de acero se utilizan en silos, calderas, depósitos de agua, recipientes a presión o la estructura de barcos, automóviles, aviones, etc. En el mundo de la edificación, las láminas de acero se usan en cubiertas de grandes espacios [75]. Aunque puedan aplicarse materiales y principios recogidos en la norma EN 1993-1-3, las láminas tienen su propia norma de cálculo (la norma EN 1993-1-6 [76]), por lo que quedan fuera del ámbito de aplicación del presente trabajo (las estructuras ligeras convencionales, calculadas con la EN 1993-1-3).

## 11.2.3 Tolerancias de montaje

### 11.2.3.1 Sistema de referencia

Las desviaciones de los componentes montados deben medirse con respecto a sus puntos de posición (véase la norma ISO 4463). Si no está establecido un punto de posición, las desviaciones se medirán con respecto al sistema secundario.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

### 11.2.3.2 Pernos de cimentación y otros soportes

La posición de los puntos centrales de un grupo de pernos de cimentación u otros soportes no debe desviarse más de  $\pm 6$  mm de su posición especificada con respecto al sistema secundario.

### 11.2.3.3 Bases de pilares

Los agujeros en las placas de asiento y demás chapas usadas para fijación a soportes deberían dimensionarse con unas holguras que permitieran igualar las desviaciones admitidas para los soportes a las admitidas para la parte de estructura correspondiente. Esto puede requerir el uso de arandelas especialmente grandes entre las tuercas sobre los pernos de anclaje y la cara superior de la placa de asiento.

### 11.2.3.4 Pilares

Las desviaciones de los pilares montados deben cumplir con las desviaciones permitidas dadas en las Tablas D.1.10 y D.1.11.

### 11.2.3.5 Apoyos de contacto total

#### Apartado excluido

Los apoyos de contacto total no son materia de este trabajo.

### 11.2.3.6 Puentes

#### Apartado excluido

Los puentes no son materia de este trabajo.

## 11.3 Tolerancias funcionales

### 11.3.1 Generalidades

Las tolerancias funcionales deben estar de acuerdo con los valores tabulados descritos en el apartado 11.3.2. Si lo permite el Pliego de especificaciones, puede aplicarse el sistema con criterios alternativos descritos en el apartado 11.3.3.

Debería especificarse el sistema de tolerancias funcionales. Cuando no se especifique ningún sistema, debe aplicarse el sistema de valores tabulados.

### 11.3.2 Valores tabulados

En el Anexo D.2 se dan los valores tabulados para las tolerancias funcionales. Generalmente se muestran valores para dos clases. La elección de la clase de tolerancia puede aplicarse para los componentes individuales o para partes seleccionadas de una estructura montada.

NOTA Un ejemplo de aplicación del Anexo D.2 sería asignar tolerancias de clase 2 a la parte de la estructura a la que se va a fijar una fachada acristalada para permitir un buen ajuste.

Cuando se utilice el anexo D.2 y no se haya especificado qué clase debe aplicarse, se aplica la clase de tolerancia 1.

### 11.3.3 Criterios alternativos

Como alternativa a los valores tabulados dados en el anexo D.2, pueden aplicarse los siguientes criterios, salvo que se establezca otra cosa en el Pliego de especificaciones:

a) Para estructuras soldadas, las clases siguientes de acuerdo con la norma EN ISO 13920:

- Clase C para la longitud y las dimensiones angulares
  - Clase G para la rectitud, la planicidad y paralelismo
- b) Para elementos no soldados, el mismo criterio que el dado en el punto (a).
- c) En otros casos, para una dimensión  $d$ , una desviación  $\Delta$  permitida igual al mayor de  $d/500$  o 5 mm.

## 12 Inspección, ensayos y correcciones

### 12.1 Generalidades

Este capítulo especifica los requisitos para la inspección y ensayo con respecto a los requisitos de calidad incluidos en la documentación de calidad (véase el apartado 4.2.1) o el plan de calidad (véase del apartado 4.2.2) según corresponda.

La inspección, ensayo y correcciones deben realizarse en las obras de acuerdo con el Pliego de especificaciones y dentro de los requisitos de calidad establecidos en la norma EN 1090-2, recogidos en el presente trabajo.

Todas las inspecciones y ensayos deben realizarse según un plan predeterminado con procedimientos documentados. Todas las inspecciones y ensayos específicos, y las correcciones asociadas deben estar documentados.

### 12.2 Productos de acero y componentes

#### 12.2.1 Productos de acero

Los documentos suministrados con los productos de acero con los requisitos del Capítulo 5 deben comprobarse para verificar que la información de los productos de acero suministrados coincide con lo que se pidió.

NOTA 1 Esta documentación incluye los certificados de inspección, los informes de ensayos, la declaración de conformidad, según corresponda, para chapas, perfiles, consumibles de soldeo, fijaciones mecánicas, espárragos, etc.

NOTA 2 Esta comprobación de la documentación está prevista generalmente para obviar la necesidad de ensayar los productos de acero.

La inspección de la superficie del producto de acero en busca de defectos revelados durante la preparación de superficies debe estar incluida en los planes de inspección y ensayo.

Si los defectos de la superficie en los productos de acero, revelados durante la preparación de superficies, se reparan utilizando métodos que están de acuerdo con la norma EN 1090-2, el producto de acero reparado puede ser utilizado siempre que cumpla con las propiedades nominales especificadas para el producto de acero original.

No hay requisitos para el ensayo específico de los productos de acero, salvo que se especifique otra cosa.

#### 12.2.2 Componentes

Los documentos suministrados con los componentes deben revisarse para verificar que los productos suministrados coinciden con los pedidos.

NOTA Esto es aplicable a todos los productos suministrados y parcialmente fabricados recibidos en un taller del constructor para un procesamiento posterior (por ejemplo, perfiles en C para la formación de secciones compuestas CC o de paneles prefabricados), y a los productos recibidos a pie de obra para el montaje por el constructor, si no han sido fabricados por éste.

### 12.2.3 Productos no conformes

Si la documentación suministrada no incluye una declaración del suministrador de que los productos cumplen con las especificaciones, dichos productos se tratarán como productos no conformes hasta que se pueda demostrar que cumplen con los requisitos del plan de ensayos e inspecciones.

En el caso de productos que en primera instancia fueron designados como no conformes y que posteriormente se demuestre que están en conformidad mediante ensayos, deberán registrarse los ensayos realizados.

### 12.3 Fabricación: dimensiones geométricas de los componentes fabricados

El plan de inspección debe considerar los requisitos y verificaciones necesarios sobre los productos de acero preparados y los componentes fabricados.

Las mediciones dimensionales de componentes deben tomarse siempre. Los métodos e instrumentos empleados se seleccionarán, como corresponda, de aquéllos que están listados en la ISO 7976-1 y la ISO 7976-2. La precisión (de las medidas) se establecerá de acuerdo con la parte pertinente de la ISO 17123.

La localización y la frecuencia de las medidas deben especificarse en el plan de inspección.

Los criterios de aceptación deben estar de acuerdo con el apartado 11.2. Las desviaciones deben medirse con respecto a las contraflechas o preajuste.

Si la inspección de aceptación da como resultado la identificación de una no conformidad, la actuación ante tal no conformidad debe ser como sigue:

- a) Si es posible, la no conformidad debe ser corregida utilizando métodos que estén de acuerdo con la norma EN 1090-2, contenidos en el presente trabajo, y comprobado de nuevo.
- b) Si la corrección no es practicable, pueden hacerse modificaciones en la estructura de acero para compensar la no conformidad, siempre que esté de acuerdo con un procedimiento para manejar las no conformidades.

Si se emplea un montaje de prueba, como se indica en el apartado 6.10, los requisitos de inspección deben estar incluidos en el plan de inspección.

### 12.4 Soldeo

#### 12.4.1 Inspección antes y durante el soldeo

La inspección antes y durante el soldeo debe incluirse en el plan de inspección según los requisitos dados en la parte correspondiente de la norma EN ISO 3834.

Los métodos de "ensayo no destructivos" (NDT, *Non Destructive Testing*) deben seleccionarse según la norma EN 12062 por personal cualificado de Nivel 3, como se define en la norma EN 473. Generalmente, el ensayo ultrasónicos o el ensayo radiográficos se aplica en soldaduras a tope, y el ensayo por líquidos penetrantes o examen por partículas magnéticas se aplica a soldaduras en ángulo.

NDT, con la excepción del examen visual, deben ser realizados por personal cualificado de Nivel 2, como se define en la norma EN 473.

## 12.4.2 Inspección después del soldeo

### 12.4.2.1 Tiempos

En general, los NDT suplementarios de una soldadura no deben completarse hasta después de un tiempo mínimo de espera después del soldeo.

**Comentario 40:** "Tiempos de espera en soldadura de elementos de paredes delgadas"

En el caso de soldaduras en elementos de paredes delgadas de aceros S235 a S420, donde las soldaduras no superan los 6 mm de espesor, el tiempo mínimo de espera es solamente el periodo de enfriamiento de la soldadura.

Si una soldadura va a ser inaccesible tras el trabajo posterior, deberá inspeccionarse antes de realizar dicho trabajo.

### 12.4.2.2 Alcance de la inspección

El examen visual debe realizarse sobre la longitud total de todas las soldaduras. Si se detectan imperfecciones de superficie, deberá realizarse en la soldadura inspeccionada un ensayo de la superficie mediante ensayo por líquidos penetrantes o inspección por partículas magnéticas.

Salvo que se especifique otra cosa, no se necesitan NDT adicionales para las soldaduras de clase EXC1. Para las soldaduras de clases EXC2, EXC3 y EXC4 la extensión de los NDT suplementarios es como se especifica a continuación.

El alcance de los NDT cubre ensayos tanto de imperfecciones superficiales como imperfecciones internas, si son de aplicación.

Para las 5 primeras uniones hechas con la misma nueva WPS, deben satisfacerse los siguientes requisitos:

- a) Se requiere un nivel de calidad B para la prueba de la WPS en condiciones de producción.
- b) El porcentaje % que se ensaya debe ser el doble de los valores dados en la Tabla 24. (máx. 100%)
- c) La longitud mínima que se inspecciona es 900 mm.

Si la inspección da resultados no conformes, debe llevarse a cabo una investigación con el fin de encontrar el motivo y ensayarse un nuevo conjunto de cinco soldaduras. Debe seguirse la guía dada en el Anexo C de la norma EN 12062:1997.

NOTA 1 El propósito de la inspección descrita en el párrafo anterior es establecer que con una WPS puede producirse una calidad conforme cuando se implemente en la producción. Para el desarrollo y uso de una WPS véase el diagrama de flujo en el Anexo L.

Una vez se haya establecido que el "soldo de producción" (*production welding*, traducción conforme a EN 1792 [53]) según una WPS alcanza los requisitos de calidad, la extensión requerida de NDT suplementarios debe ser conforme a la Tabla 24 para futuras uniones soldadas, según la misma WPS tratada como un único lote de inspección continuo. Los porcentajes se aplican a la extensión de los NDT suplementarios tratados como la cantidad acumulativa dentro de cada lote de inspección.

Las uniones a ensayar según la Tabla 24 deben seleccionarse sobre la base del Anexo C de la norma EN 12062:1997, con una longitud total mínima para el lote de inspección  $x$  de 900 mm, asegurándose que el muestreo cubre las siguientes variables de la forma más amplia posible: el tipo de unión, el grado de producto de acero, el equipo de soldeo y el trabajo de los soldadores. El Pliego de especificaciones puede identificar uniones específicas para la inspección junto con la extensión y el método de ensayo.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

Si la inspección revela defectos de soldadura dentro del tramo inspeccionado que superan los requisitos establecidos en los criterios de aceptación, la inspección debe realizarse sobre dos longitudes de soldadura, una en cada lado del tramo que incluya el defecto. Si la inspección a uno u otro lado de resultados no conformes, debe realizarse una investigación para determinar el motivo.

NOTA 2 El propósito de la inspección en la Tabla 24 es establecer que la producción en curso está produciendo soldaduras conformes.

Tabla 24 – Extensión de NDT suplementarios

Tipo de soldadura	Soldaduras en obra y en taller		
	EXC2	EXC3	EXC4
Soldaduras a tope transversales en uniones a tope sometidas a tracción:			
$U \geq 0,5$	10 %	20 %	100 %
$U < 0,5$	0 %	10 %	50 %
Soldaduras a tope transversales:			
en uniones cruciformes	10 %	20 %	100 %
en uniones en T	5 %	10 %	50 %
Soldaduras en ángulo sometidas a tracción o cortante	0 %	5 %	10%
Soldaduras longitudinales	0 %	5 %	10%
NOTA 1 Las soldaduras longitudinales son aquéllas realizadas en paralelo al eje del elemento. Las demás se consideran soldaduras transversales.			
NOTA 2 $U$ = Coeficiente de utilización para las soldaduras bajo cargas cuasi-estáticas. $U = E_d/R_d$ , donde $E_d$ es la mayor acción soportada por la soldadura y $R_d$ es la resistencia de la soldadura en estado límite último.			

### 12.4.2.3 Inspección visual de soldaduras

La inspección visual debe realizarse después de completar el soldeo en una zona y antes de proceder a cualquier otro NDT.

La inspección visual debe incluir:

- la presencia y la situación de todas las soldaduras
- la inspección de las soldaduras según la norma EN 970
- los “golpes de arco” (*stray arcs*, traducción conforme a la EN 1792 [53]) y las zonas de proyecciones (o salpicaduras)

### 12.4.2.4 Métodos NDT adicionales

Los siguientes métodos NDT deben realizarse de acuerdo con los principios generales dados en la norma EN 12062 y con los requisitos de la norma particular de cada método:

- ensayo por líquidos penetrantes (PT, *Penetrant Testing*) según la norma EN 571;
- inspección por partículas magnéticas (MT, *Magnetic Testing*) según la norma EN 1290;
- ensayo por ultrasonidos (UT, *Ultrasonic Testing*) según la normas EN 1714, EN 1713;
- ensayos radiográficos (RT, *Radiographic Testing*) según la norma EN 1435.

El campo de aplicación de los métodos NDT se establece en sus respectivas normas.

#### **12.4.2.5 Corrección de soldaduras**

Para las clases de ejecución EXC2, EXC3 y EXC4, las reparaciones mediante soldeo deben realizarse de acuerdo con los procedimientos de soldeo cualificados.

Las soldaduras corregidas deben verificarse y cumplir los requisitos establecidos para las soldaduras originales.

#### **12.4.3 Inspección y ensayo de espárragos solicitados a cortante, soldados para las estructuras mixtas de acero y hormigón**

La inspección y ensayo de los espárragos de cortante para estructuras mixtas deben realizarse según la norma EN 14555.

Esta inspección incluye la comprobación de la longitud de los espárragos tras el soldeo.

Los espárragos no conformes deben ser sustituidos. Es recomendable que los espárragos de sustitución estén soldados en una posición nueva adyacente.

El funcionamiento apropiado de los equipos de soldeo empleados en obra deben volver a verificarse después de trasladarlos y al comienzo de cada turno o de otro periodo de trabajo, mediante ensayos sobre espárragos soldados con el equipo respectivo, de acuerdo con la norma EN ISO 14555.

#### **12.4.4 Ensayos de producción sobre el soldeo**

##### Apartado excluido

En este apartado de la norma se especifican las comprobaciones que deben realizarse para las clases EXC3 y EXC4 en soldeos de producción de aceros de alto límite (superior a S460), en soldaduras de penetración completa y soldaduras de tableros de puentes. Tales procesos quedan fuera del alcance del presente trabajo.

### **12.5 Fijación mecánica**

#### **12.5.1 Inspección de uniones atornilladas no pretensadas**

Todas las uniones con fijaciones mecánicas sin pretensar deben comprobarse visualmente después de que estén atornillados con la estructura localmente alineada.

Cuando durante el enganche se identifiquen uniones en las que falten tornillos, estas uniones deberán comprobarse, en lo que respecta al ajuste, después de haber instalado los tornillos perdidos.

Los criterios de aceptación y las actuaciones para corregir no conformidades deben estar de acuerdo con los apartados 8.3 y 9.6.5.3.

Las no conformidades pueden ser corregidas, cuando sea posible, ajustando la alineación local del componente.

Las uniones corregidas deben volver a inspeccionar después de recompletarlas.

Si se requiere un sistema de aislamiento en uniones entre metales distintos, deben especificarse los requisitos para la comprobación de la instalación.

### 12.5.2 Inspección y ensayo en uniones atornilladas pretensadas

Apartado excluido

Las uniones atornilladas pretensadas no son materia de este trabajo.

### 12.5.3 Inspección, ensayo y reparaciones de roblones

Apartado excluido

El roblonado no es materia de este trabajo.

### 12.5.4 Inspección de la fijación de componentes y chapas conformados en frío

#### 12.5.4.1 Tornillos autorroscantes y autotaladrantes

Cuando se usen tornillos autorroscantes, deberán medirse periódicamente agujeros de muestra mediante “controles al azar” (*spot checks*) en obra para garantizar que son conformes a las recomendaciones del fabricante de la fijación.

Cuando se usen tornillos autorroscantes y autotaladrantes en obra, deberán controlarse al azar tornillos de muestra para garantizar la integridad de la rosca tras su colocación. Este método es aconsejable para los distintos tipos de aplicación. Las fijaciones que muestren una deformación de la rosca que exceda los límites dados por el fabricante de la fijación deberán tratarse como no conformes y reemplazarse con nuevas fijaciones.

NOTA Debería solicitarse la recomendación del fabricante sobre la sustitución de fijaciones. Estas fijaciones pueden necesitar ser de mayor diámetro para garantizar una fijación segura en el agujero preformado.

#### 12.5.4.2 Remaches ciegos

Deberán medirse periódicamente agujeros de muestra mediante controles al azar en obra para garantizar que son conformes a las recomendaciones del fabricante del producto.

Los agujeros con bordes con rebabas que afecten negativamente al acercamiento (*drawing together*) de las partes unidas deben tratarse como no conformes hasta que se rectifiquen.

Las uniones con remaches ciegos deben inspeccionarse para garantizar que la deformación (*upset*) del extremo ciego del remache no se haya formado entre las chapas solapadas. Esas uniones deben tratarse como no conformes. El remache estropeado debe quitarse y reemplazarse.

Si el remache estropeado se quita con un taladro de un diámetro superior que el del agujero original, el remache de sustitución deberá ser el adecuado para el tamaño de agujero generado.

### 12.5.5 Fijaciones y métodos de fijación especiales

#### 12.5.1.1 Generalidades

Deben especificarse los requisitos para la inspección de uniones empleando fijaciones especiales o métodos de fijación especiales de acuerdo con el apartado 8.9.

#### 12.5.5.2 Clavos neumáticos y de cartucho

La inspección debe realizarse para garantizar que las uniones con clavos neumáticos y de cartucho no se han clavado por exceso ni por defecto.

NOTA Si se usa una carga excesiva, podría haber una muesca profunda o una excesiva deformación de las arandelas (“clavados en exceso”, *overdriving*). La penetración insuficiente de la fijación se debe al uso de una fuerza de avance demasiado pequeña (“clavados en defecto”, *underdriving*).

La marca de identificación del fabricante en el clavo debe ser reconocible incluso después de haberlos clavado.

### **12.5.5.3 Otras fijaciones mecánicas**

La inspección de uniones con otras fijaciones mecánicas (como por ejemplo, pernos de gancho [*hook-bolts*], fijaciones especiales) debe aplicarse según las normas/recomendaciones nacionales del producto o las directrices o métodos específicos del fabricante.

## **12.6 Tratamiento de superficies y protección contra la corrosión**

Si la estructura va a protegerse contra la corrosión, la inspección de dicha estructura antes de aplicarle el tratamiento de protección debe realizarse cumpliendo los requisitos del Capítulo 10.

Todas las superficies, soldaduras y bordes deben examinarse visualmente. Los criterios de aceptación deben cumplir los requisitos de la norma ISO 8501.

Los elementos no conformes deberán volver a tratarse, volver a ensayarse y volver a inspeccionarse después.

La inspección de la protección contra la corrosión debe realizarse según lo indicado en el Anejo F.

## **12.7 Montaje**

### **12.7.1 Inspección del montaje de prueba**

Deben especificarse los requisitos para la inspección de cualquier montaje de prueba según el apartado 9.6.4.

### **12.7.2 Inspección de la estructura montada**

La condición de la estructura montada debe inspeccionarse justo antes de la finalización para detectar cualquier indicación acerca de componentes deformados o sobretensados, y para garantizar que todos las uniones (*attachments*) provisionales se han retirado o están de acuerdo con los requisitos especificados.

### **12.7.3 Examen de las posiciones geométricas de los nudos de unión**

#### **12.7.3.1 Métodos de examen y precisión de los mismos**

Deberá realizarse un examen o inspección de la estructura de acero completada. Este examen deberá referirse a la red (topográfica) secundaria. Para las clases EXC3 y EXC4, debe registrarse este examen; si existiera algún requisito para registrar las comprobaciones dimensionales para la aceptación de la estructura, éste deberá especificarse.

Los métodos y los instrumentos empleados deben seleccionarse de entre los que están listados en las normas ISO 7976-1 e ISO 7976-2. La selección debe tener en cuenta la idoneidad del proceso de examen en términos de precisión en relación con los criterios de aceptación. Si procede, el examen se corregirá para los defectos de temperatura, y la precisión de las medidas relativas a lo indicado en el apartado 9.4.1 se estimará de acuerdo con las partes correspondientes de la ISO 17123.

NOTA En la mayoría de casos, cuando el examen se lleva a cabo a una temperatura ambiente entre 5 °C y 15 °C, no son necesarias correcciones.

#### **12.7.3.2 Sistema de medición**

El sistema de desviaciones admitidas se construye a partir de puntos de posición al nivel al final de base, una envolvente para la verticalidad de los pilares y unas series de niveles de techo e intermedios referidos a niveles de techo como ya construidos.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

NOTA Los puntos de posición marcan la situación de los elementos individuales, por ejemplo las columnas (véase la norma ISO 4463-1).

Cada valor individual debe estar de acuerdo con los valores obtenidos de las figuras y tablas. La suma de los valores discretos no debe ser mayor que las desviaciones admitidas para la estructura total.

El sistema debe exponer los requisitos para las posiciones de las uniones. Entre estas posiciones, las tolerancias de fabricación definen las desviaciones admitidas.

El sistema no especifica requisitos explícitos para las piezas estructurales secundarias tales como postes y correas laterales.

Será necesario prestar una atención especial en establecer líneas y niveles cuando se ajuste (*fitting*) a una construcción existente.

### 12.7.3.3 Puntos y niveles de referencia

Las tolerancias de montaje deben estar definidas, generalmente, con relación a los puntos de referencia siguientes en cada elemento:

- a) Para elementos dentro de los 10° de la vertical: el centro del elemento en cada extremo;
- b) Para elementos dentro de los 45° de la horizontal (incluida las partes superiores de las cerchas): el centro de la superficie superior en cada extremo;
- c) Para los componentes internos de "vigas compuestas" (*built-up girders*) y cerchas: el centro del componente en cada extremo;
- d) Para otros elementos: los planos de montaje deben indicar los puntos de referencia que serán generalmente las superficies superior o exterior de los elementos sometidos principalmente a flexión y los ejes de los elementos sometidos a compresión o a tracción directa.

Para facilitar la referencia, los puntos de referencia pueden sustituirse por otros alternativos, siempre que éstos tengan un efecto análogo a los definidos anteriormente.

### 12.7.3.4 Localización y frecuencia

Sólo se tendrán mediciones de los componentes adyacentes a nudos de interconexión en obra como se indica a continuación, salvo que se especifique otra cosa. La localización y la frecuencia de las mediciones deben estar especificadas en el plan de inspección.

NOTA Deberían identificarse las comprobaciones dimensionales críticas de la estructura como "ya construida" (*as-built*) necesarias en relación con las tolerancias especiales y éstas deberán incorporarse en el plan de inspección.

La precisión posicional de la estructura de acero ya montada debería medirse bajo el peso propio de la misma exclusivamente, salvo que se especifique lo contrario. Deben especificarse las condiciones en las cuales las medidas deben llevarse a cabo, así como también las desviaciones y movimientos debido a las cargas aplicadas, que no sean las correspondientes al peso propio de la estructura de acero, cuando dichas cargas puedan influir sobre las comprobaciones dimensionales.

### 12.7.3.5 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación se dan en los apartados 11.2 y 11.3.

### 12.7.3.6 Definición de las no conformidades

En la determinación acerca de si existe una no conformidad deberá tenerse en cuenta la variabilidad inevitable en los métodos de medición calculada de acuerdo con el apartado 12.7.3.1.

NOTA 1 Las normas ISO 3443-1 a 3443-3 dan una guía sobre las tolerancias para edificación y las implicaciones de variables (incluyendo las desviaciones de fabricación, replanteo y montaje) sobre el ajuste entre componentes.

La precisión de la construcción debe interpretarse en relación con las flechas, contraflechas, ajustes previos, movimientos elásticos y dilataciones térmicas previstos para los componentes.

#### **12.7.3.7 Actuación sobre las no conformidades**

La actuación sobre las no conformidades debe estar de acuerdo con el apartado 12.3. Las correcciones deben realizarse empleando métodos que estén de acuerdo con la norma EN 1090-2, recogida en este trabajo.

Si se entrega una estructura de acero con no conformidades sin corregir a la espera de la actuación correspondiente, dichas no conformidades deberán ser enumeradas.

#### **12.7.4 Otros ensayos de aceptación**

Si una estructura presenta componentes que se han de montar a una carga específica en vez de en una posición específica, deberán especificarse los requisitos detallados respectivos, incluyendo el intervalo de tolerancia para la carga.

## **Anexo A** **(normativo)**

### **Información adicional, lista de opciones y requisitos relacionados con las clases de ejecución**

#### **A.1 Lista de información adicional requerida**

Este apartado recopila en la lista de la Tabla A.1 la información adicional requerida en el texto de la Norma Europea EN 1090-2 para definir, según corresponda, los requisitos para la ejecución del trabajo de acuerdo con la Norma Europea EN 1090-2 (por ejemplo, donde se emplea la expresión “debe ser especificado”).

Contenido excluido: Tabla A.1

La Tabla A.1 no se ha recogido en el presente extracto de la norma EN 1090-2. Para consultarla, véase la norma EN 1090-2.

#### **A.2 Lista de opciones**

Este apartado recopila los puntos que pueden especificarse en el Pliego de especificaciones para definir los requisitos para la ejecución del trabajo. Estas opciones están dadas en la Norma Europea EN 1090-2.

Contenido excluido: Tabla A.2

La Tabla A.2, en la que se incluyen todas las opciones, no se ha recogido en el presente extracto de la norma EN 1090-2. Para consultarla, véase la norma EN 1090-2.

#### **A.3 Requisitos relacionados con las clases de ejecución**

Este apartado recopila los requisitos específicos para cada clase de ejecución referenciados en la Norma Europea EN 1090-2.

Contenido excluido: Tabla A.3

La Tabla A.3, en la que se incluyen dichos requisitos, no se ha recogido en el presente extracto de la norma EN 1090-2. Para consultarla, véase la norma EN 1090-2.

## **Anexo B (informativo)**

### **Guía para la determinación de la clase de ejecución**

#### **B.1 Introducción**

En este Anexo se da una orientación para la elección de las clases de ejecución con respecto a aquellos factores de ejecución que afecten a la seguridad global de la obra finalizada y que son prerequisites para la aplicación de los diferentes apartados de la norma EN 1090-2.

NOTA Los procedimientos recomendados para la determinación y el uso de la clase de ejecución según la norma EN 1090-2 tienen en cuenta el hecho de que el cálculo se realizará de acuerdo con la norma EN 1993, para las estructuras de acero, o la EN 1994, para las partes de acero de las estructuras mixtas, para alcanzar una consistencia entre los supuestos hechos en el cálculo de la estructura y los requisitos para la ejecución del trabajo. La determinación de la clase de ejecución se realiza en la fase de cálculo donde se evalúan los detalles específicos para el diseño y la ejecución de la estructura, y la información sobre los requisitos de ejecución está dada en el Pliego de especificaciones. Las pautas de este Anexo pueden ser sustituidas total o parcialmente por futuras pautas añadidas a la norma EN 1993.

#### **B.2 Factores gobernantes en la elección de la clase de ejecución**

##### **B.2.1 Niveles de riesgo**

La norma EN 1990:2002 proporciona, en su Anexo B, las pautas para la elección de los niveles de riesgo con el propósito de una diferenciación en la fiabilidad. Los niveles de riesgo para los elementos estructurales están divididos en tres niveles, denotados como C<sub>Ci</sub> (i = 1, 2 ó 3).

NOTA El Anexo B de la norma EN 1990:2002 es informativo. Consecuentemente el anexo nacional de la EN 1990 puede dar las disposiciones para la aplicación de este anexo.

La norma EN 1991-1-7 da ejemplos de la clasificación del tipo de edificación y la ocupación según los niveles de riesgo que asisten a la implementación del Anexo B de la EN 1990:2002.

Una estructura o una parte de ella pueden contener elementos con distintos niveles de riesgo.

##### **B.2.2 Riesgos relacionados con la ejecución y el uso de la estructura**

###### **B.2.2.1 Generalidades**

Tales riesgos pueden originarse en la complejidad de la ejecución del trabajo o en la incertidumbre de la exposición y las acciones sobre la estructura que pueden descubrir los defectos de la estructura durante el uso.

Riesgos potenciales están relacionados con:

- Factores de uso que surgen de las acciones a las que probablemente estará sometida la estructura o una parte de la misma durante la ejecución y el uso y los niveles de esfuerzo de los elementos en relación con su resistencia
- Factores de ejecución que surgen de la complejidad de la construcción de la estructura y sus elementos, por ejemplo la aplicación de técnicas, procedimientos y controles particulares

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

Para hacer la distinción entre los riesgos se introducen categorías de servicio y de ejecución.

### B.2.2.2 Riesgos relacionados con el uso de la estructura

Las categorías de uso pueden determinarse a partir de la Tabla B.1.

**Tabla B.1 – Criterios sugeridos para las categorías de uso**

Categ.	Criterios
SC1	<ul style="list-style-type: none"><li>· Estructuras y elementos diseñados para acciones cuasi estáticas exclusivamente</li><li>· Estructuras y elementos con sus uniones diseñados para acciones sísmicas en zonas con actividad sísmica reducida y en DCL*.</li></ul>
SC2	<ul style="list-style-type: none"><li>· Estructuras y elementos con sus uniones diseñados para acciones sísmicas en zonas con actividad sísmica media o alta y en DCM* y DCH*.</li></ul>
*DCL, DCM, DCH: clases de ductilidad según la norma EN 1998-1.	

Una estructura o una parte de ella pueden contener elementos o detalles estructurales que pertenezcan a distintas categorías de uso.

### B.2.2.3 Riesgos relacionados con la ejecución de la estructura

Las categorías de ejecución pueden determinarse a partir de la Tabla B.2.

**Tabla B.2 – Criterios sugeridos para las categorías de ejecución**

Categ.	Criterios
PC1	<ul style="list-style-type: none"><li>· Elementos no soldados producidos a partir de acero de cualquier grado.</li><li>· Elementos soldados producidos a partir de acero de grado inferior a S355.</li></ul>
PC2	<ul style="list-style-type: none"><li>· Elementos soldados producidos a partir de acero de grado S355 o superior.</li><li>· Elementos esenciales para la integridad estructural que están unidos mediante soldadura realizada en obra.</li></ul>

Una estructura o una parte de ella pueden contener elementos o detalles estructurales que pertenezcan a distintas categorías de ejecución.

## B.3 Determinación de la clase de ejecución

El procedimiento recomendado para la determinación de la clase de ejecución se realiza mediante los tres pasos siguientes:

- a) Selección de un nivel de riesgo, expresado en términos de consecuencias previsibles humanas, económicas o ecológicas en caso de fallo o colapso de un elemento (véase EN 1990)
- b) Selección de una categoría de uso y de una categoría de ejecución (véanse Tabla B.1 y B.2)
- c) Determinación de la clase de ejecución a partir de los resultados obtenidos en a) y en b) según la Tabla B.3.

NOTA La determinación de la clase de ejecución debería realizarla el proyectista y la propiedad (*owner of the construction Works*), teniendo en cuenta las disposiciones nacionales. En este proceso de decisión, el director del proyecto y el constructor deberían ser consultados, según corresponda, siguiendo cualquier disposición nacional del lugar donde se ponga en servicio la estructura.

La Tabla B.3 da la matriz recomendada para la selección de la clase de ejecución a partir del nivel de riesgo determinado y las categorías de ejecución y uso seleccionadas.

Tabla B.3 – Matriz recomendada para la 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	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sub>a</sub>	EXC3 <sub>a</sub>
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sub>a</sub>	EXC4
<sup>a</sup> La clase de ejecución EXC4 debería aplicarse a estructuras especiales o estructuras con consecuencias extremas en caso de fallo estructural, según se requiera por las disposiciones nacionales							

La clase de ejecución determina los requisitos para diferentes actividades de la ejecución dadas en la norma EN 1090-2. Dichos requisitos están resumidos en el Anexo A.3.

## **Anexo C** (informativo)

### **Lista de comprobaciones para el contenido de un plan de calidad**

#### **C.1 Introducción**

De acuerdo con el apartado 4.2.2, este anexo proporciona la lista de puntos recomendados a ser incluidos en un plan de calidad específico de proyecto para la ejecución de una estructura de acero.

Contenido excluido: "Lista de comprobaciones"

En este anejo se da el contenido que debe incluir un plan de calidad. Para consultar su contenido, véase la norma EN 1090-2.

## **Anexo D** **(normativo)**

### **Tolerancias geométricas**

#### **D.1 Tolerancias básicas**

Las desviaciones permitidas para las tolerancias básicas están tabuladas en:

D.1.2: Tolerancias básicas de fabricación – Perfiles conformados en frío mediante prensado

D.1.7: Tolerancias básicas de fabricación – Chapas perfiladas conformadas en frío

D.1.8: Tolerancias básicas de fabricación – Agujeros para fijaciones, muescas y bordes cortados

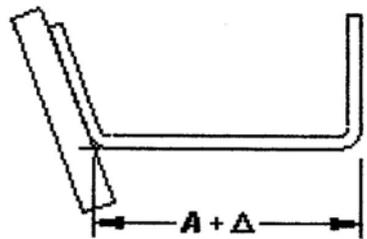
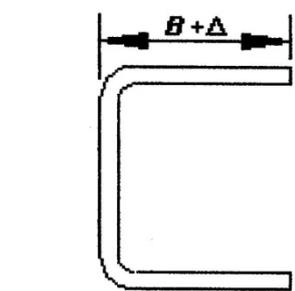
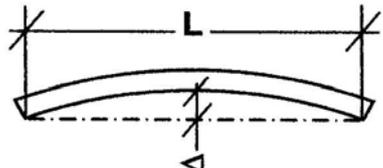
Contenido excluido: “Tolerancias básicas”

Las siguientes tolerancias son aplicables a las estructuras metálicas en general, aunque no se han incluido en el presente trabajo. Para consultarlas, véase la norma EN 1090-2.

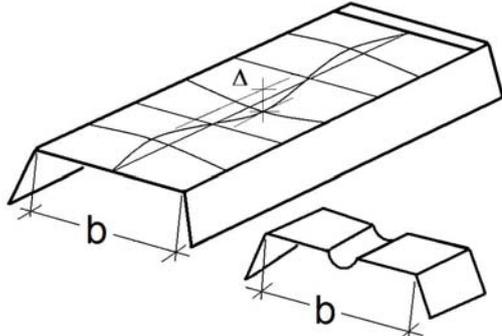
D.1.10: Tolerancias básicas de fabricación – Pilares de un solo piso

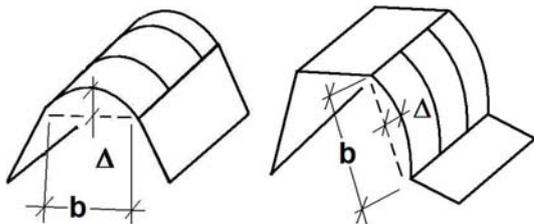
D.1.11: Tolerancias básicas de fabricación – Pilares de varios pisos

D.1.2: Tolerancias básicas de fabricación – Perfiles conformados en frío mediante prensado

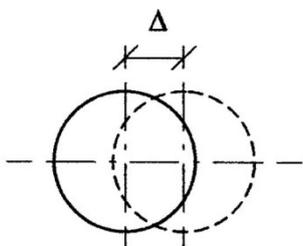
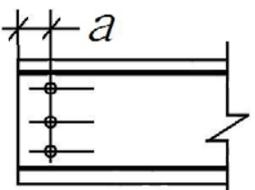
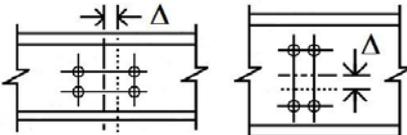
No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$
1	<p>Anchura interna del elemento:</p> 	Ancho $A$ entre pliegues	$-\Delta = A / 50$ (observe el signo negativo)
2	<p>Anchura exterior del elemento:</p> 	Ancho $B$ entre un pliegue y un borde libre	$-\Delta = B / 80$ (observe el signo negativo)
3	<p>Rectitud para elementos usados sin coacciones:</p> 	Desviación $\Delta$ de la rectitud NOTA Para secciones laminadas, véase la norma de producto pertinente.	$ \Delta  = L / 750$

D.1.7: Tolerancias básicas de fabricación – Chapas perfiladas conformadas en frío

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$
1	<p>Planicidad del ala o el alma con o sin rigidizadores:</p> 	Desviación $\Delta$ de la planicidad del elemento nominal plano	$ \Delta  \leq b / 50$

2	<p>Curvatura del ala o el alma:</p> 	<p>Desviación <math>\Delta</math> desde la forma prevista del ala o el alma sobre la curva de ancho <math>b</math></p>	<p><math> \Delta  \leq b / 50</math></p>
---	---	--	--

**D.1.8: Tolerancias básicas de fabricación – Agujeros para fijaciones, muescas y bordes cortados**

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$
1	<p>Posición de los agujeros para las fijaciones:</p> 	<p>Desviación <math>\Delta</math> de un eje central de un agujero individual de su posición prevista dentro de un grupo de agujeros:</p>	<p><math> \Delta  = 2 \text{ mm}</math></p>
2	<p>Posición de los agujeros para las fijaciones:</p> 	<p>Desviación <math>\Delta</math> de la distancia <math>a</math> entre un agujero individual y un borde cortado:</p>	<p><math>-\Delta = 0</math></p>
3	<p>Posición de un grupo de agujeros:</p> 	<p>Desviación <math>\Delta</math> de un grupo de agujeros respecto a la posición prevista:</p>	<p><math> \Delta  = 2 \text{ mm}</math></p>

## D.2 Tolerancias funcionales

Las desviaciones permitidas para las tolerancias funcionales están tabuladas en:

D.2.2: Tolerancias funcionales de fabricación – Perfiles conformados en frío mediante prensado

D.2.8: Tolerancias funcionales de fabricación – Agujeros para fijaciones, muescas y bordes cortados

D.2.13: Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas perfiladas conformadas en frío

D.2.26: Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas de cubierta diseñadas como membranas

D.2.27: Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas perfiladas de acero

### Contenido excluido: “Tolerancias funcionales”

Las siguientes tolerancias son aplicables a las estructuras metálicas en general, aunque no se han incluido en el presente trabajo. Para consultarlas, véase la norma EN 1090-2.

D.2.19: Tolerancias funcionales de fabricación – Cimentaciones de hormigón y soportes

D.2.21: Tolerancias funcionales de fabricación – Posición de pilares

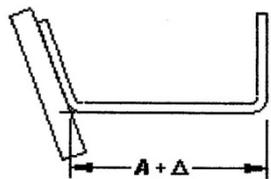
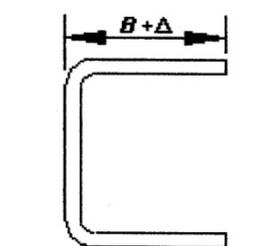
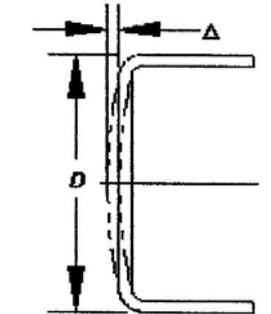
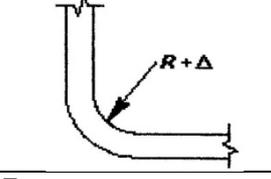
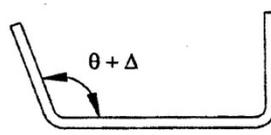
D.2.22: Tolerancias funcionales de fabricación – Pilares de un solo piso

D.2.23: Tolerancias funcionales de fabricación – Pilares de varios pisos

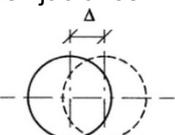
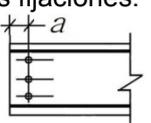
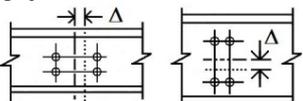
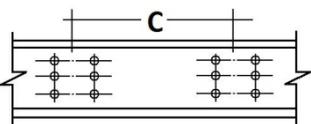
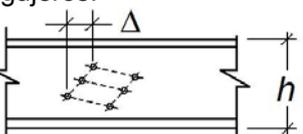
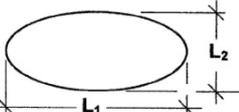
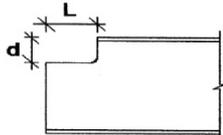
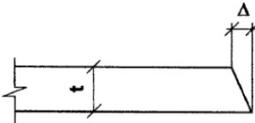
D.2.24: Tolerancias funcionales de fabricación – Edificios

D.2.25: Tolerancias funcionales de fabricación – Vigas en edificios

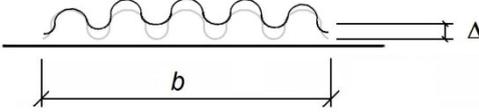
## D.2.2: Tolerancias funcionales de fabricación – Perfiles conformados en frío mediante prensado

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$	
			Clase 1	Clase 2
1	Anchura interna del elemento: 	Ancho $A$ entre pliegues: $t < 3$ mm: Longitud $< 7$ m Longitud $\geq 7$ m $t > 3$ mm: Longitud $< 7$ m Longitud $\geq 7$ m	$ \Delta  = 3$ mm $\Delta = -3$ mm/ +5 mm $ \Delta  = 5$ mm $\Delta = -5$ mm/ +9 mm	$ \Delta  = 2$ mm $\Delta = -2$ mm/ +4 mm $ \Delta  = 3$ mm $\Delta = -3$ mm/ +6 mm
2	Anchura exterior del elemento: 	Ancho $B$ entre un pliegue y un borde libre: -Borde bruto: $t < 3$ mm $t > 3$ mm -Borde cortado: $t < 3$ mm $t > 3$ mm	$\Delta = -3$ mm/ +6 mm $\Delta = -5$ mm/ +7 mm $\Delta = -2$ mm/ +5 mm $\Delta = -3$ mm/ +6 mm	$\Delta = -2$ mm/ +4 mm $\Delta = -3$ mm/ +5 mm $\Delta = -1$ mm/ +3 mm $\Delta = -2$ mm/ +4 mm
3	Planicidad: 	Convexidad concavidad: $\circ$	$ \Delta  = D/50$	$ \Delta  = D/100$
4	Radio de curvatura: 	Radio de curvatura interno:	$ \Delta  = 2$ mm	$ \Delta  = 1$ mm
5	Forma: 	Ángulo $\theta$ entre elementos adyacentes:	$ \Delta  = 3^\circ$	$ \Delta  = 2^\circ$

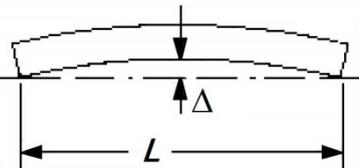
D.2.8: Tolerancias funcionales de fabricación – Agujeros para fijaciones, muescas y bordes cortados

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$	
			Clase 1	Clase 2
1	Posición de los agujeros para las fijaciones: 	Desviación $\Delta$ de un eje central de un agujero individual de su posición prevista dentro de un grupo de agujeros:	$ \Delta  = 2 \text{ mm}$	$ \Delta  = 1 \text{ mm}$
2	Posición de los agujeros para las fijaciones: 	Desviación $\Delta$ de la distancia $a$ entre un agujero individual y un borde cortado:	$ \Delta  = 2 \text{ mm}$	$ \Delta  = 1 \text{ mm}$
3	Posición de un grupo de agujeros: 	Desviación $\Delta$ de un grupo de agujeros respecto a la posición prevista:	$ \Delta  = 2 \text{ mm}$	$ \Delta  = 1 \text{ mm}$
4	Separación de un grupo de agujeros: 	Desviación $\Delta$ en la separación $c$ entre los centros de los grupos de agujeros: -caso genérico -donde una única pieza se conecte mediante dos grupos de agujeros:	$ \Delta  = 5 \text{ mm}$ $ \Delta  = 2 \text{ mm}$	$ \Delta  = 2 \text{ mm}$ $ \Delta  = 1 \text{ mm}$
5	Distorsión de un grupo de agujeros: 	Distorsión $\Delta$ : -si $h \leq 1\,000 \text{ mm}$ -si $h > 1\,000 \text{ mm}$	$ \Delta  = 2 \text{ mm}$ $ \Delta  = 4 \text{ mm}$	$ \Delta  = 1 \text{ mm}$ $ \Delta  = 2 \text{ mm}$
6	Ovalización de agujeros: 	$\Delta = L_1 - L_2$	$ \Delta  = 1 \text{ mm}$	$ \Delta  = 0,5 \text{ mm}$
7	Muecas (entalladuras): 	Desviación $\Delta$ de las dimensiones: -profundidad $d$ -longitud $L$	$-\Delta = 0 \text{ mm}$ $+\Delta \leq 3 \text{ mm}$ $-\Delta = 0 \text{ mm}$ $+\Delta \leq 3 \text{ mm}$	$-\Delta = 0 \text{ mm}$ $+\Delta \leq 2 \text{ mm}$ $-\Delta = 0 \text{ mm}$ $+\Delta \leq 2 \text{ mm}$
8	Perpendicularidad de borde: 	Desviación $\Delta$ de un borde cortado a $90^\circ$	$ \Delta  = 0,1 t$	$ \Delta  = 0,05 t$

## D.2.13: Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas perfiladas conformadas en frío

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$
1	Curvatura vertical de una chapa: 	Desviación $\Delta$ de la forma prevista en una chapa de ancho $b$	$ \Delta  \leq b / 100$
2	Forma:	Desviación $\Delta$ el en ángulo previsto entre los elementos adyacentes de una sección transversal	$ \Delta  \leq 3^\circ$

## D.2.26: Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas de cubierta diseñadas como membranas

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$
1	Desviación de la fijación (de la línea prevista de la fijación: 1) 	Ancho del ala de la correa: $b$	$ \Delta  = b / 10$ $ \Delta  \geq 5 \text{ mm}$
2	Rectitud de la correa de soporte (en el plano de la chapa de cubierta): 	Luz de la correa: $L$	$ \Delta  = L / 300$

## D.2.27: Tolerancias funcionales de fabricación – Chapas perfiladas de acero

No	Criterio	Parámetro	Desviación permitida $\Delta$
1	Ancho global de la chapa perfilada:	Ancho global $b$ de las chapas perfiladas de acero medidos sobre una distancia de 10 m	$ \Delta  \leq 200 \text{ mm}$

## Anexo F (normativo)

### Protección contra la corrosión

#### F.1 Generalidades

##### F.1.1 Campo de aplicación

Este Anexo da los requisitos y las pautas relativos a la ejecución de la protección contra la corrosión realizada tanto en taller como en obra en elementos de acero. El campo de aplicación de la protección contra la corrosión por medio de la preparación y la aplicación de sistemas de pintura o revestimientos metálicos mediante galvanización o proyección térmica. La protección catódica no está incluida.

Comentario 41: "Tratamientos de protección de elementos de acero conformado en frío"

En el apartado 4.1.2 se describen todos los tipos de tratamiento de protección que se aplican a los elementos de acero conformados en frío de paredes delgadas, con una descripción de sus características, de los tipos de ambientes y una tabla de recomendaciones del tipo de recubrimiento en función del ambiente.

Los requisitos para la protección contra la corrosión deben darse en el pliego de especificaciones en términos de especificación de funcionamiento o como requisitos de funcionamiento del tratamiento protector empleado.

NOTA 1 La norma EN ISO 12944-8 proporciona pautas para desarrollar especificaciones para la protección contra la corrosión empleando pinturas.

Este Anexo no cubre la protección contra la corrosión de cables y accesorios.

NOTA 2 Véase Anexo A de la norma EN 1993-1-11:2006.

##### F.1.2 Especificación de funcionamiento

La especificación de funcionamiento debe especificar:

- a) La vida útil de la protección contra la corrosión (véase la norma EN ISO 12944-1) y
- b) La categoría de corrosividad (véase la norma EN ISO 12944-2)

La especificación de funcionamiento puede establecer también preferencias por el pintado, la proyección térmica o la galvanización.

##### F.1.3 Requisitos prescriptivos

Si se especifican la vida útil de la protección contra la corrosión y la categoría de corrosividad, deberán desarrollarse requisitos prescriptivos para cumplir con éstas. De lo contrario, el pliego de especificaciones deberá definir los requisitos prescriptivos dando detalles de los siguientes elementos, según corresponda:

- a) La preparación de superficies de elementos manufacturados de acero que van a ser pintados (véase el apartado F.2.1)
- b) La preparación de superficies de elementos manufacturados de acero que van a ser proyectados térmicamente (véase la norma EN 14616 y el apartado F.2.1)
- c) La preparación de superficies de elementos manufacturados de acero que van a ser galvanizados (véase el apartado F.2.2)
- d) Los procesos de preparación de superficies de fijaciones (véase F.5)
- e) El sistema de pintura de acuerdo con la EN ISO 12944-5 y/o productos de pintura cuyo funcionamiento ha sido evaluado según la EN ISO 12933-6. Esto puede incluir requisitos relativos a los revestimientos decorativos posteriores y las restricciones en la elección del color para los productos de revestimiento.
- f) Los métodos de trabajo para la aplicación inicial de productos de pintura y reparación (véase la norma EN ISO 12944-8 y el apartado F.6.1)

NOTA La reparación en obra de revestimientos de taller puede requerir una consideración especial.

- g) La proyección térmica (véase el apartado F.6.2)
- h) La galvanización (véase el apartado F.6.3)
- i) Requisitos particulares para la inspección y comprobación (véase el apartado F.7)
- j) Requisitos especiales para contactos bimetálicos
- k) Requisitos especiales para las chapas

#### **F.1.4 Método de trabajo**

La protección contra la corrosión debe realizarse de acuerdo con los métodos de trabajo que están basados en un plan de calidad y que cumplen con los apartados F.2 a F.6, según corresponda. El plan de calidad debe desarrollarse a partir de los requisitos prescriptivos del apartado F.1.3.

Los métodos de trabajo deben señalar si el trabajo debe realizarse antes o después de la fabricación.

Los productos de protección contra la corrosión deben utilizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los procedimientos de almacenamiento y manipulación de materiales deben garantizar que los materiales que van a ser empleados dentro de su vida útil (no superada su fecha de caducidad) y de su tiempo de trabajo después de abiertos o mezclados.

Todos los productos pintados, proyectados térmicamente o galvanizados por inmersión deben manipularse, almacenarse y transportarse cuidadosamente para evitar daños en sus superficies. Los productos utilizados para empaquetar, envolver u otros empleados durante la manipulación y el almacenamiento deben ser del tipo "no metálico" generalmente.

Debe proveerse de un espacio bien ventilado, protegido contra la intemperie, la humedad y otros trabajos de revestimiento para conseguir que las pinturas tengan un curado de nivel aceptable y para evitar la corrosión en los revestimientos metálicos.

No debe realizarse ninguna manipulación, almacenamiento ni transporte antes de que el sistema de revestimiento se haya curado hasta un nivel aceptable.

El tiempo de curado no debe ser inferior que el recomendado por el fabricante del producto.

Los procedimientos de reparación deben ser los adecuados al daño ocasionado al utilizar los procedimientos de manipulación, almacenamiento y montaje.

## F.2 Preparación de superficies para aceros al carbono

### F.2.1 Preparación de superficies antes de la pintura o la proyección térmica

Las superficies deben prepararse de acuerdo con la norma EN ISO 12944-4 y la EN ISO 8501.

Deben realizarse ensayos de procedimiento en proceso de limpieza mediante chorro para establecer la limpieza y rugosidad alcanzables. Estos ensayos deben repetirse a intervalos durante la producción.

Los resultados de los ensayos de procedimientos en los procesos de limpieza mediante chorro deben ser suficientes para establecer que el proceso es adecuado para el proceso de revestimiento posterior.

La medida y la evaluación de la rugosidad de la superficie deben realizarse según las normas EN ISO 503-1 y EN ISO 8503-2.

Si los materiales revestidos van a recibir un tratamiento posterior, la preparación de superficies debe ser adecuada para el tratamiento posterior.

NOTA 1 La limpieza abrasiva y el cepillado con alambre no son adecuados en elementos con revestimiento metálico u orgánico sano. No obstante, si se necesita la reparación de revestimientos, puede ser necesario eliminar localmente escombros o depósitos de corrosión para dejar ver el sustrato de acero antes de realizar la reparación.

Si se realiza un pintado sobre un acero galvanizado, la limpieza de la superficie requiere una atención especial. Las superficies deben limpiarse (eliminar el polvo y la grasa) y posiblemente tratados con una "imprimación de adherencia" (*etch primer*) o un "chorreado ligero" (*sweep cleaning*) según la norma EN ISO 12944-4 para alcanzar una rugosidad "fina" según la EN ISO 8503-2. El tratamiento previo debe comprobarse antes de aplicar el revestimiento posterior.

NOTA 2 Los flejes de acero galvanizados se suministran a menudo con una pasivación por cromatos.

### F.2.2 Preparación de superficies antes de la galvanización

Las superficies deben ser preparadas de acuerdo con la norma ISO 8501 y la EN ISO 1461, salvo que se especifique otra cosa.

Si se usa el decapado antes de la galvanización, los aceros de alto límite elástico pueden volverse susceptibles a la fisuración por hidrógeno (véase el Anexo C de la norma EN ISO 1461:1999).

## F.3 Soldaduras y superficies para el soldeo

Si un elemento va a ser soldado posteriormente, las superficies del elemento en un entorno de 150 alrededor de la soldadura, no deben revestirse con materiales que deterioren la calidad de la soldadura (véase también el apartado 7.5.1.1).

Las soldaduras y el metal base adyacente no deben pintarse antes de retirarles la escoria, de limpiarlos, de comprobarlos y de que se acepte la soldadura (véase el apartado 10.2 – Tabla 22).

## F.4 Superficies en uniones pretensadas

### Apartado excluido:

Las uniones atornilladas pretensadas no son materia de este trabajo.

## F.5 Preparación de fijaciones

La especificación para la preparación de fijaciones debe ser consistente con lo siguiente:

- a) La clasificación de la protección contra la corrosión especificada para el trabajo o una parte del trabajo.
- b) El material y tipo de fijación
- c) Los materiales adyacentes en contacto con la fijación cuando esté instalada y los revestimientos en dichos materiales
- d) El método de apretado de la fijación
- e) La necesidad previsible de reparar el tratamiento de la fijación tras el apretado

Si es necesaria la preparación de fijaciones después de su instalación, no debe realizarse hasta que se haya completado la inspección necesaria de dichas fijaciones.

La parte embebida de los pernos de cimentación debe protegerse hasta al menos los primeros 50 mm por debajo de la superficie acabada de hormigón. El resto de superficies de hacer pueden dejarse sin tratamiento salvo que se especifique lo contrario (véase norma EN ISO 12944-3).

## F.6 Métodos de revestimiento

### F.6.1 Pintado

Debe comprobarse la condición de la superficie de un elemento inmediatamente antes del pintado para asegurar que cumple con las especificaciones requeridas (EN ISO 12944-4, EN ISO 8501 y EN ISO 8503-2) y las recomendaciones del fabricante para el producto que va a aplicarse.

El pintado debe realizarse de acuerdo con la norma EN ISO 12944-7.

Si se van a aplicar dos o más capas, deberá usarse para cada una de ellas una sombra de color diferente.

Las estructuras con una protección contra la corrosión con vida útil superior a 5 años y una categoría de corrosividad C3 (y superior) deberían tener una protección adicional de bordes, mediante un recubrimiento en banda, extendida a cada lado del borde aproximadamente 25 mm y aplicada con un espesor nominal adecuado al sistema de protección.

No debe procederse al pintado cuando:

- La temperatura ambiente esté por debajo de la recomendada por el fabricante del producto que se va a aplicar.
- Las superficies que van a pintarse estén húmedas.
- La temperatura de las superficies que van a pintarse esté 3 °C por encima del punto de rocío, salvo que se especifique otra cosa en la ficha técnica del producto.

Las superficies pintadas deben protegerse contra la acumulación de agua durante un cierto periodo después de la aplicación de pintura, según lo requiera la ficha técnica del producto.

El empaquetado de elementos pintados en paquetes no debe realizarse hasta que el tiempo de endurecimiento indicado por el fabricante de la pintura haya sido superado. Debe proveerse de un espacio bien ventilado, protegido contra la intemperie para permitir que el revestimiento endurezca suficientemente. Deben tomarse medidas oportunas para prevenir daños en el revestimiento durante el empaquetado y la manipulación.

## EXTRACTO DE LA NORMA EN 1090-2

NOTA Los elementos conformados en frío se producen a menudo como “perfiles anidados” (*nesting profiles*). Un empaquetado fuerte de estos elementos en “paquetes anidados” (*nested bundles*) antes de que el tratamiento de pintura se haya endurecido suficientemente puede dañarlo.

### F.6.2 Metalización (proyección metálica)

La “metalización térmica” (*thermal metal spraying*) (véase el comentario 36) debe ser de zinc, aluminio o una aleación zinc/aluminio 85/15 y debe realizarse de acuerdo con la norma EN ISO 2063.

Las superficies metalizadas térmicamente deben tratarse con un sellador adecuado antes de aplicarles un revestimiento de pintura posterior de acuerdo con el apartado F.6.1. Este sellador debe ser compatible con la pintura aplicada y debe aplicarse inmediatamente después del enfriamiento de la metalización, para evitar la oxidación o que quede atrapada humedad.

### F.6.3 Galvanización

La galvanización debe realizarse de acuerdo con la norma EN ISO 1461.

Las superficies galvanizadas de elementos conformados en frío deben conseguirse mediante el empleo de flejes de acero revestidos previamente o mediante una galvanización por inmersión en caliente después de la fabricación.

NOTA 1 En las normas EN 10326 y 10327 se especifican las masas de revestimiento, los acabados y las calidades de superficie.

Cuando se especifique galvanización por inmersión en caliente tras la fabricación, deberá realizarse de acuerdo a la norma EN ISO 1461 y deberán especificarse los requisitos para la cualificación del proceso de inmersión.

NOTA 2 Los elementos conformados en frío de paredes delgadas presentan a menudo una falta inherente de rigidez. Los elementos largos compuestos por material delgado pueden ser susceptibles a retorcerse (*twisting*) debido al alivio de tensiones provocado por la elevada temperatura del baño de zinc.

Deben especificarse los requisitos para la inspección, la comprobación o la cualificación de la preparación que debe realizarse antes de aplicarle un revestimiento posterior.

## F.7 Inspección y comprobación

### F.7.1 Generalidades

La inspección y la comprobación deben realizarse de acuerdo con el plan de calidad y los apartados F.7.2 a F.7.4. El pliego de especificaciones debe especificar cualquier requisito adicional para la inspección y el ensayo.

La inspección y el ensayo, incluyendo la comprobación rutinaria del F.7.2, deben ser registrados.

### F.7.2 Comprobación rutinaria

La comprobación rutinaria de la protección contra la corrosión debe comprender:

- a) Comprobaciones de que las superficies de acero preparadas que van a recibir el tratamiento de protección contra la corrosión tienen el grado especificado de limpieza, evaluado de acuerdo con la norma EN ISO 8501, y la rugosidad superficial especificada, evaluada de acuerdo con la norma EN ISO 8503-2.
- b) Medición del espesor de:
  - 1) Cada capa de revestimiento de pintura de acuerdo con la ISO 1984 y EN ISO 2808.

- 2) Metalización (proyección térmica) de acuerdo con la EN ISO 2063.
- 3) Galvanización de acuerdo con la EN ISO 1461.
- 4) Inspección visual de que el tratamiento de pintura cumple con las disposiciones de la EN ISO 12944-7.

### F.7.3 Áreas de referencia

De acuerdo con la norma EN ISO 12944-7, el pliego de especificaciones debe definir cualquier área de referencia que vaya a usarse para establecer la norma mínima aceptable para el trabajo. Salvo que se especifique otra cosa, deben especificarse las áreas de referencia para los sistemas de protección contra la corrosión en Categorías de Corrosividad C3 a C5 y Im1 a Im3.

### F.7.4 Elementos galvanizados

Salvo que se especifique lo contrario, para reducir el riesgo de “fisuración asistida de metal líquido” (LMAC, *Liquid Metal Assisted Cranking*), los elementos galvanizados deben someterse a una inspección tras la galvanización.

NOTA La información sobre LMAC se da en [77]

La especificación del componente debe especificar lo siguiente:

- a) Los elementos para los que no se requiere la inspección tras la galvanización.
- b) Los elementos o localizaciones específicas que deben someterse a NDT adicionales, deben especificarse el ámbito y el método de tales NDT.

Deben registrarse los resultados de la inspección tras la galvanización.

Cuando se identifiquen evidencias de fisuración, entonces deberán identificarse y puestos en cuarentena como productos no conformes dicho elemento y todos los elementos con forma similar fabricados con materiales y detalles de soldadura similares. Deberá realizarse un registro fotográfico de la fisuración y deberá emplearse entonces un procedimiento para establecer el alcance y origen del problema.

## Anexos no incluidos

Los siguientes anexos no se incluyen en el presente trabajo. Para consultar su contenido, véase la norma EN 1090-2.

**Anexo E** (*informativo*) Uniones soldadas en perfiles huecos

**Anexo G** (*normativo*) Ensayo para determinar el coeficiente de rozamiento

**Anexo H** (*normativo*) Ensayo para determinar pares de apriete de tornillos pretensados en condiciones de servicio

**Anexo J** (*normativo*) Uso de indicadores de tensión directa del tipo “arandela compresible”

**Anexo K** (*informativo*) Tornillos hexagonales de inyección

**Anexo L** (*informativo*) Guía para el diagrama de flujo para el desarrollo y uso de una WPS

## Capítulo 3

# La ejecución de estructuras ligeras

### 3.1 Aspectos particulares de ejecución de estructuras ligeras

#### 3.1.1 Juntas de dilatación

Las juntas de dilatación en las estructuras ligeras se utilizan en las cubiertas y las fachadas. Estas juntas se proyectan para garantizar un movimiento libre de las partes de la estructura, pero asegurando su estanqueidad y aislamiento térmico y acústico. Para ello se diseñan accesorios específicos que se utilizan en la construcción de estas juntas.

En general, se requieren juntas de expansión cuando las dimensiones sobre plano sean grandes. No obstante, la National Roofing Association [78] recomienda disponer de estas juntas en las siguientes ubicaciones:

- Donde el steel framing, el acero estructural o las cubiertas (*deck*) cambien de dirección.
- En las alas de separación de edificios con planta en forma de L, U, T o similar.
- Donde cambie el tipo de cubierta/forjado (*deck*).
- Donde se conecten ampliaciones a edificios existentes.
- Cuando en la unión cambien las condiciones de calefacción interior; por ejemplo, cuando una oficina colinde con un almacén.
- Donde puedan ocurrir movimientos entre paredes y cubierta.

##### 3.1.1.1 Juntas de dilatación en cubiertas

Se recomienda que, por norma general, las juntas de dilatación se realicen a través de la membrana de cubierta. Estas juntas pueden ser longitudinales o transversales. El movimiento se permite mediante la realización de agujeros rasgados en la dirección del movimiento en los puntos de unión. La norma EN 1090-2 no establece los requisitos que deben cumplir estos agujeros; estas condiciones las fija el proyectista.

##### Juntas longitudinales

Estas juntas suelen resolverse en las cumbreras (figura A). El extremo del panel se deja libre y la junta se protege con una pieza especial. En ciertos casos, se realizan juntas en el faldón (figuras C y D), aprovechando el solape de los paneles o chapas de cierre.

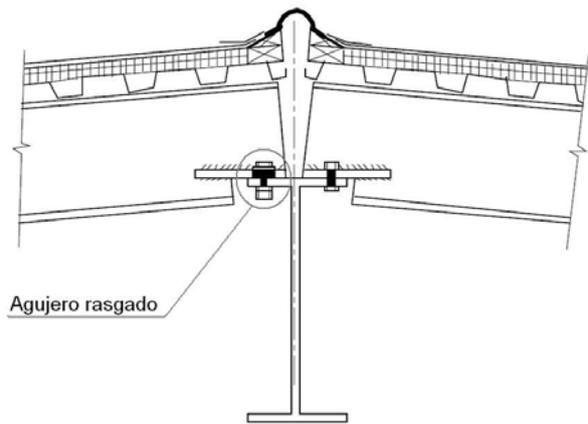


Figura A. Junta de dilatación en cumbrera

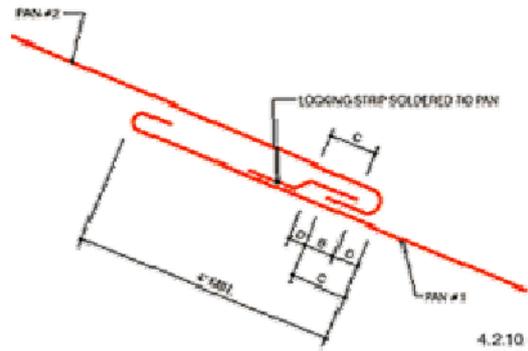


Figura B. Junta de dilatación en faldón

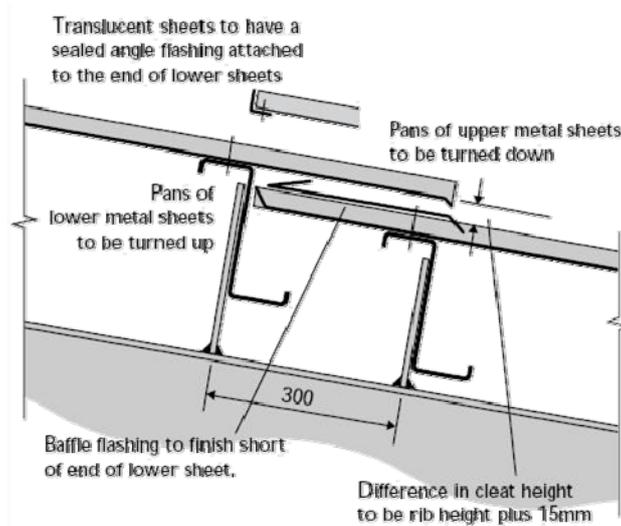


Figura C. Junta de dilatación en faldón

- En la figura A se observa una junta de dilatación típica en cumbrera. Los paneles de cada faldón están separados una cierta distancia. Para garantizar la estanquidad de la junta, se dispone de una pieza especial en la cumbrera. El movimiento libre de la estructura se consigue realizando agujeros rasgados en las correas que se fijan a la viga.
- En la figura B, la solución propuesta es la de solapar los paneles disponiendo de una pieza especial de sujeción que permite los movimientos en la junta.
- En la figura C, la solución adoptada es la de solapar los paneles, empleando dos correas a distinto nivel sujetas a la viga soporte. En la chapa inferior se coloca un accesorio de cierre de la junta.

### Juntas transversales

Estas juntas se realizan interrumpiendo la continuidad de las correas y los paneles de cubierta sobre un pórtico de la estructura.

Las correas se fijan a la viga soporte mediante ejiones de expansión. Todas estas uniones son atornilladas, con agujeros rasgados que permiten el movimiento independiente de las correas respecto a la estructura de sustentación. La estanquidad

se consigue mediante cubrejuntas flexibles fijados a cada lado de la junta y otros accesorios convenientemente sellados. El aislamiento térmico y acústico se alcanza disponiendo en el hueco de la junta de un material aislante (lana de roca, espuma, etc.). Cada fabricante ofrece distintos tipos de juntas adaptados a sus chapas perfiladas y paneles tipo “sándwich”. En las figuras D, E y F se muestran tres soluciones de una junta transversal propuesta por la empresa Kingspan Insulated Panels.

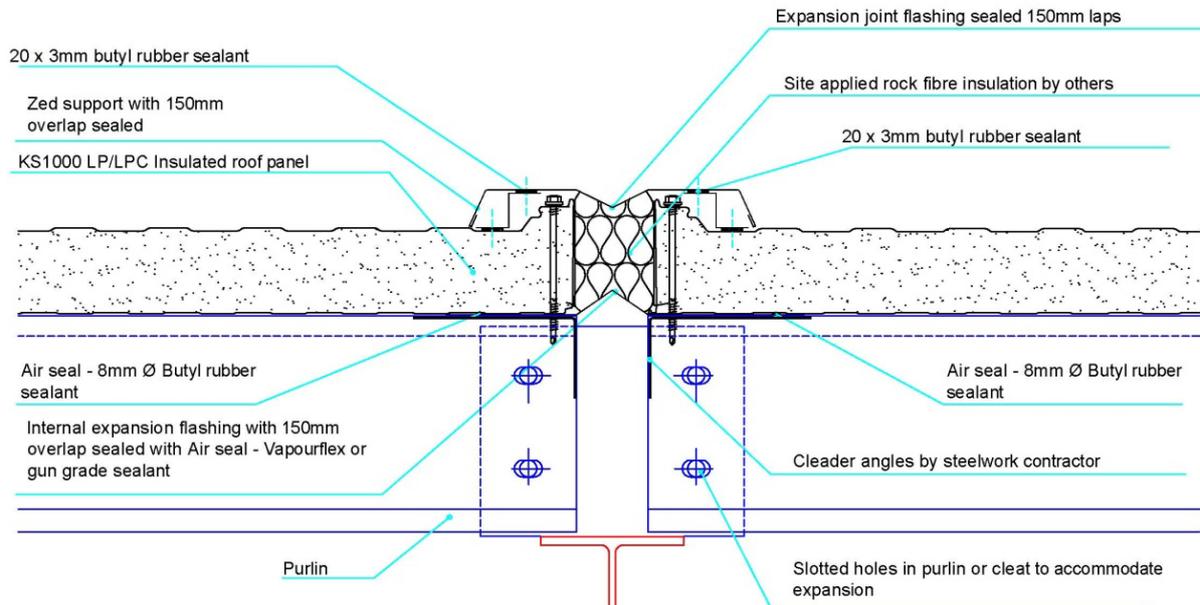


Figura D. Junta de dilatación transversal

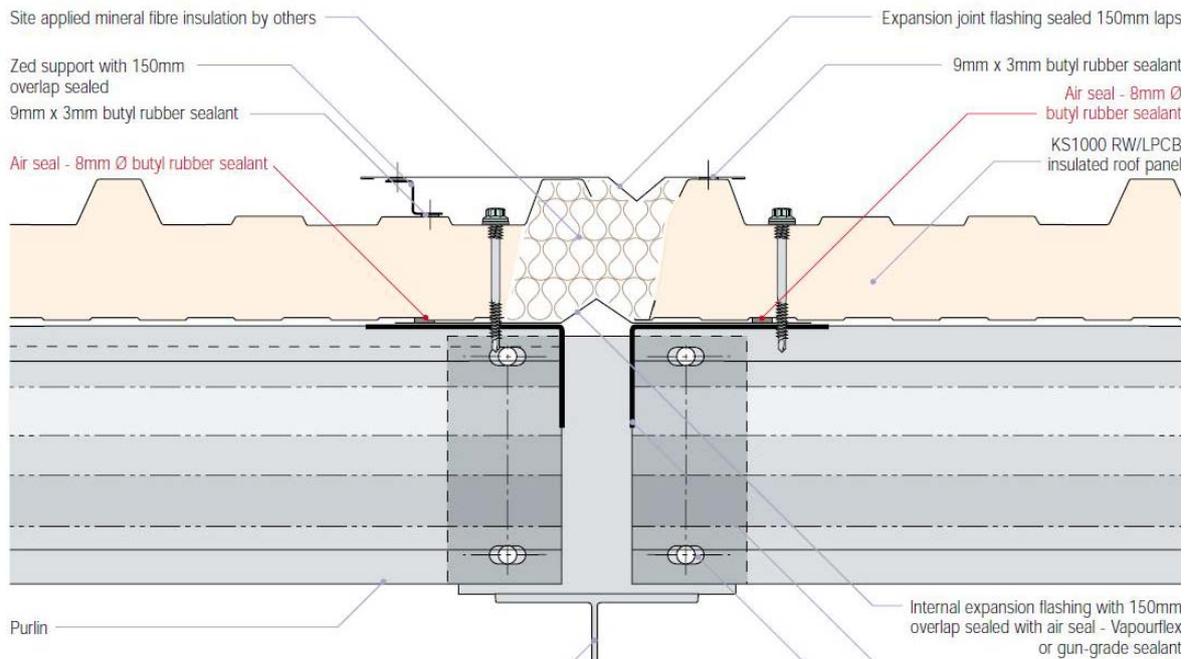


Figura E. Junta de dilatación transversal

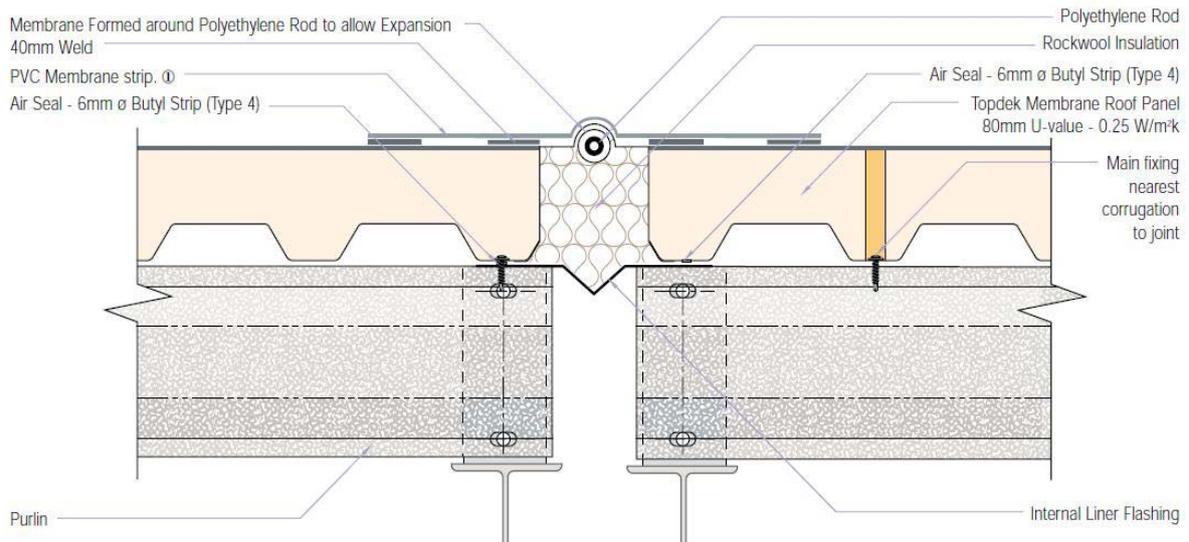


Figura F. Junta de dilatación transversal

### 3.1.1.2 Juntas de dilatación en fachadas

Existe la posibilidad de realizar juntas de dilatación verticales en los cerramientos laterales. En la figura G se muestra una solución. Esta junta se consigue duplicando la correa de soporte de paneles independientes. En la junta se dispone de un cubrejunta, con un material sellador para garantizar su estanqueidad y un relleno de lana de roca para el aislamiento térmico y acústico (figura G).

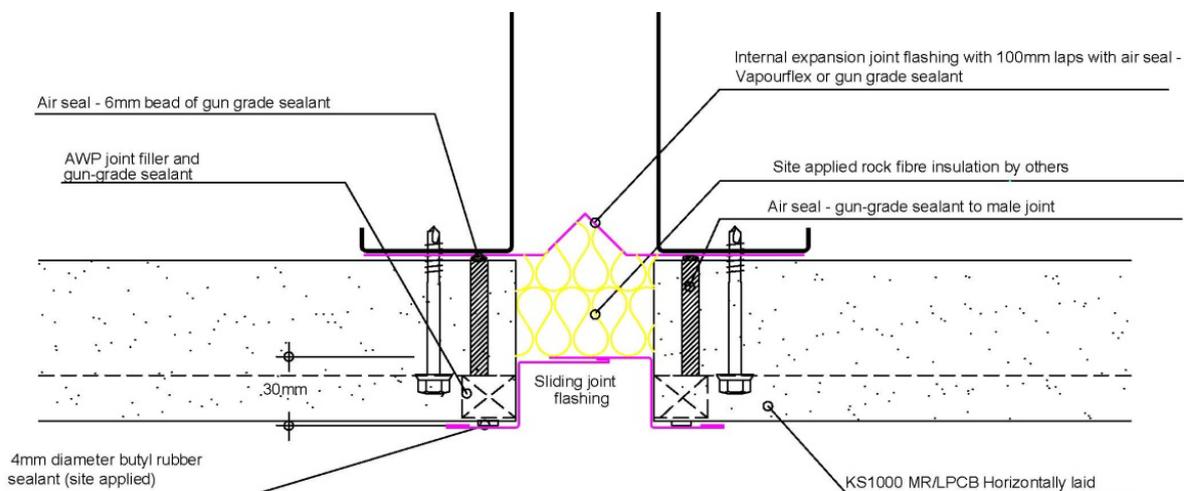


Figura G. Junta de dilatación vertical

### 3.1.2 Acabados de las chapas y perfiles ligeros

Los perfiles y chapas con recubrimiento metálico pueden ser tratados con pinturas (revestimientos orgánicos) para mejorar su resistencia a la corrosión y otras propiedades.

#### Sustratos de acero

Los aceros de los perfiles y chapas con recubrimiento metálico sobre los que se aplica el tratamiento posterior pueden ser:

- Aceros galvanizados (recubrimiento de zinc) según la norma 10326 (antigua EN 10147) y la norma 10327 (antigua norma EN 10142).
- Aceros recubiertos de aleación aluminio-zinc (AZ), según las normas EN 10326 y EN 10327 (antigua norma EN 10215).
- Aceros recubiertos de aleación zinc-aluminio (ZA), según las normas EN 10326 y EN 10327 (antigua norma EN 10214).

### Tratamientos

Según el momento en que se aplica el tratamiento de pintado, distinguimos entre aceros pre-pintados (realizado en la misma línea de producción) o aceros post-pintados (en taller o en obra, una vez conformados). Este tratamiento podrá realizarse en ambas caras o sólo en una de ellas (la cara expuesta).

En el caso de los aceros pre-pintados (pre-lacados) el proceso de fabricación se desarrolla como sigue [49]. En primer lugar se somete al sustrato a una preparación superficial consistente en un desengrasado seguido de un tratamiento superficial para mejorar la adherencia de la pintura. A continuación se aplica una imprimación (*pimer*) que mejora las características de resistencia a la corrosión y de adherencia de la pintura. Por último, se le aplica la capa de acabado (figura H).

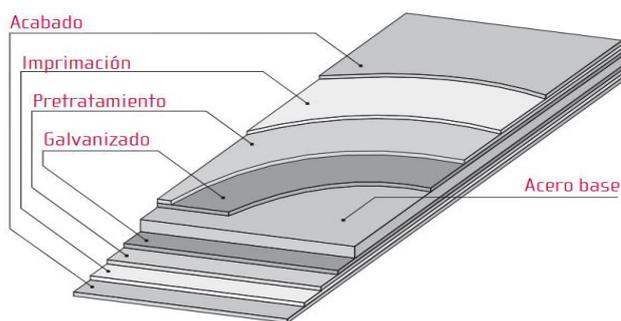


Figura H. Esquema de acabado acero pre-pintado

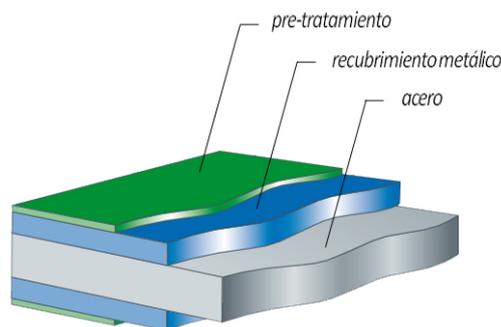


Figura I. Esquema de acero post-pintado previo a plicación pintura

En el caso de aceros post-pintados, se someterá al acero a una limpieza de polvo y grasa, seguida de un pre-tratamiento, que puede venir incorporado de fábrica o aplicarse a posteriori (figura I). Existen tres tipos de pre-tratamientos [47]:

- El fosfatado: es el tratamiento más frecuente. Con este proceso se mejora la adherencia y la resistencia a la corrosión.
- La pasivación química: este proceso se realiza mediante cromatado u otros sistemas sin cromo hexavalente, como tratamiento de pasivación o como post-tratamiento tras el cromatado. Los cromatos proporcionan una excelente adherencia a la pintura y una notable resistencia a la corrosión.
- El recubrimiento orgánico de bajo espesor: Este recubrimiento está compuesto por polímeros termoplásticos y es aplicado en fábrica en el acero con recubrimiento metálico. La ventaja es que la pintura se aplica directamente, sin ninguna etapa de tratamiento de preparación ni conversión previa.

Finalmente se aplica la pintura, que cumple la función de protección del sustrato, decoración, aportación de propiedades funcionales, información, etc. Las pinturas pueden ser líquidas o en polvo y están generalmente constituidas por resinas, pigmentos, aditivos, elementos de carga y, en las pinturas líquidas, disolventes o diluyentes.

### Tipo de recubrimiento

**Plastisol** Revestimiento formado por una imprimación anticorrosiva y un recubrimiento orgánico a base de resinas termoplásticas (PVC) de alto espesor y elevado poder protector. Particularmente indicado en ambientes con presencia de agentes químicos agresivos.

**PVDF** Revestimiento formado por una imprimación y un recubrimiento orgánico a base de resinas termoplásticas (PVDF) de colores variados. Particularmente resistente a los rayos UV y a los agentes químicos, así como a los ambientes agresivos.

**Poliéster** Revestimiento formado por una imprimación y un recubrimiento orgánico a base de resinas termo-endurecible de colores variados. Particularmente indicado en ambientes normales poco contaminados.

**Poliéster mejorado** Revestimiento formado por una imprimación y un recubrimiento orgánico siliconado a base de resinas termo-endurecible de colores variados. Particularmente resistente a la decoloración y al *chalking* (pulverización de la pintura por los rayos del sol).

**Poliuretano** Revestimiento formado por una imprimación y un recubrimiento orgánico a base de resina termoplástica. Particularmente resistente a las radiaciones UV y ambientes agresivos, incluidos los marinos.

### Exposiciones atmosféricas

El tipo de tratamiento depende de las condiciones de atmosféricas a las que se ve sometido. A continuación se describen los ambientes [80]:

#### Ambientes exteriores

**Atmósfera rural no polucionada** Exterior de los edificios situados en zona rural sin ningún tipo de corrosión especial, como pudiera ser por ejemplo la influencia de emanaciones de humos con vapores sulfurosos (por ejemplo, calefacción fuel).

**Atmósfera urbana normal** Exterior de los edificios situados en aglomeraciones urbanas importantes con la presencia de una o varias fábricas generadoras de gases y humos que aumenta sensiblemente la corrosión atmosférica.

**Atmósfera industrial normal** Exterior de los edificios situados en aglomeraciones urbanas lo suficientemente importantes o en un entorno industrial.

**Atmósfera industrial o urbana fuerte** Exterior de los edificios situados en un entorno industrial con la presencia de una o varias fábricas generadoras de gases y humos que favorecen el incremento de la corrosión atmosférica por el fuerte porcentaje en compuestos químicos que contienen dichas emanaciones.

**Atmósfera marina** Edificios situados a menos de 20 km. del litoral, excluyendo los que se ven atacados directamente por el agua de mar.

**Atmósfera mixta** Concomitancia de una atmósfera marina con una atmósfera industrial o urbana.

**Atmósfera especial** Construcciones sometidas a: fuerte radiación ultravioleta (por encima de los 900 m de altitud), abrasión, temperaturas elevadas, etc.

**Ambientes interiores**

**Interior sano y seco** Interior de locales cuya higrometría es baja o mediana (centros comerciales, inmuebles escolares con una reserva de ventilación adecuada, paramentos industriales en los que el proceso de producción no genere vapor de agua, inmuebles de oficinas. Las instalaciones deportivas con público, instalaciones culturales y salas polivalentes tienen una higrometría alta intermitente; si los locales disponen de una ventilación adecuada, serán considerados de higrometría media).

**Interior húmedo** Interior de locales cuya higrometría es alta. (viviendas poco ventiladas y sobrecapadas, instalaciones con fuerte concentración humana, como vestuarios y ciertos talleres, instalaciones climatizadas).

**Interior muy húmedo** Interior de locales cuya higrometría es muy alta. (piscinas, instalaciones con fuerte producción de agua, como las conserveras, tintorerías, papeleras, lecherías industriales, cocinas colectivas..., instalaciones especiales)

**Interior agresivo** Ambiente cuya atmósfera es agresiva (corrosión química, aspersiones corrosivas) aunque sea esporádicamente.

**Tabla de selección de recubrimiento**

En la siguiente tabla se indica la idoneidad de cada tipo de revestimiento en función del ambiente al que se verá expuesto.

NOTA El número que acompaña al tipo de recubrimiento indica el espesor del recubrimiento en µm.

Revestimiento de acabado de la cara expuesta <sup>1</sup>	Ambientes interiores				Ambientes exteriores							
	Sano	Húmedo		Agresivo	Rural no polucionado	Urbana o industrial		Marina				Especial
		Higro-metría FUERTE	Higro-metría MUY FUERTE			Normal	Severa	10 a 20 Km	3 a 10 Km	Borde del mar (< 3Km)	Mixta	
Plastisol 100	■	■	◆	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	◆
Plastisol 200	■	■	◆	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	◆
PVDF 25	■	◆	●	●	■	■	●	■	◆	●	●	◆
PVDF 35	■	■	◆	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	■
Poliéster 25	■	◆	●	●	■	■	●	■	◆	●	●	◆
Poliéster 35	■	■	◆	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	■
Poliéster mejorado	■	■	◆	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	■
Poliuretano 50	■	■	◆	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	■
Poliuretano 60	■	■	■	◆	■	■	◆	■	■	■	◆	■

- Revestimiento recomendado para la exposición considerada.
- ◆ Revestimientos en que la elección definitiva, así como las características particulares, tiene que estar determinada después de haber consultado con el fabricante.
- Revestimientos no adaptados a la exposición.

### 3.2 Encuesta

En este apartado se presentan dos modelos de encuesta, una para empresas fabricantes y otra para montadores, diseñadas con el objetivo de conocer cuál es el estado de la industria de construcción de estructuras ligeras de acero. Dichas encuestas se podrían utilizar para realizar un estudio con una muestra lo suficientemente representativa de empresas del sector; trabajo que, dado su extensión, queda fuera del ámbito de esta tesina. Aún así, presentamos aquí, a modo de ejemplo, las respuestas proporcionadas por una empresa de montadores de "steel framing".

Así pues, sería de gran interés como un trabajo futuro realizar un estudio consultando a un número representativo de técnicos de empresas fabricantes y de empresas de montaje de estructuras ligeras, tanto de elementos secundarios como de estructuras tipo "steel framing". Las preguntas van encaminadas a conocer el grado de conocimiento y la opinión que tienen las empresas del sector en cuanto a la implantación de la norma EN 1090-2, los métodos de fabricación utilizados y los sistemas de control de calidad utilizados, entre otras cosas.

A continuación, se presentan los dos modelos de encuesta (una para fabricante y otra para montador de "steel framing") así como la encuesta respondida a modo de ejemplo.

### 3.2.1 Modelos

#### 3.2.1.1 Encuesta al fabricante

##### Norma EN 1090-2 de ejecución de estructuras de acero

- 1- ¿Conoce la norma ENV 1090 “Ejecución de estructuras de acero”? ¿Y la parte 2, “Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío”?
- 2- ¿Qué normas se utilizan en los procesos de fabricación?

##### Mercado

- 3- ¿Qué tipo de empresas demandan sus productos?
- 4- ¿Fabrican bajo pedido exclusivamente o tienen un stock?

##### Calidad

- 5- ¿Cómo se controla la calidad?
- 6- ¿Disponen de certificados de calidad?

##### Productos de acero

- 7- ¿Qué productos fabricáis?
- 8- ¿Cuáles son los productos más fabricados/demandados?
  - Chapas nervadas
  - Perfiles Z, C, Omega
- 9- ¿Qué tipos de acero utilizan/demandan en la fabricación (límite elástico)?
  - Aceros con recubrimiento metálico: galvanizados o aleaciones Zinc-Aluminio
  - Aceros con recubrimiento orgánico
- 10- ¿Trabajáis con aceros de alta resistencia, aceros inoxidables o aluminio?

##### Fabricación

- 11- ¿Qué método se utiliza para el marcado de los productos fabricados?
- 12- ¿Qué medidas se toman para evitar el daño durante el empaquetado y el transporte de los productos?
- 13- ¿Qué métodos de corte se emplean para los distintos puntos del proceso de fabricación de las chapas/perfiles?
  - Oxicorte
  - Cizalla
  - Hidrocorte
  - Sierra de disco
- 14- ¿Se emplea algún tratamiento de mejora /saneado de los bordes cortados? ¿En qué casos?
- 15- ¿Qué método se emplea para realizar agujeros?
  - Taladrado
  - Punzonado
  - Serrado
- 16- ¿Qué controles se realizan para verificar la posición y acabado de los agujeros?
- 17- ¿Cuáles son los defectos más habituales en la realización de cortes y agujeros?

Soldadura

18- ¿Se utiliza la soldadura en algún punto del proceso de fabricación?

En caso afirmativo,

19- ¿En qué puntos (tipo de uniones) y qué procedimientos de soldadura?

20- ¿Qué tratamientos se aplica al acero antes y después de ser soldado?

21- ¿Qué inspecciones se realizan a las soldaduras?

22- ¿Cómo se establecen la cantidad, tipo y frecuencia de dichas inspecciones?

- Según la norma del producto
- Procedimiento propio
- Por acuerdo con el cliente

Acabados

23- ¿Qué tratamientos se les aplica a los productos acabados?

24- ¿Qué defectos son los más comunes en las superficies de los productos acabados?

Tolerancias fabricación

25- ¿Cómo se establecen las tolerancias de fabricación?

- Según la norma del producto
- Tolerancias propias
- Por acuerdo con el cliente

26- ¿Cómo se verifican las dimensiones del producto?

### 3.2.1.2 Encuesta al montador de Steel Framing

Norma 1090-2 de ejecución de estructuras de acero con chapas y perfiles conformados en frío:

1- ¿Conoce la norma ENV 1090 “Ejecución de estructuras de acero”? ¿Y la parte 2, “Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío”?

En caso afirmativo,

2- ¿Cuáles son las deficiencias que presentaba dicha norma?

3- La norma futura unifica todas las partes. ¿Qué ventajas o inconvenientes cree que puede tener?

4- ¿Qué opina de la diferenciación de exigencias en función de las clases de ejecución?

Industria del “steel framing”

5- ¿Cuántos años lleva la empresa trabajando?

6- ¿Cuál ha sido la evolución de esta industria (“steel framing”) en los últimos años?

7- ¿Qué expectativas de evolución tiene este tipo de estructuras en el mercado inmobiliario actual?

8- ¿Trabajan más para clientes públicos (colegios, edificios públicos...) o privados (viviendas...)?

9- En caso de poco desarrollo de esta industria, ¿a qué cree que se debe?

- Desconocimiento del sistema por parte de los ingenieros, clientes...
- Precios poco competitivos
- Poca oferta
- Otros

Sistema constructivo “steel framing”

10- ¿Qué ventajas principales tiene este sistema constructivo?

11- ¿Y qué inconvenientes tiene?

12- ¿Existe algún módulo o curso para la especialización de los montadores?

13- ¿Qué preparación y conocimientos necesita un montador de este tipo de estructuras?

Edificación

14- ¿Qué tipos de edificios construís?

- Viviendas unifamiliares
- Edificios residenciales de varias plantas
- Edificios públicos: escuelas, hospitales...
- Naves industriales

15- ¿Qué método constructivo utilizáis?

- Prefabricación en taller de paneles o módulos e instalación en obra
- Montaje en obra de elementos individuales

Calidad

16- ¿Cómo se controla la calidad? Documentación

17- ¿Disponen de certificados de calidad?

Fabricación

18- ¿Qué medidas se toman ante elementos dañados durante la manipulación y/o el transporte?

19- ¿Qué métodos de corte se emplean en taller? ¿Y en obra?

- Oxicorte
- Cizalla
- Hidrocorte
- Sierra de disco

20- ¿Se emplea algún tratamiento de mejora /saneado de los bordes cortados? ¿En qué casos?

21- ¿Qué controles se realizan para verificar la posición y acabado de los agujeros?

22- ¿Cuáles son los defectos más habituales en la realización de cortes y agujeros?

#### Soldadura

23- ¿Se utiliza la soldadura como medio de unión en taller o en obra?

En caso afirmativo,

24- ¿Qué tipos de uniones y qué procedimientos de soldadura?

25- ¿Qué tratamientos se aplican al acero antes y después de ser soldado?

26- ¿Qué inspecciones se realizan a las soldaduras?

27- ¿Cómo se establecen la cantidad, tipo y frecuencia de dichas inspecciones?

- Según la norma del producto
- Procedimiento propio
- Las definidas en el Pliego de Condiciones

#### Métodos de fijación

28- ¿Qué métodos de fijación empleáis en el montaje?

- Tornillos y tuercas
- Tornillos roscachapa
- Remaches
- Otros: clinchado, adhesivos...

29- ¿Qué elementos son unidos con cada tipo de fijación?

30- ¿Qué controles se realizan a las fijaciones?

31- ¿Qué medidas se toman en caso de una disconformidad?

#### Montaje

32- ¿Qué tipo de cimentación se emplea en este tipo de estructuras?

33- ¿Qué tipo de forjado se emplea en este tipo de estructuras?

34- ¿Cómo se corrigen las desalineaciones y las faltas de ajuste entre las piezas?

35- ¿Existe un límite de separación entre el borde del carril y el alma del montante? En caso afirmativo, ¿cómo se corrigen las deficiencias? ¿Se usan galgas o cuñas?

#### Acabados

36- ¿Se tiene en cuenta el peligro de corrosión por contacto entre distintos metales?

37- ¿Qué defectos son los más comunes en las superficies de los productos acabados?

#### Tolerancias montaje

38- ¿Cómo se establecen las tolerancias de montaje?

- Según la norma del producto
- Tolerancias propias
- Las definidas en el Pliego de Condiciones

39- ¿Qué correcciones se realizan ante una disconformidad?

### 3.2.2 Encuesta respondida

Norma 1090-2 de ejecución de estructuras de acero con chapas y perfiles conformados en frío:

1- ¿Conoce la norma ENV 1090 “Ejecución de estructuras de acero”? ¿Y la parte 2, “Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío”?

**R:** No

En caso afirmativo,

2- ¿Cuáles son las deficiencias que presentaba dicha norma?

3- La norma futura unifica todas las partes. ¿Qué ventajas o inconvenientes cree que puede tener?

4- ¿Qué opina de la diferenciación de exigencias en función de las clases de ejecución?

Industria del “steel framing”

5- ¿Cuántos años lleva la empresa trabajando?

**R:** Siete

6- ¿Cuál ha sido la evolución de esta industria (“steel framing”) en los últimos años?

**R:** Desde nuestro punto de vista, la evolución del Steel Framing ha sido lenta, basándose sobre todo en la construcción de viviendas unifamiliares aisladas o adosadas

7- ¿Qué expectativas de evolución tiene este tipo de estructuras en el mercado inmobiliario actual?

**R:** En el mercado inmobiliario actual, las expectativas, en general y no solo para el Steel Framing, son nulas.

8- ¿Trabajan más para clientes públicos (colegios, edificios públicos...) o privados (viviendas...)?

9- En caso de poco desarrollo de esta industria, ¿a qué cree que se debe?

- **Desconocimiento del sistema por parte de los ingenieros, clientes...**
- Precios poco competitivos
- Poca oferta
- **Otros:** Problemas para conseguir la obtención de seguros decenales

Sistema constructivo “steel framing”

10- ¿Qué ventajas principales tiene este sistema constructivo?

**R:** Calidad de ejecución y de fabricación, plazos de montaje reducidos, sostenibilidad, integración de instalaciones en el interior de estructura, compatibilidad con cerramientos y acabado “tradicionales”.

11- ¿Y qué inconvenientes tiene?

**R:** Los indicados en el punto 9 anterior

12- ¿Existe algún módulo o curso para la especialización de los montadores?

**R:** No que nosotros sepamos

13- ¿Qué preparación y conocimientos necesita un montador de este tipo de estructuras?

**R:** Experiencia en montaje de tabiquería de carton-yeso y construcción en general

Edificación

14- ¿Qué tipos de edificios construís?

- **Viviendas unifamiliares**

- Edificios residenciales de varias plantas
- Edificios públicos: escuelas, hospitales...
- Naves industriales

15- ¿Qué método constructivo utilizáis?

- Prefabricación en taller de paneles o módulos e instalación en obra
- **Montaje en obra de elementos individuales**

Calidad

16- ¿Cómo se controla la calidad? Documentación

**R:** *Con numerosos controles: Sistema de control de recepción de materias primas en fábrica, un control de calidad de producción y de producto final, un control de calidad de recepción de materiales en obra y un control de calidad de la ejecución. En cada uno de esos controles se genera un documento específico.*

17- ¿Disponen de certificados de calidad?

**R:** *Sí*

Fabricación

18- ¿Qué medidas se toman ante elementos dañados durante la manipulación y/o el transporte?

**R:** *Se desechan*

19- ¿Qué métodos de corte se emplean en taller? ¿Y en obra?

- Oxicorte
- **Cizalla:** *En fábrica*
- Hidrocorte
- **Sierra de disco:** *En obra*

20- ¿Se emplea algún tratamiento de mejora /saneado de los bordes cortados? ¿En qué casos?

**R:** *Sí, se eliminan las rebabas en base a una inspección visual de cada perfil.*

21- ¿Qué controles se realizan para verificar la posición y acabado de los agujeros?

**R:** *Los agujeros en perfiles se realizan en obra, no en taller.*

22- ¿Cuáles son los defectos más habituales en la realización de cortes y agujeros?

Soldadura

23- ¿Se utiliza la soldadura como medio de unión en taller o en obra?

**R:** *No.*

En caso afirmativo,

24- ¿Qué tipos de uniones y qué procedimientos de soldadura?

25- ¿Qué tratamientos se aplican al acero antes y después de ser soldado?

26- ¿Qué inspecciones se realizan a las soldaduras?

27- ¿Cómo se establecen la cantidad, tipo y frecuencia de dichas inspecciones?

- Según la norma del producto
- Procedimiento propio
- Las definidas en el Pliego de Condiciones

Métodos de fijación

28- ¿Qué métodos de fijación empleáis en el montaje?

- Tornillos y tuercas
- **Tornillos roscachapa**
- Remaches
- Otros: clinchado, adhesivos...

29- ¿Qué elementos son unidos con cada tipo de fijación?

**R:** *Perfil con perfil y aplacados con perfil*

30- ¿Qué controles se realizan a las fijaciones?

**R:** *Controles visuales estadísticos.*

31- ¿Qué medidas se toman en caso de una disconformidad?

**R:** *Se modifica la unión acorde a lo especificado en el proyecto de ejecución.*

*Replanteando de nuevo la estructura. Si es necesario, modificándola en obra para su correcto encaje.*

Montaje

32- ¿Qué tipo de cimentación se emplea en este tipo de estructuras?

**R:** *Losa de cimentación*

33- ¿Qué tipo de forjado se emplea en este tipo de estructuras?

**R:** *Forjado mixto: chapa nervada colaborante más capa de compresión de HA.*

34- ¿Cómo se corrigen las desalineaciones y las faltas de ajuste entre las piezas?

**R:** *Replanteando de nuevo la estructura. Si es necesario, modificándola en obra para su correcto encaje.*

35- ¿Existe un límite de separación entre el borde del carril y el alma del montante? En caso afirmativo, ¿cómo se corrigen las deficiencias? ¿Se usan galgas o cuñas?

Acabados

36- ¿Se tiene en cuenta el peligro de corrosión por contacto entre distintos metales?

**R:** *Sí.*

37- ¿Qué defectos son los más comunes en las superficies de los productos acabados?

**R:** *Microgrietas en las fachadas revocadas con mortero de cemento.*

Tolerancias montaje

38- ¿Cómo se establecen las tolerancias de montaje?

- Según la norma del producto
- **Tolerancias propias**
- Las definidas en el Pliego de Condiciones

39- ¿Qué correcciones se realizan ante una disconformidad?

**R:** *Replantear de nuevo la estructura.*

## Capítulo 4

# Conclusiones

### 4.1 Resumen del trabajo

En el presente trabajo se ha realizado un extracto comentado de la norma EN 1090-2, de ejecución de estructuras de acero, para su aplicación a las estructuras ligeras y un estudio sobre la construcción ligera, desde el punto de vista de sus aplicaciones, ventajas y desventajas, su historia, las normas aplicables en el diseño y la ejecución, y aspectos particulares como las juntas de dilatación y los tratamientos superficiales.

Para elaboración de este trabajo ha sido necesaria una amplia consulta bibliográfica y en Internet. Además, los comentarios del extracto de la norma se han basado en la consulta de normas europeas EN, españolas y americanas, artículos técnicos, guías de construcción, catálogos de productos y páginas web de organismos de normalización, asociaciones de empresas y universidades.

### 4.2 Conclusiones

En base a todo el trabajo efectuado, se presentan aquí una serie de conclusiones. En primer lugar, se analizarán los principales cambios que comporta la EN 1090-2 respecto a la ENV 1090-2. A continuación se hace un examen del estado de conocimiento de esta norma por parte de los técnicos en nuestro país, del posible desarrollo de la industria de construcción ligera con la aprobación de la EN 1090-2 y de la falta de información en nuestro idioma sobre la materia. Finalmente, se presentan una serie de posibles futuras líneas de trabajo.

#### Los cambios en la norma EN 1090-2

La nueva versión de la norma EN 1090 introduce una serie de cambios importantes. En primer lugar, esta norma unifica todas las normas de ejecución de estructuras de acero. Tal y como destaca la nota técnica *Steel Industry Guidance Notes: Execution of Steel* del British Constructional Steelwork Association (BSCA) [23], esta norma tiene un campo de aplicación muy amplio y hará necesaria la selección de las partes pertinentes según el tipo de proyecto. Con esta idea se ha elaborado este trabajo: realizar un extracto de la norma aplicable a la ejecución de las estructuras ligeras de acero que sirva, por ejemplo, para la elaboración de pliegos de condiciones.

Otros cambio importante es la introducción de las clases de ejecución y las clases de tolerancia. Con este cambio se racionaliza el diseño y la ejecución de las estructuras

metálicas, asignando requisitos más exigentes en función de la importancia del elemento (estructural o funcional) o del daño causado por el fallo de la estructura o una parte de la misma.

### Conocimiento de la norma EN 1090-2

Existe un nivel bajo de conocimiento de la norma ENV 1090-2 por parte de los técnicos en España. Una posible causa es que la formación de los técnicos está centrada en el cálculo de estructuras, omitiendo los temas de ejecución. Además, la norma de ejecución ENV 1090 no era obligatoria, por tratarse de una prenorma.

Hoy en día la norma vigente de diseño para las estructuras de acero en edificación es el Código Técnico, que dispone de un capítulo muy reducido sobre ejecución, sin especificar aspectos particulares para elementos de paredes delgadas. Otro documento de referencia es el Documento 0 de la Instrucción EAE, más completo en el apartado de ejecución. La elección de la norma de referencia depende del proyectista.

La norma EN 1090-2 de ejecución de estructuras de acero está asociada a la norma de diseño Eurocódigo 3. Con la aprobación de la versión definitiva del Eurocódigo 3 parte 1.3, es necesario que la norma EN 1090-2 se convierta en un documento de referencia para el proyecto y comprobación de las estructuras metálicas ligeras. El conocimiento de esta norma mejorará al convertirse ahora en una norma de obligado cumplimiento, aunque debería formarse a los ingenieros no sólo en el cálculo de las estructuras sino también en temas de ejecución.

### Desarrollo de la industria de construcción de estructuras ligeras de acero

Las estructuras ligeras en España se han empleado principalmente como elemento secundario (cubiertas, fachadas, etc.). La norma EN 1090-2 puede facilitar un mayor desarrollo de la industria de la construcción ligera como elemento principal (steel framing). Las normas son el documento de referencia para el proyecto y comprobación de construcción y sirven de base para la especificación de contratos de obras públicas. Con esta plataforma se facilita la aceptación de las soluciones ligeras por parte de constructores, dirección de obra y oficinas de control técnico (OCTs).

### Falta de documentación en español

La bibliografía y las páginas web consultadas para la elaboración de este trabajo han sido mayoritariamente de países como EEUU, Gran Bretaña y Australia, mientras que la información encontrada sobre la construcción ligera en español ha sido muy escasa. Esta falta de información es uno de los impedimentos al desarrollo de esta industria en el mercado español. Es necesario que mejorar este aspecto mediante una mayor divulgación de información técnica sobre la materia en español.

Este trabajo recopila información sobre una gran variedad de temas relacionados con la construcción ligera: tipologías, historia, marco normativo y aspectos particulares de ejecución como son las juntas de dilatación y la protección de superficies. Además, se ha realizado el extracto de la norma EN 1090-2 como una norma comentada para dar a

conocer procedimientos de ejecución y materiales utilizados en la construcción de estructuras ligeras de acero y para hacer más fácil el manejo de la norma, procurando eliminar referencias a otras normas e incluyendo definiciones y aclaraciones sobre términos. Por tanto, en este trabajo se ha recopilado mucha información difícil de encontrar en español, por lo que se ha tenido que hacer mucho trabajo de traducción, para facilitar el conocimiento de esta técnica de construcción y dar a conocer la norma EN 1090-2 en el territorio español. El vocabulario técnico, sobretodo en el capítulo de soldadura, ha sido traducido conforme a las traducciones propuestas por las normas europeas

### 4.3 Futuras líneas de trabajo

Con la publicación de la nueva norma de ejecución de estructuras metálicas, se abre un campo de posibles líneas de trabajo. Por ejemplo, realizar extractos de la norma para centrarla en su aplicación a estructuras de acero inoxidable, estructuras con celosía de sección hueca o puentes; o un estudio comparativo entre un proyecto ejecutado con la versión anterior de la norma y otro con la nueva, a nivel de documentación de calidad, etc.

Otra de las líneas de trabajo que se deja abierta con la realización de este trabajo es la elaboración de una encuesta para conocer el grado de conocimiento y la opinión que tienen las empresas del sector en cuanto a la implantación de la norma EN 1090-2. También, puede ser interesante conocer cuáles son las prácticas de ejecución habituales en relación con la norma: los métodos de fabricación utilizados (corte, soldadura, fijación, etc.), los criterios de aceptación, los sistemas de control de calidad, las tolerancias de trabajo, etc. Como base para este trabajo, se han presentado dos modelos de encuesta dirigidas a empresas fabricantes y empresas de montaje.

Por último, dado que la tecnología del steel framing es muy poco conocida en España, sería interesante realizar un estudio del estado de conocimiento de la construcción de estructuras de este tipo, describiendo a fondo la esta tecnología y haciendo hincapié en las distintas soluciones existentes en el mercado, tanto español como internacional.

## Bibliografía

- [1] Wood Science and Technology. *The innovation of light frame construction* [en línea]. Disponible en: [www.wdsc.caf.wvu.edu/otherwebs/WDSC100-12.pdf](http://www.wdsc.caf.wvu.edu/otherwebs/WDSC100-12.pdf) [Consulta: 3 marzo 2009]
- [2] Singapur. Building and Construction Authority. *Buildable Solutions for Landed Residential Development in Singapore*. Singapur: Building and Construction Authority, 2003. p. 75-77
- [3] NAHB Research Center. *Builder's steel stud guide* [en línea]. Washington D.C.: American Iron and Steel Institute, 1996, p. 1. Disponible en : [www.toolbase.org](http://www.toolbase.org) [Consulta: 11 marzo 2009]
- [4] Southface Energy Institute. *Steel framing: advantages – disadvantages* [en línea]. Atlanta: Southface Energy Institute, marzo 2002. Disponible en: [www.southface.org/web/resources&services/publications/factsheets/7steelframe.pdf](http://www.southface.org/web/resources&services/publications/factsheets/7steelframe.pdf) [Consulta:4 marzo 2009]
- [5] Ansley, D. “Recommendations” [en línea]. En: *Warren Centre. Steel – Framing the future*. Sydney: Sydney University Press, 2007. Disponible en: [www.warren.usyd.edu.au](http://www.warren.usyd.edu.au) [Consulta: 10 marzo 2009]
- [6] Fewins, C. “The Pros and Cons of Different Construction Systems”. *Homebuilding & Renovating*, mayo 2005
- [7] Yu, W.W. *Cold formed steel design*. 3ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 2000a. p. 1-8
- [8] Stud Chopper Tools. *History of light steel framing in steel homes and metal homes* [en línea]. Disponible en: [www.studchopper.com/steel\\_homes.html](http://www.studchopper.com/steel_homes.html) [Consulta: 7 enero 2009]
- [9] Watson, K. “History of Steel Framed Housing in Australia” [en línea]. En: *Steel Framed Housing*. Victoria (Australia): National Association of Steel-framed Housing, 2003. Disponible en: [www.innovatek.co.nz/pdfs/Steel\\_Framed\\_Housing.pdf](http://www.innovatek.co.nz/pdfs/Steel_Framed_Housing.pdf) [Consulta: 27 noviembre 2008]
- [10] NASH. *History of Steel-frames Housing in New Zealand* [en línea]. Disponible en: [www.nashnz.org.nz/nash\\_in\\_nz/history\\_of\\_steel\\_framing.html](http://www.nashnz.org.nz/nash_in_nz/history_of_steel_framing.html) [Consulta: 15 enero 2009]
- [11] Schuster, R. M. “Cold-formed steel research at the University of Waterloo”. En: Pandey, M.; et al. *Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction*, Ontario: Kluwer Academic Pub. Group, 2006. p. 39–52
- [12] Allen, D. “Organizations and the move toward standardization in the North American cold-formed steel framing industry” [en línea]. En: *18th International Specialty Conference for Cold-Formed Steel Structures* (Orlando, 26-27 octubre 2006). Disponible en: [www.steel.org](http://www.steel.org) [Consulta: 24 noviembre 2008]

- [13] Larson, J. W. "New Codes and Standards for Cold-Formed Steel Framing: Standard Products and Trade Practices Defined". *STRUCTURE Magazine*, 2005, núm. junio, p.26-28
- [14] American Iron and Steel Institute. *Summary of changes in the 2007 Edition: Standards for cold-formed steel framing*. Washington D.C.: AISI, 2007
- [15] Comisión Europea. *Guidance Paper L: application and use of Eurocodes*. Bruselas: Comisión Europea, versión 23 noviembre 2003
- [16] JRC European Commission. *Time line* [en línea]. Disponible en: <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu> [Consulta: 27 noviembre 2008]
- [17] Bretones, M. A. "Introduction to Eurocodes: focus on Eurocode 3". En: *Technical Workshop: Design and Build with Light Steel Profiles & Eurocode*. (San Petersburgo, 21 marzo 2007)
- [18] España. Real Decreto Legislativo 1829/1995, de 10 de noviembre, por el que se aprueba la norma básica de la edificación NBE EA-95: Estructuras de acero en edificación. Boletín Oficial del Estado, 18 de enero de 1996, núm. 16, p. 1414-1620
- [19] Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda. *Historia* [en línea]. Disponible en: [www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org) [Consulta: 28 noviembre 2008]
- [20] España. Orden de 26 de abril de 2001 por la que se crea la Comisión Interministerial Permanente de Estructuras de Acero. Boletín Oficial del Estado, 4 de mayo de 2001, núm. 107, p. 16192-16194
- [21] Quintero, F. "Eurocódigos: una oportunidad para el sector de la construcción metálica" [en línea]. En: *Construir el futuro en acero. 1ª jornada APTA* (Madrid, 30 noviembre 2004). Disponible en: [www.apta.com.es](http://www.apta.com.es) [Consulta: 11 mayo 2008]
- [22] Álvarez, V. *La normalización industrial*. Valencia: Universitat de València, 1999. p.378
- [23] *Steel Industry Guidance Notes: Execution of Steel Structures* [en línea]. Londres: British Constructional Steelwork Association, SN32, febrero 2009. Disponible en: [www.steelconstruction.org/static/assets/source/SIGNSmar09.pdf](http://www.steelconstruction.org/static/assets/source/SIGNSmar09.pdf) [Consulta: 1 abril 2009]
- [24] Comité Europeo de Normalización. *Execution of steel structures. Part 2: Rules for cold formed thin gauge members and structural sheeting*. prENV 1090-2. Bruselas: CEN, 1995
- [25] Comité Europeo de Normalización. *Ejecución de estructuras de acero. Parte 1: Reglas generales y reglas para edificación*. UNE-ENV 1090-1. Madrid: AENOR, 1907
- [26] Comité Europeo de Normalización. *Execution of steel structures and aluminum structures - Part 2: Technical requirements for steel structures*. prEN 1090-2. Bruselas: CEN, 2008
- [27] Yu, W.W. *Cold formed steel design*. 3ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 2000b, p. 54
- [28] España. Ministerio de Fomento. *Documento 0 de la Instrucción EAE*. Madrid: Ministerio de Fomento, 2004.
- [29] American Iron and Steel Institute. *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. AISI 1996. Washington D.C.: AISI, 1996
- [30] Comité Europeo de Normalización. *Eurocode 0 – Basis of structural design*. BS EN 1990:2002. Londres: BSI, 2002
- [31] International Organization for Standardization, ISO. *Sistemas de gestión de la calidad: Fundamentos y vocabulario*. UNE-EN ISO 9000. Madrid: AENOR, 2005

- [32] International Organization for Standardization, ISO. *Building construction – Tolerances - Expression of dimensional accuracy - Principles and terminology*. ISO 1803:1997. Ginebra: ISO, 1997
- [33] Asociación para la Promoción Técnica del Acero. *El acero en la construcción* [en línea]. Disponible en: [www.apta.com.es/pdf/aceros.pdf](http://www.apta.com.es/pdf/aceros.pdf) [Consulta: 30 julio 2008]
- [34] Comité Europeo de Normalización. *Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*. EN 1993-1-3. Bruselas: CEN, 2006
- [35] *Tema 0. Acero en la construcción* [en línea]. p.5-6. Disponible en: [http://educacion.ucv.cl/prontus\\_formacion/site/artic/20070710/asocfile/ASOCFILE120070710165452.pdf](http://educacion.ucv.cl/prontus_formacion/site/artic/20070710/asocfile/ASOCFILE120070710165452.pdf) [Consulta: 30 julio 2008]
- [36] Yu, W.W. *Cold formed steel design*. 3ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 2000b, p.431
- [37] INTES. *El acero CORTEN* [en línea]. Disponible en: [www.intes.es](http://www.intes.es) [Consulta: 6 agosto 2008]
- [38] Hancock, J.; Murray, T. M.; Ellifritt, D. S. *Cold-formed Steel Structures to the AISI Specification*. Boca Raton (Florida): CRC Press, 2001. p. 25
- [39] American Society of Testing Materials. *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*. ASTM A325-06. Pensilvania (Filadelfia): ASTM, 2006.
- [40] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Gijón. “Tuercas”. En: *Apuntes de la asignatura Dibujo Técnico* [en línea]. Disponible en: <http://aegi.euitig.uniovi.es> [Consulta: 8 agosto 2008]
- [41] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Gijón. “Arandelas”. En: *Apuntes de la asignatura Dibujo Técnico* [en línea]. Disponible en: <http://aegi.euitig.uniovi.es> [Consulta: 8 agosto 2008]
- [42] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Gijón. “Dispositivos de seguridad”. En: *Apuntes de la asignatura Dibujo Técnico* [en línea]. Disponible en: <http://aegi.euitig.uniovi.es> [Consulta: 8 agosto 2008]
- [43] Hornbostel, Caleb. *Construction Materials: Types, Uses and Applications*. 2ª ed. Nueva York: Wiley-Interscience, 1991
- [44] FATOR Tornillería Industrial. *Catálogo General Año 2008* [en línea]. Disponible en: [www.tindsa.com/fator.htm](http://www.tindsa.com/fator.htm) [Consulta: 29 septiembre 2008]
- [45] HONSEL. *Remaches ciegos & troquel de remachado* [en línea]. Disponible en: [www.honsel-umformtechnik.de](http://www.honsel-umformtechnik.de) [Consulta: 24 octubre 2008]
- [46] Lyons, J.C.; Moore, W.P. *Technical Note on Cold-Formed Steel Construction: Powder-actuated fasteners in cold-formed steel construction*. Washington D.C.: LGSEA, 2001.
- [47] Arcelor. *Guía de utilización: productos de acero con recubrimiento metálico* [en línea]. Disponible en: [www.fcs.arcelor.com/prg/selfware.pl?id\\_sitemap=31](http://www.fcs.arcelor.com/prg/selfware.pl?id_sitemap=31) [Consulta: 27 junio 2008]
- [48] Canadian Sheet Steel Building Institute. *An introduction to residential steel framing*. Cambridge (Canadá): CSSBI, 1994. p. 2
- [49] Arcelor. *Guía de utilización: productos de acero prepintado* [en línea]. Disponible en: [www.fcs.arcelor.com/prg/selfware.pl?id\\_sitemap=30](http://www.fcs.arcelor.com/prg/selfware.pl?id_sitemap=30) [Consulta: 27 junio 2008]

- [50] TRUMPF Werkzeugmaschinen. *Technical Information: Punching: technology, tools, practical operation*. Ditzingen (Alemania): TRUMPF Werkzeugmaschinen, 2006. p. 11-12
- [51] International Organization for Standardization, ISO. *Corte térmico: Clasificación de los cortes térmicos. Especificación geométrica de los productos y tolerancias de calidad*. UNE-EN ISO 9013. Madrid: AENOR, 2003
- [52] Comité Europeo de Normalización. *Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints*. prEN 1993-1-8. Bruselas: CEN, 2003
- [53] Comité Europeo de Normalización. *Soldeo: Relación multilingüe de términos para el soldeo y procesos afines*. UNE-EN 1792. Madrid: AENOR, 2003
- [54] Funderburk, R.S.; LaBoube, R. *Technical Note on Cold-Formed Steel Construction: Welding cold-formed steel*. Washington D.C.: LGSEA, 1999
- [55] American Welding Society. *Structural Welding Code: Sheet Steel*. ANSI/AWS D1.3. Miami: AWS, 1998.
- [56] Comité Europeo de Normalización. *Uniones soldadas por fusión, soldeo fuerte y soldeo blando: Representación simbólica en los planos*. UNE-EN 22553. Madrid: AENOR, 1995
- [57] International Organization for Standardization, ISO. *Soldeo y técnicas conexas: Nomenclatura de procesos y números de referencia*. UNE-EN ISO 4063. Madrid: AENOR, 2000
- [58] Comité Europeo de Normalización. *Términos y definiciones para soldeo en relación con la Norma EN 1792*. Informe técnico UNE-CEN/TR 14599. Madrid: AENOR, 2006
- [59] Caballol, D. "Problemática de las estructuras de cubierta realizadas con perfiles metálicos ligeros". *Revista BIA*, 2006, núm. 241, p. 99-114
- [60] Laufgang, S. G. *Tratamiento térmico de soldadura*. Itzaingo (Buenos Aires): Termo Soldex SA, 2004
- [61] International Organization for Standardization, ISO. *Soldeo: Uniones soldadas por fusión de aceros, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones. Niveles de calidad para las imperfecciones)*. UNE-EN ISO 5817. Madrid: AENOR, 2004
- [62] The Steel Network. *Construction Guide: Load Bearing Wall Systems* [en línea]. Las Vegas: The Steel Network, 2008, p.3. Disponible en: [www.steelnetwork.com](http://www.steelnetwork.com) [Consulta: 23 octubre 2008]
- [63] American Iron and Steel Institute. *North American Standard for Cold-Formed Steel Framing: General Provisions*. AISI S200-07. Washington D.C.: AISI, 2007
- [64] NAHB Research Center. *Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing*. Washington D. C.: The Office, 1997a, p. 94
- [65] Building Seismic Safety Council. "Proposal 7-10 – Part 3. White Paper: Light-frame Wall Systems with Wood Structural Panel Sheathing" [en línea]. En: *2009 NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) BSSC Member Organization Ballot Proposals for the 2009 Provisions*. Washington D.C.: BSSC, 2008, p. 8. Disponible en: [www.bssconline.org/09\\_3rdBallotMO/Part\\_3\\_3rdMO/P7-10R1.pdf](http://www.bssconline.org/09_3rdBallotMO/Part_3_3rdMO/P7-10R1.pdf) [Consulta: 26 octubre 2008]
- [66] Abcaz.co.uk. *Electric Drills and Screwdrivers Buyers Guide* [en línea]. Disponible en: [http://diy.abcaz.co.uk/30\\_9/electric-drills-and-screwdrivers.html](http://diy.abcaz.co.uk/30_9/electric-drills-and-screwdrivers.html) [Consulta: 20 octubre 2008]

- [67] NAHB Research Center. *Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing*. Washington D. C.: The Office, 1997b, p. 93
- [68] BSI British Standards. *Structural use of steelwork in building – Part 7: Specification for materials and workmanship\_ cold formed sections*. BS 5950-7. Londres: BSI, 1992
- [69] American Galvanizers Association. *Zinc Coatings* [en línea]. Centennial (Colorado): AGA Publications, 2006, p.4. Disponible en: [www.galvanizeit.org](http://www.galvanizeit.org) [Consulta: 5 noviembre 2008]
- [70] American Iron and Steel Institute. *Durability of Cold-Formed Steel Framing Members*. Washington D.C.: AISI, 1996, p.13
- [71] NAHB Research Center. *Residential Steel Framing: Fire and Acoustic Details* [en línea]. Washington D.C.: PATH (Partnership for Advancing Technology in Housing), 2002. Disponible en: [www.huduser.org](http://www.huduser.org) [Consulta: 28 octubre 2008]
- [72] Milke, J.; Kodur, V.; Marrion, C. “Appendix A: Overview of Fire Protection in Buildings” [en línea]. En: *World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observations, and Recommendations*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency, 2002, FEMA 403. Disponible en: [www.fema.gov](http://www.fema.gov) [Consulta: 28 octubre 2008]
- [73] Galol SA. *Acabados* [en línea]. Disponible en: [www.galol.com](http://www.galol.com) [Consulta: 10 noviembre 2008]
- [74] Galvánicas Girona. *Área técnica: Procesos* [en línea]. Disponible en: [www.galvanicasgirona.com](http://www.galvanicasgirona.com) [Consulta: 10 noviembre 2008]
- [75] Zingoni, A. *Shell Structures in Civil and Mechanical Engineering*. Londres: Thomas Telford, 1997, p. 1-6
- [76] Comité Europeo de Normalización. *Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures*. prEN 1993-1-6. Bruselas: CEN, 2004
- [77] BCSA and Galvanizers Association. *Galvanizing structural steelwork: An approach to the management of liquid metal assisted cracking*. Londres: The British Constructional Steelwork Association, 2005, Publicación núm. 40/05, 1ª ed.
- [78] J. Fisher. “Expansion Joints: Where, When and How”. *Modern Steel Construction*. Chicago: MSC, abril 2005 [en línea]. Disponible en: [www.modernsteel.com](http://www.modernsteel.com) [Consulta: 2 abril 2009]
- [79] Incofluid. *Catálogo* [en línea]. Disponible en: [www.incofluid.com](http://www.incofluid.com) [Consulta: 27 junio 2008]
- [80] Europerfil. *Catálogo de revestimientos* [en línea]. Disponible en: [www.europerfil.es](http://www.europerfil.es) [Consulta: 25 junio 2008]

## Referencias figuras

- Pág. 1** ¡Error! Marcador no definido. – **Figuras 1 y 2**  
*Tema 0. Acero en la construcción* [en línea]. p.13. Disponible en: [http://educacion.ucv.cl/prontus\\_formacion/site/artic/20070710/asocfile/ASOCFILE120070710165452.pdf](http://educacion.ucv.cl/prontus_formacion/site/artic/20070710/asocfile/ASOCFILE120070710165452.pdf) [Consulta: 30 julio 2008]
- Pág. 11 – Figura 3**  
Softwood Export Council. *El abeto Douglas* [en línea] Disponible en: [www.softwood.org](http://www.softwood.org) [Consulta: 3 marzo 2009]
- Pág. 11 – Figura 4**  
Nascor Walls. *House Construction* [en línea]. Disponible en: <http://nascorwalls.com> [Consulta: 3 marzo 2009]
- Pág. 12 – Figuras 5 y 6**  
American Forest & Paper Association. *Details for conventional Wood frame construction*. Washington: American Wood Council, 2001. p. 17-18
- Pág. 12 – Figura 7**  
American Steel Frame Services. *Sample pictures of past projects: Haleiwa, Hawaii* [en línea]. Disponible en: [www.americansteelframeservices.com](http://www.americansteelframeservices.com) [Consulta: 5 diciembre 2008]
- Pág. 12 – Figura 8**  
Steel Framing Alliance. *Steel framing guide*. Washington: Steel Framing Alliance, 2007. p. 4
- Pág. 13 – Figura 9**  
Lawson, R. W.; et al. *Modular construction using light steel framing: an architect's guide*. Ascot (Reino Unido): Steel Construction Institute, 1999. p. 24
- Pág. 13 – Figura 10**  
Steel-Con. Steel-Con Projects Gallery: Nixon house [en línea]. Disponible en: [www.steelconsystems.com/Projects\\_NixonHouse.aspx](http://www.steelconsystems.com/Projects_NixonHouse.aspx) [Consulta: 4 diciembre 2008]
- Pág. 13 – Figura 11**  
AllSteel Distribution. TrusSteel Projects: floor joist trusses in St. George [en línea]. Disponible en: [www.allsteelllc.com](http://www.allsteelllc.com) [Consulta: 4 diciembre 2008]
- Pág. 14 – Figura 12**  
Barbour Product Search. Kingspan Off-Site Facade Systems [en línea]. Disponible en: [www.barbourproductsearch.info/index-file007426.html](http://www.barbourproductsearch.info/index-file007426.html) [Consulta: 5 diciembre 2008]
- Pág. 14 – Figura 13**  
Canadian Sheet Steel Building Institute. *Commercial Lightweight Steel Framing Photo Gallery* [en línea]. Disponible en: [www.cssbi.ca](http://www.cssbi.ca) [Consulta: 4 diciembre 2008]

**Pág. 14 – Figura 14**

Arval Profil du Futur. *Galería de fotos: sobreelevaciones: Surélévation Affarian* [en línea]. Disponible en: [www.profildefutur.com/es/realizaciones/fotos/extensiones-sobreelevaciones/index.html](http://www.profildefutur.com/es/realizaciones/fotos/extensiones-sobreelevaciones/index.html) [Consulta: 5 diciembre 2008]

**Pág. 14 – Figura 15**

Galva-Análisis. *Rehabilitación* [en línea]. Disponible en: [www.realizacionesformativas.e.telefonica.net](http://www.realizacionesformativas.e.telefonica.net) [Consulta: 10 diciembre 2008]

**Pág. 17 – Figura 16**

European Light Steel Construction Association (LSK). *European Lightweight Steel-framed Construction*. Bruselas: Arcelor, 2005. p. 2

**Pág. 50 – Comentario 9. Figuras tuercas**

FATOR Tornillería Industrial. *Catálogo General Año 2008* [en línea]. Disponible en: [www.tindsa.com](http://www.tindsa.com) [Consulta: 29 septiembre 2008]

**Pág. 51 – Comentario 9. Figuras arandelas**

Suminox Bufab SLU. *Productos: Catálogo Arandelas* [en línea]. Disponible en: [www.suminox.com](http://www.suminox.com) [Consulta: 7 agosto 2008]

**Pág. 52 – Comentario 10. Figuras tornillos**

China Fastener Info. *DIN-EN ISO Yellow Page* [en línea]. Disponible en: [www.chinafastener.info/en/en\\_y\\_p\\_list.aspx](http://www.chinafastener.info/en/en_y_p_list.aspx) [Consulta: 19 septiembre 2008]

**Pág. 54 – Comentario 11. Figuras remaches**

Gesipa Fijaciones S.A. *Catálogos: Remaches* [en línea]. Disponible en: [www.gesipa.es](http://www.gesipa.es) [Consulta: 24 octubre 2008]

**Pág. 54 – Comentario 12. Figuras clavos de cartucho**

Hilti Corporation. *Sistemas de Fijación Accionados a Pólvora: Guía de Selección DX* [en línea]. Disponible en: [www.hilti.com.mx/data/editorials/DX.pdf](http://www.hilti.com.mx/data/editorials/DX.pdf) [Consulta: 3 noviembre 2008]

**Pág. 82 – Comentario 29**

LiteSteel Technologies. *Connection Design Manual: for LiteSteel® beam* [en línea]. Disponible en: [www.litesteelbeam.com.au](http://www.litesteelbeam.com.au) [Consulta: 8 agosto 2008]

**Pág. 130 – Figura A**

J. Fisher. "Expansion Joints: Where, When and How". *Modern Steel Construction*. Chicago: MSC, abril 2005 [en línea]. Disponible en: [www.modernsteel.com](http://www.modernsteel.com) [Consulta: 2 abril 2009]

**Pág. 130 – Figura B**

Copper Development Association. *Design Handbook: Section 4. Architectural Details: Building Expansion Joints* [en línea]. Disponible en: [http://www.copper.org/applications/architecture/arch\\_dhb/building\\_expansion/roof\\_conditions.html](http://www.copper.org/applications/architecture/arch_dhb/building_expansion/roof_conditions.html) [Consulta: 1 agosto 2008]

**Pág. 130 – Figura C**

Stramit Corporation. *Stramit Purlins, Girts & Bridging. Detailing & Installation* [en línea]. Disponible en: [www.stramit.com.au](http://www.stramit.com.au) [Consulta: 8 agosto 2008]

**Pág. 131 – Figuras D, E y F**

Kingspan Insulated Panels. *Insulated Roof Systems: KS1000 RW, KS1000 LP, KS1000 TD TopDeck* [en línea]. Disponible en: [www.kingspanpanels.com](http://www.kingspanpanels.com) [Consulta: 1 agosto 2008]

**Pág. 132 – Figura G**

Kingspan Insulated Panels. *Insulated Wall Systems: KS1000 AWP* [en línea]. Disponible en: [www.kingspanpanels.com](http://www.kingspanpanels.com) [Consulta: 1 agosto 2008]

**Pág. 133 – Figura H**

Incofluid. *Catálogo* [en línea]. Disponible en: [www.incofluid.com](http://www.incofluid.com) [Consulta: 27 junio 2008]

**Pág. 133 – Figura I**

Arcelor. *Guía de utilización: productos de acero con recubrimiento metálico* [en línea]. Disponible en: [www.fcs.arcelor.com/prg/selfware.pl?id\\_sitemap=31](http://www.fcs.arcelor.com/prg/selfware.pl?id_sitemap=31) [Consulta: 27 junio 2008]