

# ESTRUCTURAS DE ACERO EN EDIFICACIÓN

Real decreto 1829/1995 de 10 de noviembre.- B.O.E. 18-1-1996

## Índice

**REAL DECRETO 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", publicado en el BOE 18-1-1996)

### **Parte 1.- Introducción**

#### **1.0 Generalidades**

##### **1.1 Ambito de aplicación**

[1.1.1 Aplicación de la norma a los proyectos](#)

[1.1.2 Aplicación de la norma a la ejecución](#)

### **Parte 2.- Productos de acero para estructuras**

#### **2.0 Generalidades**

##### **2.1 Perfiles y chapas de acero laminado**

[2.1.1 Aceros para perfiles y chapas](#)

[2.1.2 Características mecánicas de los aceros](#)

[2.1.3 Composición química](#)

[2.1.4 Garantía de las características](#)

[2.1.5 Condiciones de suministro y recepción](#)

[2.1.6 Productos laminados](#)

##### **2.2 Perfiles huecos de acero**

[2.2.1 Acero para perfiles huecos](#)

[2.2.2 Características mecánicas del acero](#)

[2.2.3 Composición química](#)

[2.2.4 Suministro de los perfiles huecos](#)

[2.2.5 Ensayos de recepción](#)

[2.2.6 Series de perfiles huecos](#)

[2.2.7 Tolerancias en los perfiles huecos](#)

##### **2.3 Perfiles y placas conformados de acero**

[2.3.1 Acero para perfiles y placas conformados](#)

[2.3.2 Características mecánicas del acero](#)

[2.3.3 Composición química del acero](#)

[2.3.4 Suministro de los perfiles y placas conformados](#)

[2.3.5 Ensayos de recepción](#)

[2.3.6 Series de perfiles y placas conformados](#)

[2.3.7 Tolerancias en los perfiles y placas conformados](#)

##### **2.4 Roblones de acero**

[2.4.1 Clases de roblones](#)

- [2.4.2 Roblones de cabeza esférica](#)
- [2.4.3 Roblones de cabeza bombeada](#)
- [2.4.4 Roblones de cabeza plana](#)
- [2.4.5 Acero para roblones](#)
- [2.4.6 Características garantizadas](#)
- [2.4.7 Suministro y recepción](#)
- [2.4.8 Notación para los planos de ejecución](#)

## **2.5 Tornillos**

- [2.5.1 Clases de tornillos](#)
- [2.5.2 Rosca para tornillos ordinarios y calibrados](#)
- [2.5.3 Tornillos ordinarios](#)
- [2.5.4 Tornillos calibrados](#)
- [2.5.5 Tuercas y arandelas para tornillos ordinarios y calibrados](#)
- [2.5.6 Características de los aceros para tornillos ordinarios y calibrados](#)
- [2.5.7 Tornillos de alta resistencia](#)
- [2.5.8 Tuercas](#)
- [2.5.9 Arandelas](#)
- [2.5.10 Características de los aceros para tornillos de alta resistencia](#)
- [2.5.11 Características garantizadas](#)
- [2.5.12 Suministro y recepción](#)
- [2.5.13 Notación para los planos de ejecución](#)

## **Anejos de la Parte 2**

### **Anejo 2.A1 Productos laminados**

- [Tabla 2.A1.1 Perfiles IPN](#)
- [Tabla 2.A1.2 Perfiles IPE](#)
- [Tabla 2.A1.3 Perfiles HEB, HEA y HEM](#)
- [Tabla 2.A1.4 Perfiles UPN](#)
- [Tabla 2.A1.5 Perfiles L](#)
- [Tabla 2.A1.6 Perfiles LD](#)
- [Tabla 2.A1.7 Perfiles T](#)
- [Tabla 2.A1.8 Redondos](#)
- [Tabla 2.A1.9 Cuadrados](#)
- [Tabla 2.A1.10 Rectangulares](#)

### **Anejo 2.A2 Perfiles huecos**

- [Tabla 2.A2.1 Perfiles huecos redondos](#)
- [Tabla 2.A2.2 Perfiles huecos cuadrados](#)
- [Tabla 2.A2.3 Perfiles huecos rectangulares](#)

### **Anejo 2.A3 Perfiles y placas conformados**

- [Tabla 2.A3.1 Perfiles conformados L](#)
- [Tabla 2.A3.2 Perfiles conformados LD](#)
- [Tabla 2.A3.3 Perfiles conformados U](#)
- [Tabla 2.A3.4 Perfiles conformados C](#)
- [Tabla 2.A3.5 Perfiles conformados "omega"](#)
- [Tabla 2.A3.6 Perfiles conformados Z](#)
- [Tabla 2.A3.7 Placa ondulada](#)
- [Tabla 2.A3.8 Placa grecada](#)

## **Parte 3.- Cálculo de las estructuras de acero laminado**

### **3.0 Generalidades**

#### **3.1 Bases de cálculo**

- [3.1.1 Condiciones de seguridad](#)
- [3.1.2 Condiciones de deformación](#)
- [3.1.3 Métodos de cálculo](#)
- [3.1.4 Acciones características](#)

- [3.1.5 Acciones ponderadas](#)
- [3.1.6 Condiciones de agotamiento](#)
- [3.1.7 Resistencia de cálculo del acero](#)
- [3.1.8 Elección de la clase de acero](#)
- [3.1.9 Constantes elásticas del acero](#)
- [3.1.10 Coeficiente de dilatación térmica del acero](#)

### **3.2 Piezas de directriz recta sometidas a compresión**

- [3.2.1 Clases de piezas](#)
- [3.2.2 Solicitaciones consideradas](#)
- [3.2.3 Términos de sección](#)
- [3.2.4 Longitud de pandeo](#)
- [3.2.5 Esbeltez mecánica de una pieza](#)
- [3.2.6 Espesores de los elementos planos de piezas comprimidas](#)
- [3.2.7 Cálculo a pandeo de piezas sometidas a compresión centrada](#)
- [3.2.8 Cálculo de los enlaces de las piezas compuestas](#)
- [3.2.9 Piezas solicitadas a compresión excéntrica](#)

### **3.3 Piezas de directriz recta sometidas a tracción**

- [3.3.1 Clases de piezas](#)
- [3.3.2 Solicitaciones consideradas](#)
- [3.3.3 Esbeltez mecánica de las piezas en tracción](#)
- [3.3.4 Cálculo de piezas solicitadas a tracción centrada](#)
- [3.3.5 Cálculo de las piezas solicitadas a tracción excéntrica](#)

### **3.4 Piezas de directriz recta sometidas a flexión**

- [3.4.1 Vigas de alma llena](#)
- [3.4.2 Vigas de celosía](#)
- [3.4.3 Cálculo de tensiones](#)
- [3.4.4 Flechas](#)
- [3.4.5 Pandeo lateral de vigas](#)
- [3.4.6 Abolladura del alma en las vigas de alma llena](#)
- [3.4.7 Rigidizadores](#)

### **3.5 Métodos anelásticos de cálculo**

- [3.5.1 Aceptación de métodos de cálculo no elásticos](#)
- [3.5.2 Bases de cálculo](#)
- [3.5.3 Arriostramientos verticales](#)
- [3.5.4 Soportes](#)
- [3.5.5 Influencia del esfuerzo cortante](#)
- [3.5.6 Rigidizadores de alma](#)
- [3.5.7 Relaciones máximas anchura-espesor](#)
- [3.5.8 Uniones](#)
- [3.5.9 Arriostramientos laterales](#)

### **3.6 Uniones roblonadas y atornilladas**

- [3.6.1 Disposiciones y recomendaciones generales](#)
- [3.6.2 Elementos de unión](#)
- [3.6.3 Disposiciones constructivas](#)
- [3.6.4 Cálculo de los esfuerzos en los elementos de unión](#)
- [3.6.5 Resistencia de los elementos de unión](#)

### **3.7 Uniones soldadas**

- [3.7.1 Generalidades](#)
- [3.7.2 Uniones con soldadura a tope](#)
- [3.7.3 Uniones con soldaduras de ángulo](#)

### **3.8 Aparatos de apoyo**

- [3.8.1 Generalidades](#)
- [3.8.2 Apoyos fijos](#)
- [3.8.3 Apoyos móviles](#)

## **Anejos de la Parte 3**

### **Anejo 3.A1 Recomendaciones para la elección de la calidad de acero en estructuras soldadas**

- [Tabla 3.A1.1 Clasificación previa de un elemento estructural](#)
- [Tabla 3.A1.2 Elección de la calidad en acero A37 para elementos soldados solicitados a tracción](#)
- [Tabla 3.A1.3 Elección de la calidad en acero A42 para elementos soldados solicitados a tracción](#)
- [Tabla 3.A1.4 Elección de la calidad en acero A52 para elementos soldados solicitados a tracción](#)

### **Anejo 3.A2 Cálculo de las tensiones en piezas de directriz recta**

- [Tabla 3.A2.1 Tensiones normales y tangenciales](#)

### **Anejo 3.A3 Cálculo de piezas solicitadas a torsión**

- [Tabla 3.A3.1 Piezas solicitadas a torsión uniforme](#)

### **Anejo 3.A4 Pandeo lateral de vigas**

- [Tabla 3.A4.1 Coeficiente k para ménsulas](#)

### **Anejo 3.A5 Cálculo de los esfuerzos en los elementos de unión**

### **Anejo 3.A6 Cálculo de soldaduras de ángulo que constituyen una unión**

- [Tabla 3.A6.1 Uniones planas](#)

## **Parte 4.- Cálculo de las piezas de chapa conformada**

### **4.0 Generalidades**

#### **4.1 Bases de cálculo**

- [4.1.1 Proceso de cálculo](#)
- [4.1.2 Elevación del límite elástico del acero](#)
- [4.1.3 Elementos planos de una pieza](#)
- [4.1.4 Dimensiones de un elemento plano](#)
- [4.1.5 Rigidizadores](#)

#### **4.2 Abolladura**

- [4.2.1 Concepto](#)
- [4.2.2 Abolladura por tensiones normales](#)
- [4.2.3 Tensiones en los elementos no rigidizados](#)
- [4.2.4 Tensiones en los elementos rigidizados](#)
- [4.2.5 Abolladura por tensiones tangenciales](#)
- [4.2.6 Abolladura por tensiones normales y tangenciales](#)

#### **4.3 Combadura**

- [4.3.1 Concepto](#)
- [4.3.2 Cabezas comprimidas](#)
- [4.3.3 Longitud de combadura](#)
- [4.3.4 Coeficiente de combadura](#)
- [4.3.5 Piezas arriostradas a lo largo de su directriz](#)

#### **4.4 Piezas sometidas a flexión y a torsión**

- [4.4.1 Consideraciones generales](#)
- [4.4.2 Piezas sometidas a flexión](#)
- [4.4.3 Piezas sometidas a torsión](#)
- [4.4.4 Correas](#)
- [4.4.5 Comprobación de las tensiones](#)
- [4.4.6 Cargas concentradas](#)
- [4.4.7 Deformaciones](#)

#### **4.5 Piezas sometidas a compresión simple y compuesta**

- [4.5.1 Generalidades](#)
- [4.5.2 Pandeo simple](#)
- [4.5.3 Pandeo con torsión](#)
- [4.5.4 Pandeo de los perfiles L](#)

#### **4.6 Uniones**

- [4.6.1 Medios de unión](#)
- [4.6.2 Uniones roblonadas](#)
- [4.6.3 Uniones atornilladas](#)
- [4.6.4 Uniones soldadas](#)
- [4.6.5 Uniones longitudinales de una pieza compuesta](#)
- [4.6.6 Perfil I compuesto de 2U o de 2C](#)

### **Anejos de la Parte 4**

#### **Anejo 4.A1 Cálculo numérico iterativo de los términos de sección y funciones coordenadas de una pieza de chapa conformada**

## **Parte 5.- Ejecución de las estructuras de acero**

### **5.0 Generalidades**

#### **5.1 Uniones roblonadas y atornilladas**

- [5.1.1 Generalidades](#)
- [5.1.2 Agujeros](#)
- [5.1.3 Calentamiento de los roblones](#)
- [5.1.4 Colocación de los roblones](#)
- [5.1.5 Colocación de los tornillos ordinarios](#)
- [5.1.6 Colocación de los tornillos calibrados](#)
- [5.1.7 Colocación de tornillos de alta resistencia](#)

#### **5.2 Uniones soldadas**

- [5.2.1 Generalidades](#)
- [5.2.2 Prescripciones para las soldaduras](#)
- [5.2.3 Prescripciones según la disposición de la soldadura](#)
- [5.2.4 Orden de ejecución de cordones y soldaduras en el soldeo manual](#)
- [5.2.5 Preparación de bordes en soldaduras a tope](#)
- [5.2.6 Deformaciones y tensiones residuales](#)
- [5.2.7 Calificación de las soldaduras](#)

#### **5.3 Ejecución en taller**

- [5.3.1 Planos de taller](#)
- [5.3.2 Plantillaje](#)
- [5.3.3 Preparación, enderezado y conformación](#)
- [5.3.4 Marcado de ejecución](#)
- [5.3.5 Corte](#)
- [5.3.6 Perforaciones](#)
- [5.3.7 Armado](#)
- [5.3.8 Marcas de identificación](#)

#### **5.4 Montaje en obra**

- [5.4.1 Programa de montaje](#)

- [5.4.2 Elementos de la estructura](#)
- [5.4.3 Equipo de montaje](#)
- [5.4.4 Manipulación](#)
- [5.4.5 Asiento de las bases de los pilares](#)
- [5.4.6 Asientos de los emparrillados de cimentación](#)
- [5.4.7 Montaje](#)

## **5.5 Tolerancias**

- [5.5.1 Especificaciones de las tolerancias](#)
- [5.5.2 Comprobaciones de las dimensiones](#)
- [5.5.3 Tolerancias en los perfiles y chapas](#)
- [5.5.4 Elementos realizados en taller](#)
- [5.5.5 Conjuntos montados en obra](#)
- [5.5.6 Uniones](#)

## **5.6 Protección**

- [5.6.1 Especificaciones sobre las protecciones](#)
- [5.6.2 Superficies de contacto](#)
- [5.6.3 Superficies contiguas al terreno](#)
- [5.6.4 Condiciones de la pintura](#)
- [5.6.5 Preparación de las superficies](#)
- [5.6.6 Ejecución del pintado](#)
- [5.6.7 Pintado en taller](#)
- [5.6.8 Pintado en obra](#)

## **Apéndice 1.- Normas UNE de referencia para estructuras de acero**

## **Apéndice 2.- Observaciones a la notación empleada**

REAL DECRETO 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", publicado en el BOE 18-1-1996)

El Real Decreto 1650/1977, de 10 de junio, sobre Normativa de la Edificación, dispone que son normas básicas de la edificación (NBE), las que a partir de los fundamentos del conocimiento científico y tecnológico establecen las reglas necesarias para su correcta aplicación en el proyecto y ejecución de los edificios. Dado que estas normas tienen como finalidad fundamental la de defender la seguridad de las personas, establecer las restantes condiciones mínimas para atender las exigencias humanas y proteger la economía de la sociedad, las normas básicas de la edificación son normas de obligado cumplimiento para todos los proyectos y obras de edificación.

Hasta la fecha, la normativa de obligado cumplimiento relacionada con las estructuras de acero en la edificación ha estado formada por una serie dispersa de normas NBE MV aprobadas entre los años 1966 y 1982. Por ello, resulta aconsejable, para su más fácil manejo, la agrupación de todas esas normas en una sola norma básica de la edificación con estructura similar a la de otras normas básicas, a la vez que se introducen algunas modificaciones que resultan necesarias, particularmente, en relación con las referencias a normas UNE que a lo largo de estos años han sufrido revisiones y modificaciones, consecuencia, en algunos casos, de la incorporación de normas europeas. Esta agrupación constituye un paso previo al estudio y adaptación de esta norma al "Eurocódigo para las estructuras de acero", norma europea con carácter aún experimental, que habrá de realizarse con la participación de los sectores públicos y privados afectados.

Por todo ello, este Real Decreto tiene por objeto aprobar la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación", en la que se refunden y ordenan en una sola norma básica las normas básicas de la edificación (NBE) siguientes:

- a) NBE MV 102-1975 "Acero laminado para estructuras de edificación".
- b) NBE MV 103-1972 "Cálculo de estructuras de acero laminado en edificación".
- c) NBE MV 104-1966 "Ejecución de las estructuras de acero laminado en la edificación".
- d) NBE MV 105-1967 "Roblones de acero".
- e) NBE MV 106-1968 "Tornillos ordinarios y calibrados, tuercas y arandelas de acero para estructuras de acero laminado".
- f) NBE MV 107-1968 "Tornillos de alta resistencia y sus tuercas y arandelas".
- g) NBE MV 108-1976 "Perfiles huecos de acero para estructuras de edificación".
- h) NBE MV 109-1979 "Perfiles conformados de acero para estructuras de edificación".
- i) NBE MV 110-1982 "Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero de edificación", y
- j) NBE MV 111-1980 "Placas y paneles de chapa conformada de acero

para la edificación".

Finalmente, es de hacer constar que en la tramitación de este Real Decreto se ha cumplido el procedimiento de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas establecido en la Directiva 83/189/CEE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de marzo, y en el Real Decreto 1168/1995, de 7 de julio.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 10 de noviembre de 1995,

## **DISPONGO:**

### **Artículo único.**

Se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación", que se incluye en el anejo a este Real Decreto.

### **Disposición transitoria única.**

No será obligatoria la aplicación de la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación" a aquellos edificios que a la fecha de entrada en vigor de este Real Decreto estén construyéndose, tengan concedida licencia de edificación, o sus proyectos estén ya aprobados por las Administraciones públicas competentes o visados por Colegios Profesionales.

### **Disposición derogatoria única.**

Sin perjuicio de lo dispuesto en la disposición transitoria única, a la entrada en vigor de este Real Decreto quedarán derogadas las siguientes disposiciones:

a) Decreto 1851/1967, de 3 de junio, por el que se aprueba la Norma MV 104-1966 "Ejecución de las estructuras de acero laminado de edificación".

b) Decreto 685/1969, de 30 de enero, por el que se aprueban las Normas MV 105-1967 "Roblones de acero", MV 106-1968 "Tornillos ordinarios y calibrados, tuercas y arandelas de acero para estructuras de acero laminado" y MV 107-1968 "Tornillos de alta resistencia y sus tuercas y arandelas".

c) Decreto 1353/1973, de 12 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica MV 103-1973 "Cálculo de las estructuras de acero laminado en edificación".

d) Real Decreto 2899/1976, de 16 de septiembre, por el que se aprueba la Norma Básica MV 102-1975 "Acero laminado para estructuras de edificación".

e) Real Decreto 3253/1976, de 23 de diciembre, por el que se aprueba la Norma Básica MV 108-1976 "Perfiles huecos de acero para estructuras de edificación".

f) Real Decreto 3180/1979 de 7 de diciembre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE MV 109-1979 "Perfiles conformados de acero para estructuras de edificación".

g) Real Decreto 2169/1981, de 22 de mayo, por el que se aprueba la Norma Básica



de la Edificación NBE MV 111-1980 "Placas y paneles de chapa conformada de acero para la edificación".

h) Real Decreto 2048/1982, de 28 de mayo, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE MV 110-1982 "Cálculo de las piezas de chapa conformada de acero en edificación".

Igualmente, quedarán derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo establecido en este Real Decreto.

#### **Disposición final primera.**

Se faculta al Ministro de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente para modificar, cuando proceda, las referencias a las normas UNE que figuran en el apéndice 1 de la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación", aprobada por este Real Decreto.

#### **Disposición final segunda.**

Este Real Decreto entrará en vigor a los tres meses de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

# **PARTE 1.- INTRODUCCIÓN**

## **1.0 Generalidades**

El objeto de esta norma es establecer las prescripciones técnicas suficientes para proporcionar la confianza adecuada respecto a la seguridad de las estructuras de acero en la edificación.

Se refunden y ordenan en esta norma NBE EA-95 la serie completa de normas relativas a estructuras de acero NBE-MV 102 a NBE-MV 111.

No está contemplada en esta norma la protección contra el fuego, que es objeto de la Norma Básica de la Edificación NBE CPI-91. "Condiciones de protección contra incendios en los edificios".

# 1.1 Ámbito de aplicación

## 1.1 Ámbito de aplicación

Esta norma debe aplicarse al proyecto y a la ejecución, tanto en taller como en obra, de las estructuras de acero en la edificación o de sus elementos estructurales.

### 1.1.1 Aplicación de la norma a los proyectos

El autor del proyecto de una edificación, con estructura o elementos estructurales de acero, está obligado a conocer y a tener en cuenta esta norma; no obstante, podrá adoptar prescripciones diferentes a las establecidas en ella, en cuyo caso se justificará documentalmente que las soluciones adoptadas no disminuyen el nivel de seguridad establecido por la norma.

La documentación del proyecto se adecuará a las condiciones señaladas a continuación.

#### 1.1.1.1 Memoria

En la memoria técnica, además de la descripción y justificación funcional de la solución estructural adoptada, se incluirá un anejo de cálculo, desarrollado de tal forma que los cálculos de la estructura puedan ser desarrollados por una tercera persona, en el que expresamente debe figurar:

- la simplificación realizada sobre la estructura real para asimilarla a una ideal de cálculo;
- las acciones previstas en el cálculo, ajustadas a la Norma Básica de la Edificación NBE AE-88 "Acciones en la edificación";
- los coeficientes de seguridad;
- las condiciones de deformabilidad;
- los métodos de cálculo y las hipótesis de carga utilizados;
- la especificación de los materiales considerados, con indicación de las clases de acero;
- las solicitaciones de cada elemento estructural y el correspondiente dimensionamiento con su identificación en los planos;
- las condiciones de ejecución y montaje.

Cuando se efectúen cálculos con ayuda de ordenador, se completará el anejo de cálculo indicando las etapas que se han resuelto con programas distintos; se especificarán para cada programa su identificación, su objeto y su campo de aplicación, con aplicación precisa sobre la presentación de los datos introducidos por el proyectista y los resultados generados por el programa.

#### 1.1.1.2 Planos

En los planos de estructura se representarán gráficamente los elementos estructurales, con las cotas, en milímetros, necesarias para establecer sus dimensiones, de tal modo que no se precise obtenerlas por medición, se acompañarán de las notas necesarias para definirlos.

Se especificarán los perfiles empleados, las disposiciones de armado y las diferentes uniones, de tal forma que con todo ello se puedan realizar los planos de taller y el programa de montaje en obra.

#### 1.1.1.3 Pliego de prescripciones técnicas

En el pliego de prescripciones técnicas del proyecto se incluirán los artículos precisos para establecer las condiciones exigibles a los materiales y a la ejecución de cada unidad de obra, haciendo referencia a esta norma, a pliegos generales de prescripciones técnicas y completando, cuando sea necesario, con aquellas condiciones particulares que se estime oportuno establecer.

#### 1.1.1.4 Presupuesto

En el presupuesto del proyecto, las unidades de obra correspondientes a la estructura de acero constituirán un capítulo diferenciado, tanto respecto a las mediciones como a los precios y valoraciones.

En cada unidad de obra de la estructura de acero se indicarán las características de los materiales empleados en ella, las condiciones de ejecución, la unidad y criterio de medición y el precio unitario con los costes indirectos que se consideran incluidos en él.

### 1.1.2 Aplicación de la norma a la ejecución

El contratista está obligado a que, en la obra, el personal a sus órdenes conozca y cumpla la norma en la parte que les afecte, salvo que el proyecto o la dirección facultativa, expresamente y por escrito, establezcan métodos de ejecución distintos a los indicados en ella.

El jefe de taller y el jefe de montaje de la estructura, así como el personal a sus órdenes, están obligados a conocer y a cumplir las especificaciones del proyecto y la norma, en la parte que les afecte.

Corresponde a la dirección facultativa vigilar y verificar el cumplimiento del proyecto y de la norma, en la ejecución.

# PARTE 2.- PRODUCTOS DE ACERO PARA ESTRUCTURAS

## 2.0 Generalidades

### Ámbito de aplicación

Las reglas establecidas en esta parte se aplican a productos laminados en caliente de espesor mayor que 3 mm, a perfiles huecos y conformados en frío o caliente destinados a servir de elementos resistentes de espesor constante igual o mayor que 2 mm, a roblones y a tornillos ordinarios, calibrados y de alta resistencia empleados en estructuras de acero, así como a sus tuercas y arandelas.

En el caso de productos provenientes de países que sean parte del acuerdo del Espacio Económico Europeo, éstos estarán sujetos a lo previsto en el Real Decreto 1.630/1992, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, y en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento, los productos estarán sujetos a lo dispuesto en el artículo 9 del citado real decreto.

### Aceros y notaciones

Esta norma, al tratarse de una refundición de las normas MV, mantiene las designaciones de acero A37, A42 y A52 con los grados b, c, d, para cada uno de ellos; no obstante, la designación comercial actual de aceros es la que figura en las normas UNE EN 10 025 y UNE EN 10 210-1. En ambas normas se incluyen correspondencias entre esas designaciones y las designaciones de normas anteriores de varios países.

En la tabla siguiente se indican las correspondencias entre las designaciones utilizadas en esta norma básica y las designaciones según UNE EN 10 025 para los productos laminados en caliente más usuales.

| Designación según NBE-EA | Designación según UNE EN 10025(1) |
|--------------------------|-----------------------------------|
| A37b                     | S 235 JR                          |
| -                        | S 235 JR G2                       |
| A37c                     | S 235 JO                          |
| A37d                     | S 235 J2 G3                       |
| A42b                     | -                                 |
| A42c                     | -                                 |
| A42d                     | -                                 |
| (2)                      | S 275 JR                          |
| (2)                      | S 275 JO                          |
| (2)                      | S 275 J2 G3                       |
| A52b                     | S 355 JR                          |
| A52c                     | S 355 JO                          |

(1) La designación de aceros para construcción metálica según UNE EN 10025 utiliza una notación alfanumérica que comienza con la letra S, seguida de tres dígitos que indican el valor mínimo del límite elástico expresado en N/mm<sup>2</sup> a los que se añaden otras letras y números que corresponden al grado y otras aptitudes.

(2) Estas designaciones se corresponden con A44b, A44c y A44d, respectivamente según UNE 36 080-73

La correspondencia señalada en la tabla no supone equivalencia exacta de los aceros, en consecuencia, en la utilización de aceros con designación distinta de los de esta norma básica, deberán comprobarse aquellas características que se consideren fundamentales en cada caso.

## 2.1 Perfiles y chapas de acero laminado

### 2.1.1 Aceros para perfiles y chapas

Se definen las clases de acero, por su tipo y grado, que se indican en la Tabla 2.1.1 teniendo en cuenta lo expuesto en 2.0.

**Tabla 2.1.1.- Aceros para perfiles y chapas**

| <b>Tipo</b> | <b>Grado b</b> | <b>Grado c</b> | <b>Grado d</b> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| A37         | A37b           | A37c           | A37d           |
| A42         | A42b           | A42c           | A42d           |
| A52         | A52b           | A52c           | A52d           |

Los aceros que se utilizan para perfiles y chapas son de la clase A37b y de la clase A42b. Los aceros de las clases A42c y A42d tienen utilizaciones específicas en casos de exigencias especiales de alta soldabilidad o de insensibilidad a la rotura frágil.

Los aceros de la clase A52b tienen su utilización en los casos en que se requieren altas resistencias, y los de las clases A52c y A52d tienen utilización específica en casos de exigencias especiales de alta soldabilidad o de insensibilidad a la rotura frágil.

### 2.1.2 Características mecánicas de los aceros

Las características mecánicas de aceros se establecen en la tabla 2.1.2 en la cual son:

## Límite elástico

Es la carga unitaria  $\sigma_{\text{el}}(1)$ , referida a la sección inicial de la probeta, que corresponde a la cadencia en el ensayo a tracción según 2.1.5.4, determinada por la detención de la aguja de lectura de la máquina de ensayo. Esta definición corresponde al límite superior de cadencia según la norma UNE 7 474-1 (en 10 002-1).

### Resistencia a tracción

Es la carga unitaria máxima  $\sigma_r(1)$ , soportada durante el ensayo a tracción según 2.1.5.4.

### Alargamiento de rotura

Es el aumento  $\delta$  (1) de la distancia inicial entre puntos, en el ensayo de tracción según 2.1.5.4 después de producida la rotura de la probeta, y reconstruida ésta, expresado en tanto por ciento de la distancia inicial.

## Doblado

Es un índice de la ductilidad del material, definido por la ausencia o presencia de fisuras en el ensayo de doblado según 2.1.5.5.

## Resiliencia

Es la energía  $p$  (1) absorbida en el ensayo de flexión por choque, con probeta entallada, según 2.1.5.6.

(1) En siderurgia la notación es: Límite elástico  $R_{eH}$ , Resistencia a tracción  $R_m$ , Alargamiento de rotura  $A$ , y Energía absorbida KV, según las normas UNE 7 474-1 (EN 10 002-1) y 7 475-1 (EN 10 045-1).

**Tabla 2.1.2.- Características mecánicas de los aceros**

|  |   |                             | Clases de acero |          |          |          |          |          |             |          |          |
|--|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| Características mecánicas  | Espesor   | Probeta                     | A37b            | A37c     | A37d     | A42b     | A42c     | A42d     | A52b        | A52c     | A52d     |
| Límite elástico<br>σ <sub>e</sub> kp/mm <sup>2</sup> mínimo  | ≤ 16mm  |                             | 24              | 24       | 24       | 26       | 26       | 26       | 36          | 36       | 36       |
|  | > 16 mm<br>≤ 40mm   |                             | 23              | 23       | 23       | 25       | 25       | 25       | 35(1)       | 35       | 35       |
|  | > 40 mm<br>≤ 63mm   |                             | 22              | 22       | 22       | 24       | 24       | 24       | 34(1)       | 34       | 34       |
| Alargamiento de rotura<br>δ kp/mm <sup>2</sup> mínimo  | ≤ 40mm  | longitudinal<br>transversal | 26<br>24        | 26<br>24 | 26<br>24 | 24<br>22 | 24<br>22 | 24<br>22 | 22(1)<br>20 | 22<br>20 | 22<br>20 |
|  | > 40mm<br>≤ 63mm  | longitudinal<br>transversal | 25<br>23        | 25<br>23 | 25<br>23 | 23<br>24 | 23<br>21 | 23<br>21 | 21(1)<br>19 | 21<br>19 | 21<br>19 |
| Resistencia a tracción<br>σ <sub>r</sub> kp/mm <sup>2</sup> mínimo-máximo (2)  |   |                             | 37-48           | 37-45    | 37-45    | 42-53    | 42-50    | 42-50    | 52-62       | 52-62    | 52-62    |
| Doblado satisfactorio en espesor a sobre<br>mandril de diámetro  |   | longitudinal<br>transversal | 1a              | 1a       | 1a       | 2a       | 2a       | 2a       | 2.5a        | 2.5a     | 2.5a     |
|  |   |                             | 2a              | 1.5a     | 1.5a     | 2.5a     | 2.5a     | 2.5a     | 3a          | 3a       | 3a       |
| Resiliencia  | Energía absorbida ρ kp/m min.<br>Temperatura de ensayo °C |                             | 2.8             | 2.8      | 2.8      | 2.8      | 2.8      | 2.8      | 2.8         | 2.8      | 2.8      |
|  |   | +20                         | 0               | -20      | +20      | 0        | -20      | +20      | 0           | -20      |          |
| (1) En los aceros de tipo A52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm.<br>(2) Salvo acuerdo en contrario, no será objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen 2 kp/mm <sup>2</sup> de menos. Tampoco si en los aceros de grados c y d se obtienen 2 kp/mm <sup>2</sup> de más. |   |                             |                 |          |          |          |          |          |             |          |          |

### 2.1.3 Composición química

En la tabla 2.1.3 se definen los límites de contenido de carbono C, fósforo P, azufre S, y nitrógeno N<sub>2</sub>, para la colada y para los productos, como resultado de los análisis efectuados según los métodos definidos en 2.1.5.7.

**Tabla 2.1.3.- Composición química de los aceros**

|                                |                                |                  | Clases de acero |       |       |       |       |       |       |       |       |                     |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| Estado de desoxidación (1)     |                                | Espesor          | A37b            | A37b  | A37c  | A37d  | A42b  | A42c  | A42d  | A52b  | A52c  | A52d                |
|                                |                                |                  | E               | NE    | NE    | K     | NE    | NE    | K     | NE    | NE    | K                   |
| Sobre colada                   | C% <b>máx</b>                  | ≤ 10mm           | 0.17            | 0.17  | 0.17  | 0.17  | 0.22  | 0.20  | 0.20  | 0.22  | 0.20  | 0.20                |
|                                |                                | >10mm<br>≤ 16mm  | 0.17            | 0.17  | 0.17  | 0.17  | 0.22  | 0.20  | 0.20  | 0.24  | 0.20  | 0.20                |
|                                |                                | >16 mm<br>≤ 40mm | 0.20            | 0.20  | 0.20  | 0.20  | 0.24  | 0.22  | 0.22  | 0.24  | 0.22  | 0.20 <sup>(2)</sup> |
|                                |                                | >40mm            | -               | 0.20  | 0.20  | 0.20  | 0.24  | 0.22  | 0.22  | 0.24  | 0.22  | 0.22                |
|                                | P% <b>máx</b>                  |                  | 0.050           | 0.050 | 0.045 | 0.040 | 0.050 | 0.045 | 0.040 | 0.050 | 0.045 | 0.040               |
|                                | S% <b>máx</b>                  |                  | 0.050           | 0.050 | 0.045 | 0.040 | 0.050 | 0.045 | 0.040 | 0.050 | 0.045 | 0.040               |
|                                | N <sub>2</sub> (3)% <b>máx</b> |                  | 0.007           | 0.009 | 0.009 | -     | 0.009 | 0.009 | -     | 0.009 | 0.009 | -                   |
|                                | Sobre producto                 | C% <b>máx</b>    | ≤ 10mm          | 0.21  | 0.19  | 0.19  | 0.19  | 0.25  | 0.23  | 0.23  | 0.25  | 0.22                |
| >10mm<br>≤ 16mm                |                                |                  | 0.21            | 0.19  | 0.19  | 0.19  | 0.25  | 0.23  | 0.23  | 0.27  | 0.22  | 0.22                |
| >16 mm<br>≤ 40mm               |                                |                  | 0.25            | 0.23  | 0.23  | 0.23  | 0.27  | 0.25  | 0.25  | 0.27  | 0.24  | 0.22 <sup>(2)</sup> |
| >40mm                          |                                |                  | -               | 0.23  | 0.27  | 0.23  | 0.27  | 0.25  | 0.25  | 0.27  | 0.24  | 0.24                |
| P% <b>máx</b>                  |                                |                  | 0.065           | 0.060 | 0.055 | 0.050 | 0.060 | 0.055 | 0.050 | 0.060 | 0.055 | 0.050               |
| S% <b>máx</b>                  |                                |                  | 0.065           | 0.060 | 0.055 | 0.050 | 0.060 | 0.055 | 0.050 | 0.060 | 0.055 | 0.050               |
| N <sub>2</sub> (4)% <b>máx</b> |                                |                  | 0.009           | 0.010 | 0.010 | -     | 0.010 | 0.010 | -     | 0.010 | 0.010 | -                   |

1) E: Efervescente; NE: No efervescente, sin elementos fijadores de N<sub>2</sub>; K: Calmado, para conseguir grano fino, mediante elementos fijadores de N<sub>2</sub> (por ejemplo: Al > 0.020%).

2) Hasta espesor 30 mm. Para espesor > 30mm: 0.22% sobre colada; 0.24% sobre producto.

3) Puede admitirse máximo de N<sub>2</sub>: 0.010; 0.011; 0.012. En aceros fabricados en horno eléctrico el límite es 0.012%. Si el máximo de P se reduce en: 0.005; 0.010; 0.015.

4) Puede admitirse máximo de N<sub>2</sub>: 0.011; 0.012. En aceros fabricados en horno eléctrico el límite es 0.015%. Si el máximo de P se reduce en: 0.05; 0.010.

5) En los aceros de tipo A52 se exige además: Si máximo 0.55%; M<sub>n</sub> máximo 1.60%.

### 2.1.4 Garantía de las características

El fabricante garantiza las características mecánicas y la composición química de los productos laminados que suministra, es decir, garantiza que cumplen todas las condiciones que, para la correspondiente clase de acero, se especifican en las tablas 2.1.2 y 2.1.3 cuando los ensayos se han realizado según lo indicado en 2.1.5.

Esta garantía se materializa mediante el marcado que perceptivamente deben llevar los productos según 2.1.6.

El consumidor puede, a costa suya, encargar a la fábrica, o a un laboratorio oficial, o acreditado en el área técnica correspondiente, que realice ensayos o análisis químicos y extienda el documento que corresponda con los resultados obtenidos.

### 2.1.5 Condiciones de suministro y recepción

#### 2.1.5.1 Suministro de los productos

Las condiciones técnicas de suministro de los productos serán objeto de comercio entre el consumidor y el fabricante, y se ajustarán a lo que se establece en esta norma y en las condiciones generales de la norma UNE 36 007, en todo lo que no contradiga a la presente.

Los productos no presentarán defectos internos o externos que perjudiquen a su correcta utilización.

Los fabricantes, para ofrecer la garantía de las características de 2.1.4, realizarán sobre las coladas y sobre los productos laminados los ensayos que juzguen precisos y en la forma que crean conveniente.

Los ensayos de recepción que, según se indica en 2.1.4, el consumidor puede encargar a cada partida para comprobar el cumplimiento de la garantía, se realizarán dividiendo la partida en unidades de inspección de acuerdo con 2.1.5.2, tomando las muestras en cada unidad de inspección según 2.1.5.3, realizando los ensayos según 2.1.5.4, 2.1.5.5 y 2.1.5.6, y efectuando, en su caso, los análisis químicos de acuerdo con 2.1.5.7.

#### 2.1.5.2 Composición de las unidades de inspección

Si sobre una partida se realizan ensayos de recepción, esta se dividirá en unidades de inspección según la norma UNE 36 080 (EN 10 025).

Cada unidad de inspección se compondrá de productos de la misma serie (2.1.6.2) y de la misma clase de acero (2.1.1) tales que sus espesores, en el lugar de la muestra para el ensayo de tracción, estén dentro de uno de los siguientes grupos: hasta 16 mm, entre 16 y 40 mm, mayor de 40 mm.

El peso de cada unidad de inspección, salvo acuerdo en contrario, lo fijará el consumidor, pero no será mayor que 20 t.

#### 2.1.5.3 Toma de muestras



Las muestras para preparación de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos, o para los análisis químicos, se tomarán de productos de la unidad de inspección sacados al azar, según las normas UNE 36 300 y UNE 36 400.

Las probetas para el ensayo de tracción serán en general de sección rectangular, con anchura no mayor que 30 mm y espesor igual al del producto o que 30 mm en los de espesor mayor, rebajando por una sola cara. En redondos y en productos de espesor mayor que 40 mm se permite utilizar probetas de sección circular.

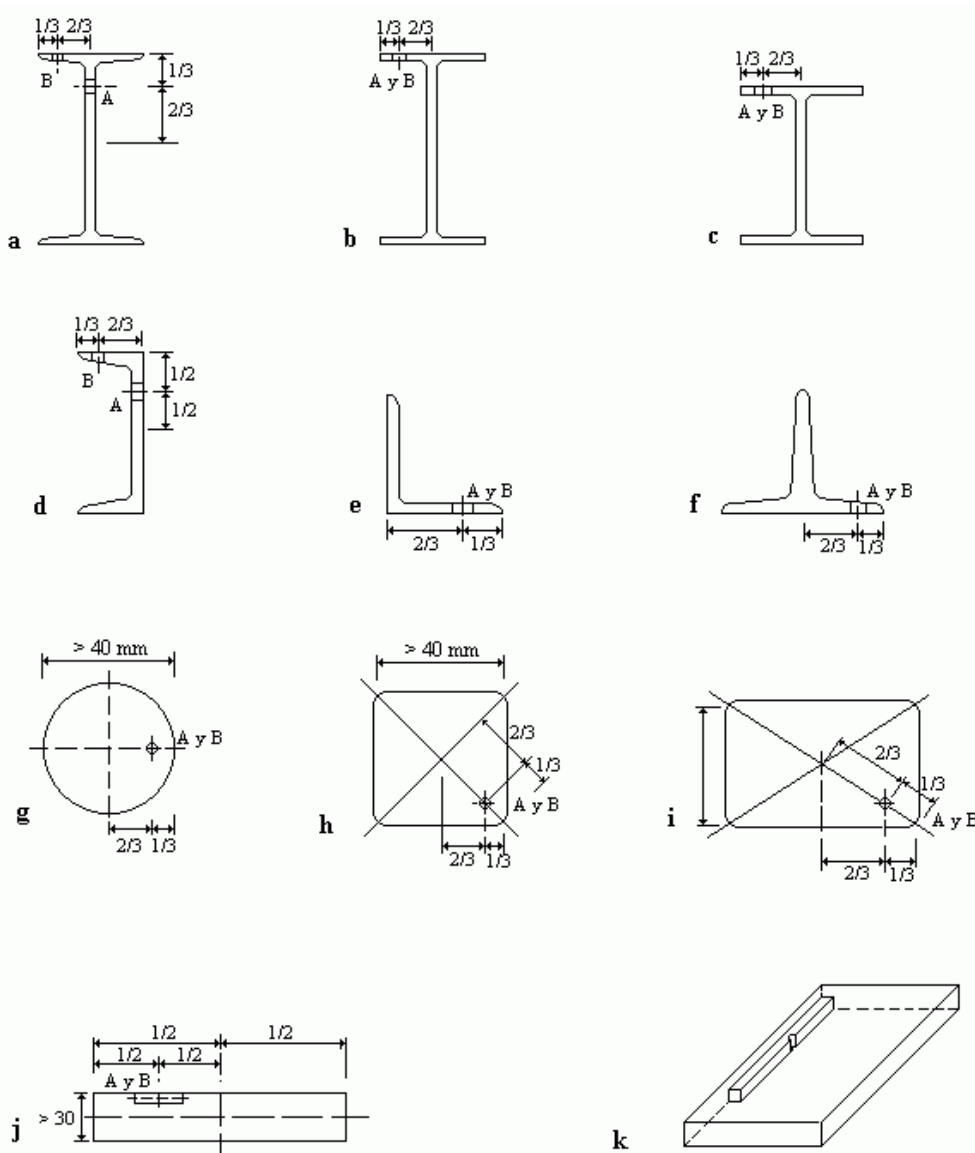
En todos los productos, excepto chapa, las probetas serán longitudinales (eje en la dirección del laminado), tomadas de la forma siguiente: en perfiles, de los lugares A de la figura 2.1.5.3a, b, c, d, e y f; en redondos, cuadrados y rectangulares, si el espesor no es mayor que 40 mm, de cualquier lugar, y si es mayor, de los lugares A de las figuras 2.1.5.3g, h, e, i; en rectangulares de ancho mayor que 150 mm, del lugar A de la figura 2.1.5.3j.

En chapa las probetas serán transversales (eje perpendicular a la dirección de laminado), tomadas del lugar A de la figura 2.1.5.3f.

Las probetas para el ensayo de doblado serán rectangulares, análogas a las del ensayo de tracción, excepto en redondos, que serán un trozo de producto cuando su diámetro no sea mayor que 30 mm, y si es mayor puede rebajarse por maquinado hasta un espesor no menor que 20 mm.

Las probetas para ensayo de resiliencia serán longitudinales, tomadas de los lugares B de las figuras 2.1.5.3a, b, c, d, e, f, g, h, i y j con una cara lateral lo más próxima posible a la cara del producto, y la arista de la entalladura perpendicular a esta cara, como se indica en la figura 2.1.5.3k.

Para los análisis químicos se tomarán muestras de los lugares B de las figuras 2.1.5.3a, b, c, d, e, f, g, h, i y j, dividiendo cada muestra en tres, una para ensayar en el laboratorio del fabricante, otra para entregar al consumidor, y una tercera para realizar el ensayo de contraste en un laboratorio oficial o acreditado en el área técnica correspondiente si fuera preciso.



**Figura 2.1.5.3 Toma de muestras**

#### 2.1.5.4 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizará según la norma UNE 7 474-1 (EN 10 002-1). Se ensayará una probeta determinando solamente las características: límite elástico  $\sigma_e$ , resistencia a tracción  $\sigma_t$  y alargamiento de rotura  $\delta$ .

#### 2.1.5.5 Ensayo de doblado

Se realizará el ensayo de doblado definido en la norma UNE 7 472, sobre el mandril que figura en la tabla de características para la clase de acero.

La cara externa de la probeta doblada será siempre una cara de laminación. Se ensayará una probeta, siendo aceptable el resultado si no aparecen grietas.

#### 2.1.5.6 Ensayo de resiliencia

Se realizará según la norma UNE 7 475-1 (EN 10 045-1), empleando la probeta A, con entalladura en V a 45°, de 10 mm de anchura.

Se ensayarán tres probetas, elaboradas con muestras tomadas contiguas en un producto, adoptando como resiliencia  $p$ , la medida de la energía absorbida en los tres ensayos.

En productos de espesor menor que 10 mm, se realizará el ensayo cuando se especifique, detallando la probeta que se va a emplear y, previo acuerdo, el valor de la resiliencia garantizada, para esta probeta.

#### 2.1.5.7 Análisis químicos

Los análisis químicos sobre el producto se realizarán según las normas siguientes.

Carbono: UNE 7 014, UNE 7 331, UNE 7 349.  
Fósforo: UNE 7 029.  
Azufre: UNE 7019.  
Nitrógeno: UNE 36 317-1.  
Silicio: UNE 7 028.  
Manganeso: UNE 7027.

Cuando exista más de un método de ensayo puede elegirse el más conveniente.

#### 2.1.5.8 Dureza Brinell

El ensayo de dureza Brinell no forma parte de los ensayos de recepción, pero por su sencillez puede utilizarse por el consumidor con carácter orientativo. Se realizará según la norma UNE 7 422, mediante bola de 10 mm y carga de 3.000 kp.

En función del diámetro de la huella se determina el número HB según la tabla 2.1.5.8, en la que figura además la resistencia a tracción equivalente, que tiene carácter orientativo.

Tabla 2.1.5.8 Dureza Brinell

| Diámetro de la huella mm | Número HB | Resistencia a tracción equivalente kp/mm <sup>2</sup> | Error aproximado en la equivalencia kp/mm <sup>2</sup> |
|--------------------------|-----------|---|--|
| 4.21                     | 205       | 70  | 5  |
| 4.26                     | 200       | 69  | 4  |
| 4.32                     | 195       | 67  | 4  |
| 4.37                     | 190       | 65  | 4  |
| 4.42                     | 185       | 63  | 4  |
| 4.48                     | 180       | 62  | 4  |
| 4.54                     | 175       | 60  | 3  |
| 4.60                     | 170       | 58  | 5  |
| 4.67                     | 165       | 56  | 3  |
| 4.74                     | 160       | 55  | 3  |
| 4.81                     | 155       | 53  | 3  |
| 4.88                     | 150       | 51  | 3  |
| 4.96                     | 145       | 50  | 3  |
| 5.04                     | 140       | 49  | 3  |
| 5.13                     | 135       | 47  | 3  |
| 5.22                     | 130       | 45  | 3  |
| 5.31                     | 125       | 44  | 2  |
| 5.42                     | 120       | 42  | 2  |
| 5.52                     | 115       | 40  | 2  |
| 5.63                     | 110       | 39  | 2  |
| 5.75                     | 105       | 37  | 2  |
| 5.87                     | 100       | 35  | 2  |
| 6.02                     | 95        | 33  | 2  |
| 6.16                     | 90        | 32  | 2  |
| 6.32                     | 85        | 30  | 2  |
| 6.48                     | 80        | 28  | 2  |

#### 2.1.5.9 Resultado de los ensayos

Si los resultados de todos los ensayos de recepción de una unidad de inspección cumplen lo prescrito, ésta es aceptable.

Si algún resultado no cumple lo prescrito, habiéndose observado en el correspondiente ensayo alguna anomalía no imputable al material como defecto en la mecanización de la probeta, irregular funcionamiento de la máquina de ensayo, defectuoso montaje de la probeta en la máquina, etc., el ensayo se considera nulo y debe repetirse correctamente sobre nueva probeta. Si algún resultado no cumple lo prescrito habiéndose efectuado el correspondiente ensayo correctamente, se realizarán dos contraensayos, según lo prescriben las normas UNE 36 007 y UNE 36 080, sobre probetas tomadas de dos piezas distintas de la unidad de inspección que se está ensayando. Si los dos resultados de los contraensayos cumplen lo prescrito, la unidad de inspección es aceptable; en caso contrario, es rechazable.

2.1.6 Productos laminados

2.1.6.1 Series de productos

Los productos de acero laminado en caliente comprendidos en esta Parte 2 se agrupan en series por las características geométricas de su sección. Las series utilizadas actualmente se indican en la tabla 2.1.6.1 en la que se incluye, en forma de ejemplo, la notación que se usará en los planos y en los escritos en que se describan estos productos.

No se prescribe la utilización de productos de estas series con otras dimensiones, o de productos de nuevas series con otras dimensiones que puedan fabricarse en el futuro.

Tabla 2.1.6.1

| Serie       | Notación(como ejemplo) |             |
|-------------|------------------------|-------------|
| Perfil IPN  | IPN                    | 340         |
| Perfil IPE  | IPE                    | 500         |
| Perfil HEB  | HEB                    | 180         |
| Perfil HEA  | HEA                    | 220         |
| Perfil HEM  | HEM                    | 280         |
|             |                        |             |
| Perfil UPN  | UPN                    | 200         |
| Perfil L    | L                      | 40.4        |
| Perfil LD   | L                      | 120.80.8    |
| Perfil T    | T                      | 50.6        |
|             |                        |             |
| Redondo     | ∅                      | 8           |
| Cuadrado    | ≠                      | 20          |
| Rectangular | ≠                      | 100.20      |
| Chapa       | ≠                      | 1800.8.8000 |

2.1.6.2 Marcado de los productos

Todo perfil laminado llevará las siglas de la fábrica, marcadas a intervalos, en relieve producido con los rodillos de laminación.

Los demás productos, redondos, cuadrados, rectangulares y chapa, irán igualmente marcados con las siglas de la fábrica mediante procedimiento elegido por el fabricante.

El símbolo de la clase de acero irá marcado además en todo producto, pudiendo hacerse en el laminado, o mediante troquel o pintura indeleble.

2.1.6.3 Tolerancias en los productos

Las tolerancias en las dimensiones, la configuración y el peso son las establecidas en la tabla 2.1.6.3

Son admisibles los defectos superficiales cuando, suprimidos por esmerilado, el perfil cumple las tolerancias.

Por convenio entre fabricante y consumidor pueden establecerse tolerancias más estrictas para el caso de aplicaciones especiales.

Tabla 2.1.6.3A Tolerancias en los productos

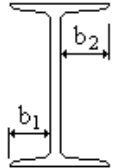
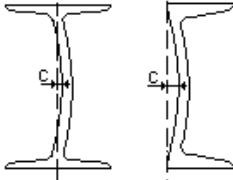
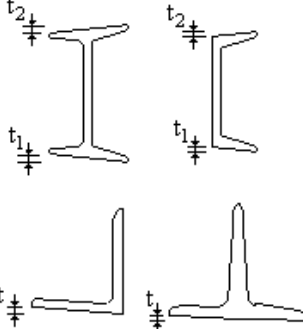
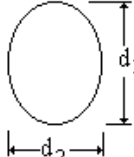
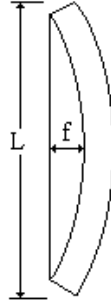
| Perfil<br>mm |           | Tolerancias dimensionales en mm (figura debajo) |          |              |                           |                |              |             | Tolerancias en<br>longi. L |              | Toler. de<br>flecha<br>f<br>mm | Tolerancias<br>en peso<br>% |
|--------------|-----------|---|----------|--------------|---------------------------|----------------|--------------|-------------|----------------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
|              |           | Altura<br>h                                     | Ala<br>b | Espesor<br>e | Espesor<br>e <sub>1</sub> | Asimetría<br>S | Curvado<br>C | Desvio<br>f | Long.<br>m                 | Toler.<br>mm |                                |                             |
| IPN          | 80 a 140  | ± 2.0   | ± 1.5    | ± 0.5        | -0.5                      | 1.0            | 1.0          | 1.0         | < 14                       | ± 50         | h≤ 400<br>0.0015L              | En el lote ± 4              |
|              | 160 a 200 | ± 2.0   | ± 2.0    | ± 0.5        | -1.0                      | 1.0            | 1.0          | 1.4         |                            |              |                                |                             |
|              | 220 a 300 | ± 3.0   | ± 2.5    | ± 0.6        | -1.0                      | 1.3            | 1.5          | 1.9         |                            |              |                                |                             |
|              | 320 a 400 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 0.8        | -1.5                      | 1.5            | 1.5          | 2.3         | ≥ 14                       | ± 75         | h>400<br>0.0010L               | En cada perfil ± 6          |
|              | 450 a 600 | ± 4.0   | ± 3.0    | ± 1.0        | -1.5                      | 2.0            | 2.0          | 3.2         |                            |              |                                |                             |
| IPE          | 80 a 120  | ± 2.0   | ± 2.0    | ± 0.5        | ± 1.0                     | 1.5            | 1.0          | 1.0         | < 14                       | ± 50         | h≤ 360<br>0.0015L              | En el lote ± 4              |
|              | 140 a 180 | +3 -2   | +3 -2    | ± 0.8        | ± 1.5                     | 2.5            | 1.5          | 1.4         |                            |              |                                |                             |
|              | 200 a 270 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 0.8        | ± 1.5                     | 2.5            | 1.5          | 2.0         |                            |              |                                |                             |
|              | 300 a 400 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 1.0        | ± 2.0                     | 3.5            | 1.5          | 2.7         | ≥ 14                       | ± 75         | h>360<br>0.0010L               | En cada perfil ± 6          |
|              | 450 a 500 | ± 4.0   | ± 4.0    | ± 1.0        | ± 2.0                     | 3.5            | 2.0          | 3.0         |                            |              |                                |                             |
| HEB<br>HEA   | 100 a 160 | +4 -2   | ± 3.0    | ± 1.0        | ± 1.5                     | 2.5            | 1.5          | 1.6         | < 14                       | ± 50         | h≤ 400<br>0.0015L              | En el lote ± 4              |
|              | 180 a 220 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 1.0        | ± 1.5                     | 2.5            | 1.5          | 2.2         |                            |              |                                |                             |
|              | 240 a 260 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 1.0        | ± 2.0                     | 2.5            | 1.5          | 3.1         |                            |              |                                |                             |
|              | 280 a 400 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 1.5        | ± 2.0                     | 3.0            | 1.5          | 3.6         | ≥ 14                       | ± 75         | h>400<br>0.0010L               | En cada perfil ± 6          |
|              | 450 a 500 | ± 4.0   | ± 3.0    | ± 1.5        | ± 2.0                     | 3.0            | 2.0          | 3.6         |                            |              |                                |                             |
|              | 550 a 600 | ± 5.0   | ± 3.0    | ± 1.5        | ± 3.0                     | 5.0            | 2.0          | 3.6         |                            |              |                                |                             |
| HEM          | 100 a 140 | +4 -2   | ± 3.0    | ± 1.0        | ± 2.0                     | 2.5            | 1.5          | 1.5         | < 14                       | ± 50         | h≤ 400<br>0.0015L              | En el lote ± 4              |
|              | 160 a 220 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 1.0        | ± 2.0                     | 2.5            | 1.5          | 2.3         |                            |              |                                |                             |
|              | 240 a 260 | ± 3.0   | ± 3.0    | ± 1.5        | ± 2.0                     | 2.5            | 1.5          | 3.2         |                            |              |                                |                             |

|         |                     |                |                |                |                |            |     |            |      |      |                                       |                            |         |        |     |  |  |
|---------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|-----|------------|------|------|---------------------------------------|----------------------------|---------|--------|-----|--|--|
|         | 280 a 360           | ± 4.0          | ± 3.0          | ± 1.5          | ± 2.5          | 3.5        | 1.5 | 3.7        | ≥ 14 | ± 75 | h>400<br>0.0010L                      | En cada perfil ± 6         |         |        |     |  |  |
|         | 400 a 450           | ± 5.0          | ± 3.0          | ± 1.5          | ± 2.5          | 3.5        | 2.0 | 3.7        |      |      |                                       |                            |         |        |     |  |  |
|         | 500 a 600           | +8 -6          | ± 3.0          | ± 1.5          | ± 3.0          | 5.0        | 2.0 | 3.7        |      |      |                                       |                            |         |        |     |  |  |
| UPN     |                     |                |                |                |                |            |     |            | <14  | ± 50 | 0.0015L                               | En el lote ± 5             |         |        |     |  |  |
|         | 80 a 200            | ± 2.0          | ± 1.5          | ± 0.5          | -0.5           | -          | 1.0 | 1.0        |      |      |                                       |                            |         |        |     |  |  |
|         | 220 a 300           | ± 3.0          | ± 2.0          | ± 0.5          | -1.0           | -          | 1.5 | 1.5        | ≥ 14 | ± 75 |                                       | En cada perfil ± 6         |         |        |     |  |  |
|         |                     |                |                |                |                |            |     |            |      |      |                                       |                            |         |        |     |  |  |
| L<br>LD | 40 a 50             | ± 1.0          | -              | ± 0.4          | -              | -          | -   | 1.0        | <14  | ± 50 | a≤ 150<br>0.0040L<br>a>150<br>0.0025L | En el lote<br>En el perfil | e en mm |        |     |  |  |
|         | 60 a 70             | ± 1.5          | -              | ± 0.6          | -              | -          | -   | 2.0        |      |      |                                       |                            | 4       | 5-6    | >7  |  |  |
|         | 80 a 100            | ± 2.0          | -              | ± 0.8          | -              | -          | -   | 2.0        |      |      |                                       |                            |         |        |     |  |  |
|         | 120 a 150           | ± 2.5          | -              | ± 1.0          | -              | -          | -   | 3.0        | ≥ 14 | ± 75 |                                       |                            | ± 8     | ± 5    | ± 4 |  |  |
|         | 180 a 200           | ± 3.0          | -              | ± 1.2          | -              | -          | -   | 3.0        |      |      |                                       |                            | ±10     | ±6     | ±5  |  |  |
| T       | 40 a 50<br>60 a 100 | ± 1.0<br>± 1.5 | ± 1.0<br>± 1.5 | ± 0.5<br>± 0.8 | ± 0.5<br>± 0.8 | 1.0<br>1.0 | -   | 1.0<br>2.0 | <14  | ± 50 | 0.0040L                               | En el lote<br>En el perfil | h en mm |        |     |  |  |
|         |                     |                |                |                |                |            |     |            |      |      |                                       |                            | 40-60   | 60-100 |     |  |  |
|         |                     |                |                |                |                |            |     |            | ≥ 14 | ± 75 |                                       |                            | ± 5     | ± 4    |     |  |  |
|         |                     |                |                |                |                |            |     |            |      |      |                                       |                            | ± 6     | ± 6    |     |  |  |

Tabla 2.1.6.3B Tolerancias en los productos

| Perfil<br>mm |              | Tolerancias dimensionales en mm (figura inferior) |   |               |                           |                |              |                          | Tolerancias en<br>longitud L    |                   | Toler.<br>de flecha<br>f mm   | Tolerancias<br>en peso % |                           |            |                  |     |
|--------------|--------------|---|---|---------------|---------------------------|----------------|--------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------|------------------|-----|
|              |              | Altura<br>h                                       | Ala<br>b  | Espesor<br>e  | Espesor<br>e <sub>1</sub> | Asimetría<br>S | Curvado<br>C | Desvío<br>t              | Long.<br>m                      | Toler.<br>mm      |                               |                          |                           |            |                  |     |
| Producto mm  |              |   | Tolerancias dimensionales en mm (fig. inferior) |               |                           |                |              |                          |                                 | <12               | ± 75<br>0                     | d>40<br><br>0.0040L      | En el lote<br>En el prod. | d en mm    |                  |     |
| Redondo      | Diám. d      |   | Diámetro  | Ovalidad u    |                           |                |              |                          |                                 |                   |                               |                          |                           |            |                  |     |
|              | 6 a 14       |   | ± 0.4   | 0.6           |                           |                |              |                          | 6                               |                   |                               |                          |                           | 8-14       | >14              |     |
|              | 16 a 25      |   | ± 0.5   | 0.8           |                           |                |              |                          | ± 8                             |                   |                               |                          |                           | ± 6        | ± 4              |     |
|              | 28 a 32      |   | ± 0.6   | 1.0           |                           |                |              |                          | ± 10                            |                   |                               |                          |                           | ± 8        | ± 6              |     |
|              | 36 a 50      |   | ± 0.8   | 1.2           | ≥ 12                      | ± 100<br>0     |              |                          |                                 |                   |                               |                          |                           |            |                  |     |
| Cuadrado     | Lado d       |   | Lado d  | Redondeo<br>r | Revirado α                |                | <12          | ± 75<br>0                | d>40<br><br>0.0040L             | En el lote        | d en mm                       |                          |                           |            |                  |     |
|              | 6 a 14       |   | ± 0.4   | 1.0           |                           |                |              |                          |                                 |                   | 6                             | 8-14                     | >14                       |            |                  |     |
|              | 16 a 25      |   | 0.5   | 1.5           | En el lote                |                |              |                          |                                 |                   | ± 8                           | ± 6                      | ± 4                       |            |                  |     |
|              | 28 a 32      |   | ± 0.6   | 2.0           |                           |                |              |                          |                                 |                   | ± 10                          | ± 8                      | ± 6                       |            |                  |     |
|              | 36 a 50      |   | ± 0.8   | 2.5           |                           |                |              |                          |                                 |                   | En el prod.                   | ± 10                     | ± 8                       | ± 6        |                  |     |
| Rectángulo   | Espesor<br>e | Anchura<br>b                                      | Espesor<br>e                                    | Anchura<br>b  |                           |                |              | <12                      | ± 75<br>0                       | b≤ 150<br>0.0040L | En el lote<br>± 4             |                          |                           |            |                  |     |
|              | 4 a 10       |   | 20 a 75   | ± 0.2         |                           |                |              |                          |                                 |                   | ± 1.0                         | En el producto<br>± 6    |                           |            |                  |     |
|              | 12 a 20      |   | 80 a 140  | ± 0.3         |                           |                |              |                          |                                 |                   | ± 1.2                         |                          |                           |            |                  |     |
|              | 25 a 30      |   | 150 a 200                                       | ± 0.4         |                           |                |              |                          |                                 |                   | ± 1.5                         |                          |                           |            |                  |     |
|              | 35 a 40      |   | 300 a 400                                       | ± 0.5         |                           |                |              |                          |                                 |                   | ± 1.8                         |                          | ≥ 12                      | ± 100<br>0 | b>150<br>0.0025L |     |
| Chapa        | Espesor<br>e | Anchura<br>b                                      | Espesor<br>e                                    | Anchura<br>b  |                           |                |              | ≤ 4<br><br>>4<br><br>>10 | +30 0<br><br>+40 0<br><br>+50 0 | e b               | <2000<br>2000 a 3000<br>>3000 |                          |                           |            |                  |     |
|              | 4 a 10       |   | <2000   | - 0.3         |                           |                |              |                          |                                 |                   |                               | + 20                     | 4 a 10                    | ± 5        | ± 7.0            | ± 9 |
|              | 12 a 20      |   | 2000-3000                                       | - 0.4         |                           |                |              |                          |                                 |                   |                               | + 25                     | 12 a 20                   | ± 4        | ± 5.0            | ± 6 |
|              | 25 a 30      |   | >3000   | - 0.6         |                           |                |              |                          |                                 |                   |                               | + 30                     | 25 a 30                   | ± 3        | ± 4.0            | ± 5 |
|              | 35 a 40      |   |   | - 0.8         |                           |                |              |                          |                                 |                   |                               |                          | 35 a 40                   | ± 3        | ± 3.5            | ± 4 |

Las tolerancias en longitud se refieren al producto con corte en caliente. Si se especifica corte en frío serán de ± 5 mm

|  |  |   |   |   |
|--|--|---|---|---|
| <p>Asimetría S</p> $S = \frac{b_1 - b_2}{2}$  | <p>Curvado C</p>  | <p>Desvío t = t<sub>1</sub> ≥ t<sub>2</sub></p>  | <p>Ovalidad u en redondos u = d<sub>1</sub>-d<sub>2</sub></p>  | <p>Flecha f</p>  |
|--|--|---|---|---|

## 2.2 Perfiles huecos de acero

### 2.2.1 Acero para perfiles huecos

El acero comercial para perfiles huecos incluidos en esta norma es el acero A42b, no aleado, según la clasificación de la norma UNE 36 004 (EN 10 020), teniendo en cuenta lo indicado en 2.0.

La estructura del acero será homogénea, conseguida por un buen proceso en la fabricación, y un correcto laminado y conformación estando exenta de defectos, como el rechue, que perjudique a su correcto uso.

### 2.2.2 Características mecánicas del acero

Las características mecánicas del acero A42b de la chapa empleada para la fabricación de perfiles huecos conformados en frío son las indicadas en la tabla 2.2.2.A.

Las propiedades mecánicas de los perfiles conformados en frío se modifican en parte por el proceso de fabricación por lo que el fabricante garantizará las propiedades indicadas en la tabla 2.2.2.B.

Las características mecánicas de los perfiles huecos laminados en caliente se indican en la UNE EN 10 210-1.

**Tabla 2.2.2.A Características mecánicas de la chapa de acero**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Límite elástico        | $\sigma_e \geq 26 \text{ kp/mm}^2$                         |
| Resistencia a tracción | $\sigma_r \geq 42 \text{ kp/mm}^2 \leq 53 \text{ kp/mm}^2$ |
| Alargamiento de rotura | $\delta \geq 24\%$   |
| Doblado                | Satisfactorio realizando el ensayo según UNE 7 472         |

Salvo acuerdo en contrario, la chapa no será objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen 2 kp/mm<sup>2</sup> de menos.

**Tabla 2.2.2.B Características mecánicas de los perfiles huecos conformados en frío.**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Límite elástico        | $\sigma_e \geq 26 \text{ kp/mm}^2$                 |
| Resistencia a tracción | $\sigma_r \geq 42 \text{ kp/mm}^2$                 |
| Alargamiento de rotura | $\delta \geq 20\%$                                 |
| Doblado                | Satisfactorio realizando el ensayo según UNE 7 472 |
| Aplastamiento          | Satisfactorio realizando el ensayo según UNE 7 208 |

Salvo acuerdo en contrario, los perfiles huecos no serán objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen 2 kp/mm<sup>2</sup> de menos.

#### Ensayo de tracción:

Las tres primeras características se determinarán mediante ensayo de tracción, realizado en los perfiles huecos redondos, cuadrados y rectangulares según la norma UNE 7 474-1(EN 10 002-1), sobre probeta cortada longitudinalmente en el centro de la cara mayor, excluyendo la zona deformada por la curvatura y la soldadura si existe.

#### Ensayo de doblado:

El ensayo de doblado, exigible a los perfiles huecos cuadrados y rectangulares, se realizará según la norma UNE 7 472 empleando como probeta una tira cortada longitudinalmente del perfil, de espesor e y anchura 5e, que no incluya la soldadura, si existe, realizando el ensayo sobre mandril de diámetro 2e.

#### Ensayo de aplastamiento:

El ensayo de aplastamiento, exigible solamente a los perfiles huecos redondos, se realizará según la norma UNE 7 208 situando la soldadura de la probeta, si existe, equidistante de las generatrices de apoyo en las placas. El ensayo consta de dos etapas y debe

ser satisfactorio en ambas.

En la primera etapa, para comprobar la ductilidad de la soldadura, se acercan las placas hasta la distancia  $2d/3$ , siendo  $d$  el diámetro del perfil, y no debe apreciarse grieta alguna en la cara exterior ni en la interior de la soldadura.

En la segunda etapa, para comprobar la ductilidad del acero se continúan acercando las placas hasta la distancia  $4e$ , siendo  $e$  el espesor del perfil, y no debe apreciarse grieta alguna salvo en la zona de la soldadura.

### 2.2.3 Composición química

Los límites garantizados por el fabricante para la composición química del acero conformado en frío se dan en la tabla 2.2.3.

La composición química de los perfiles conformados en caliente se especifica en la UNE EN 10 210-1.

Los análisis químicos sobre el producto se realizan según las normas siguientes:

|                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| Carbono C                | UNE 7 014, UNE 7 331 ó UNE 7 349 |
| Azufre S                 | UNE 7 019                        |
| Fósforo P                | UNE 7 029                        |
| Nitrógeno N <sub>2</sub> | UNE 36 317-1                     |

Cuando exista más de un método de ensayo puede elegirse el más conveniente.

**Tabla 2.2.3. Composición química**

| <b>Sobre</b> | <b>Carbono C<br/>% máximo</b> | <b>Azufre S<br/>% máximo</b> | <b>Fósforo P<br/>% máximo</b> | <b>Nitrógeno N<sub>2</sub><br/>% máximo</b> |
|--------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Colada       | 0.22                          | 0.050                        | 0.050                         | 0.009                                       |
|              |                               |                              | 0.045                         | 0.010                                       |
|              |                               |                              | 0.040                         | 0.011                                       |
|              |                               |                              | 0.035                         | 0.012                                       |
| Producto     | 0.25                          | 0.060                        | 0.060                         | 0.010                                       |
|              |                               |                              | 0.055                         | 0.011                                       |
|              |                               |                              | 0.050                         | 0.012                                       |

El límite de N<sub>2</sub> depende del contenido de P, con los valores que figuran en cada fila.

En los aceros al horno eléctrico el límite máximo N<sub>2</sub>, en todos los casos, es de 0.012 por 100 sobre colada y de 0.015 por 100 sobre producto.

### 2.2.4 Suministro de los perfiles huecos

Las condiciones técnicas de suministro de los perfiles conformados en frío serán objeto de convenio entre el consumidor y el fabricante y se ajustarán a lo que establece esta norma y a las condiciones generales de la UNE EN 10 021, y para los perfiles huecos conformados en caliente se seguirá la UNE EN 10 210-1.

El fabricante garantiza las características mecánicas y la composición química de los perfiles huecos que suministra con su marca, es decir, garantiza que cumplen todas las condiciones que se especifican en las tablas 2.2.2.B y 2.2.3 cuando los ensayos se han realizado según lo indicado. Será objeto de convenio el caso excepcional de que el suministro se realice con certificado de ensayos o de recepción.

Los fabricantes, para ofrecer estas garantías, realizarán los ensayos que juzguen precisos y en la forma que crean conveniente.

Los perfiles huecos se suministran habitualmente en longitudes de 6 m, 8 m y 12 m con la tolerancia normal establecida en la tabla 2.2.7. El consumidor puede solicitar el suministro en longitudes especificadas con la tolerancia normal o con la tolerancia restringida que figura también en la misma tabla y, previo convenio, con otras tolerancias.

No se admitirán perfiles huecos suministrados con soldadura transversal.

### 2.2.5 Ensayos de recepción

Los ensayos de recepción que, en casos excepcionales, el consumidor puede realizar para comprobar el cumplimiento de las garantías del fabricante, se realizarán dividiendo la partida en unidades de inspección.

#### Unidades de inspección:

Cada unidad de inspección se compondrá de perfiles huecos de la misma serie (2.2.6) tales que sus espesores estén dentro de uno de los siguientes grupos:

Hasta 4 mm.

Mayores de 4 mm.

El peso de cada unidad de inspección lo fijará el consumidor, pero no será mayor que 10 t.

#### Toma de muestras:

Las muestras para preparación de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos, o para los análisis químicos, se tomarán de perfiles huecos de cada unidad de inspección, elegidos al azar según las indicaciones de las normas UNE 36 300 y UNE 36 400.

#### Resultado de los ensayos:

Si los resultados de todos los ensayos de recepción de una unidad de inspección cumplen lo prescrito, ésta es aceptable.

Si algún resultado no cumple lo prescrito, habiéndose observado en el correspondiente ensayo alguna anomalía no imputable al material, como defecto de la mecanización de la probeta, irregular funcionamiento de la máquina de ensayo, defectuoso montaje de la probeta en la máquina, etc., el ensayo se anula y vuelve a realizarse correctamente sobre nueva probeta.

Si algún resultado no cumple lo prescrito habiéndose efectuado el correspondiente ensayo correctamente, se realizarán dos contraensayos sobre probetas tomadas de dos perfiles huecos distintos de la unidad de inspección que se está ensayando, elegidos al azar. Si los dos resultados de estos contraensayos cumplen lo prescrito, la unidad de inspección es aceptable; en caso contrario, es rechazable.

### 2.2.6 Series de perfiles huecos

En la tabla 2.2.6. figuran, a título informativo, series normalizadas para los perfiles conformados en frío, en donde se incluyen, en forma de ejemplo, las notaciones para usar en los planos y en los documentos en que se describan estos productos. La referencia a estas series no excluye la posible utilización de otras series normalizadas.

En las tablas del Anejo 2.A.2. figuran a título informativo datos sobre perfiles que se utilizan usualmente.

Todo perfil hueco llevará las siglas de la fábrica y la del acero marcadas indeleblemente mediante procedimiento elegido por el fabricante.

**Tabla 2.2.6.- Series de perfiles huecos**

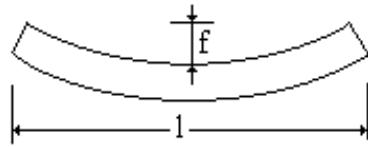
| Serie                    | Notación (en forma de ejemplo) |
|--------------------------|--------------------------------|
| Perfil hueco redondo     | Ø 100.4                        |
| Perfil hueco cuadrado    | # 80.3                         |
| Perfil hueco rectangular | # 160.120.3                    |

### 2.2.7 Tolerancias en los perfiles huecos

Las tolerancias en las dimensiones, la configuración y el peso de los perfiles huecos conformados en frío serán las establecidas en la tabla 2.2.7.

Son admisibles los defectos superficiales cuando, suprimidos por esmerilado, el espesor del perfil cumple las tolerancias.

Tabla 2.2.7.- Tolerancias en los perfiles huecos

| Diámetro d y lados a ó b   |               | Espesor e    |   | Longitud L    | Peso P         |
|--|---------------|--------------|---|---------------|----------------|
| Diámetro mm  | Tolerancia mm | Dimensión mm | Tolerancia mm   | Tolerancia mm | Tolerancia mm  |
| 40 a 60  | ± 0.5         | 2 y 3        | ± 0.25  | Norma         | En el lote     |
| 65 a 90  | ± 0.7         | 4 a 8        | ± 0.30  | +100          | ± 4            |
| 100 a 150  | ± 0.8         | -            | -   | -0            | -              |
| 150  | ± 1.0         | -            | -   | Restringida   | En el producto |
| -  | -             | -            | -   | +10           | ± 6            |
| -  | -             | -            | -   | -0            | -              |
| <div><p>Flecha f</p><p><math>f \leq 0.002\ l</math></p></div> |               |              | <div>En perfiles cuadrados y rectangulares :<br/>Ortogonalidad<br/>Tolerancia entre 80° y 92°<br/>Radio exterior r<br/>Tolerancias ± e<br/>Revirado<br/>Tolerancia 1° por m</div> |               |                |



## 2.3 Perfiles y placas conformados de acero

### 2.3.1 Acero para perfiles y placas conformados

El acero para los perfiles y placas conformados incluidos en esta norma es el acero conformado A37b, no aleado, según la clasificación de la norma UNE 36 004 (EN 10 020), teniendo en cuenta lo indicado en 2.0.

No se consideran incluidos los perfiles y placas conformados fabricados con otros aceros de características superiores a las del A37b, lo cual no impide que puedan utilizarse.

La estructura del acero será homogénea, conseguida por un buen proceso de fabricación y un correcto laminado y conformación, y estará exenta de defectos que perjudiquen a su correcto uso.

El acero puede fabricarse por cualquiera de los procedimientos usuales, conversión por soplado con oxígeno (proceso LD, etc.), horno eléctrico, Martín-Siemens y convertidor ácido o básico.

A petición del consumidor, al hacer el pedido, el fabricante indicará el procedimiento empleado.

La banda de acero empleada para conformar será laminada en caliente, con bordes redondeados de laminación o vivos de cizallado, recubierta o no.

### 2.3.2 Características mecánicas del acero

Las características mecánicas del acero A37b de los perfiles y placas conformados son las indicadas en la tabla 2.3.2.

Tabla 2.3.2 Características mecánicas del acero.

|                        |  |
|------------------------|--|
| Límite elástico        | $\sigma_e \geq 24 \text{ kp/mm}^2$                 |
| Resistencia a tracción | $\sigma_r \geq 37 \text{ kp/mm}^2$                 |
| Alargamiento de rotura | $\delta \geq 26\%$                                 |
| Doblado                | Satisfactorio realizando el ensayo según UNE 7 472 |

Salvo acuerdo en contrario, el acero no será objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen 3 kp/mm<sup>2</sup> de menos.

#### Ensayo de tracción:

Las tres primeras características se determinarán mediante ensayo de tracción, realizado según la norma UNE 7 474-1 (EN 10 002-1), según el espesor, sobre probeta cortada longitudinalmente en el centro de la cara plana mayor del perfil o placa, excluyendo la zona deformada por la curvatura.

#### Ensayo de doblado:

El ensayo de doblado se realizará según la norma UNE 7 472, empleando como probeta una tira cortada longitudinalmente del centro de la cara plana mayor del perfil o placa, de espesor e y anchura 5e, realizando el ensayo sobre el mandril de diámetro 2e.

### 2.3.3 Composición química

Los límites de composición química que garantiza el fabricante para el acero A37b de perfiles o placas conformados son los indicados en la tabla 2.3.3.

Tabla 2.3.3. Composición química.

| Sobre  | Carbono C<br>% máximo | Azufre S<br>% máximo | Fósforo P<br>% máximo | Nitrógeno N <sub>2</sub><br>% máximo |
|--------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Colada | 0.17                  | 0.050                | 0.050                 | 0.009                                |
|        |                       |                      | 0.045                 | 0.010                                |
|        |                       |                      | 0.040                 | 0.011                                |
|        |                       |                      | 0.035                 | 0.012                                |
|        |                       |                      | 0.060                 | 0.010                                |

|          |      |       |       |       |
|----------|------|-------|-------|-------|
| Producto | 0.21 | 0.060 | 0.055 | 0.011 |
|          |      |       | 0.050 | 0.012 |

El límite de N<sub>2</sub> depende del contenido de P, con los valores que figuran en cada fila.

En los aceros al horno eléctrico el límite máximo de N<sub>2</sub> en todos los casos es de 0.012 por 100 sobre colada y de 0.015 por 100 sobre producto.

#### 2.3.4 Suministro de los perfiles y placas conformados

Las condiciones técnicas de suministro de los perfiles y placas conformados serán objeto de convenio entre el consumidor y el fabricante; se ajustarán a lo que se establece en esta norma, y en las condiciones generales de la norma UNE 36 007, en todo lo que no contradiga a aquella.

El fabricante garantiza las características mecánicas y la composición química de los perfiles y placas conformados que suministra con su marca, es decir, garantiza que cumplen todas las condiciones que se especifican en las tablas 2.3.2 y 2.3.3, cuando los ensayos se han realizado según lo indicado en 2.3.2. Será objeto de convenio el caso excepcional de que el suministro se realice con certificado de ensayos o de recepción.

Las fábricas, para ofrecer estas garantías, realizarán los ensayos que juzguen precisos y en la forma en que crean conveniente.

Los perfiles conformados se suministran habitualmente en longitudes de 6 m con la tolerancia normal establecida en la tabla 2.3.7.A. El consumidor puede solicitar el suministro en longitudes especificadas, con la tolerancia normal o con la tolerancia restringida que figura también en la tabla 2.3.7.A y, previo convenio, con otras tolerancias.

Las placas y paneles conformados se suministrarán con las longitudes especificadas en el pedido, en general sin rebasar 12 m, con la tolerancia establecida en la tabla 2.3.7.B

#### 2.3.5 Ensayos de recepción

Los ensayos de recepción que, en casos excepcionales, el consumidor puede realizar para comprobar el cumplimiento de las garantías del fabricante se realizarán dividiendo la partida en unidades de inspección.

##### Unidades de inspección

Cada unidad de inspección se compondrá de perfiles o placas conformados de la misma serie (tablas 2.3.6.A y 2.3.6.B), cuyo peso lo fijará el consumidor, sin que sea mayor que 10t para perfiles, y sin que sea mayor del 3 por 100 del total del suministro para placas y paneles.

##### Toma de muestras

Las muestras para preparación de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos, o para los análisis químicos, se tomarán de perfiles conformados de cada unidad de inspección, elegidos al azar según las indicaciones de las normas UNE 36 300 y UNE 36 400, respectivamente.

##### Resultados de los ensayos

Si los resultados de todos los ensayos de recepción de una unidad de inspección cumplen lo prescrito, ésta es aceptable.

Si algún resultado no cumple lo prescrito, habiéndose observado en el correspondiente ensayo alguna anomalía no imputable al material, como defecto en la mecanización de la probeta, irregular funcionamiento de la máquina de ensayo, defectuoso montaje de la probeta en la máquina, etc... el ensayo se anula y vuelve a realizarse correctamente sobre nueva probeta.

Si algún resultado no cumple lo prescrito, habiéndose efectuado el correspondiente ensayo correctamente, se realizarán dos contraensayos sobre probetas tomadas de dos perfiles o placas distintos de la unidad de inspección que se está ensayando, elegidos al azar. Si los dos resultados de estos contraensayos cumplen lo prescrito, la unidad de inspección es aceptable, en caso contrario, es rechazable.

#### 2.3.6 Series de perfiles y placas conformados

Los perfiles y placas conformados comprendidos en esta norma se agrupan en series por las características geométricas de su sección. Las series utilizadas actualmente se indican en las tablas 2.3.6.A y 2.3.6.B, en las que se incluyen, en forma de ejemplo, la notación que se usará en los planos y en los documentos en que se describan estos productos.

En la tabla 2.3.6.B se incluyen las placas nervadas, las placas agrafadas y los paneles, aunque propiamente no constituyen series, porque actualmente se fabrican con muy variadas formas y dimensiones.

Todo perfil y placa conformado llevará las siglas de la fábrica y la del acero A37b marcadas indeleblemente mediante procedimiento elegido por el fabricante.

En las tablas del Anejo 2.A3 figuran los perfiles y placas que se utilizan usualmente. En la columna de suministro de cada tabla se destacan

mediante la sigla P los perfiles y placas conformados que en circunstancias normales se mantienen en existencia permanente en el mercado. Los perfiles y placas marcados en las tablas con la sigla C no deben emplearse en los proyectos sin previa consulta de su posibilidad de suministro.

Se consideran incluidos en esta norma los perfiles y placas conformados de las series de las tablas 2.3.6.A y 2.3.6.B, con dimensiones diferentes de las incluidas en las tablas del Anejo 2.A.3 o perfiles conformados de formas diferentes, fijadas por el proyectista de acuerdo con el fabricante, que cumplan las características que exige esta norma.

Tabla 2.3.6.A.- Series de perfiles conformados

| Serie                     | Notación (en forma de ejemplo) |
|---------------------------|--------------------------------|
| Perfil conformado L       | LF 50.2                        |
| Perfil conformado LD      | LF 60.30.3                     |
| Perfil conformado U       | UF 100.3                       |
| Perfil conformado C       | CF 120.2,5                     |
| Perfil conformado Ω omega | OF 40.2                        |
| Perfil conformado Z       | ZF 180.2                       |

Tabla 2.3.6.B Serie de placas y paneles conformados

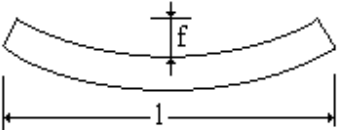
| Serie          | Notación   |
|----------------|------------|
| Placa ondulada | O.e.       |
| Placa grecada  | G.e.       |
| Placa nervada  | N.n.p.e.   |
| Placa agrafada | A.n.h.p.e. |
| Panel          | P.a.       |

n número de nervios entre ejes de solapo;  
h altura de la placa, en mm;  
p paso entre nervios, en mm;  
e espesor de la chapa, en mm;  
a espesor de aislante, en mm.

2.3.7 Tolerancias en los perfiles y placas conformados.

Las tolerancias de los perfiles y placas serán las establecidas en las tablas 2.3.7.A y 2.3.7.B.

Tabla 2.3.7A.- Tolerancia en los perfiles conformados

| Lados a,b,c,h                  |                                      |  |                            |                       | Espesor e   |                  |
|--------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------|-----------------------|---|------------------|
| Entre pliegue y borde a,b mm   | Entre dos pliegues c,h mm            | Tolerancia en mm siendo el espesor e en mm |                            |                       | Dimensión e mm  | Tolerancia mm    |
|                                |                                      | 2 a 4                                      | 4 y 6                      | 7                     |   |                  |
| ≤ 40<br>40 ≤ 80<br>> 80        | ≤ 50<br>> 50 ≤ 100<br>> 100          | ± 0.75<br>± 1.00<br>± 1.25                 | ± 1.00<br>± 1.25<br>± 1.50 | -<br>± 1.50<br>± 1.75 | 2 a 3<br>4 a 7  | ± 0.25<br>± 0.30 |
| Radio interior r               |                                      | Longitud L                                 |                            | Peso P                | Ortogonalidad   | Revirado         |
| Espesor e mm                   | Tolerancia en el radio mm            | l mm                                       | Tolerancia mm              | Tolerancia %          | Tolerancia  | Tolerancia       |
|                                |                                      | 6  | Normal<br>+ 100<br>- 0     | En el lote<br>± 4     | De 88° a 92°  | 1° por m         |
| 2 y 2.5<br>3 y 4<br>5 y 6<br>7 | ± 0.75<br>± 1.00<br>± 1.25<br>± 1.50 | Restringida                                |                            | En el prod            | Flecha f  |                  |
|                                |                                      | ≤ 2  | ± 1                        | ± 6                   | f ≤ 0.0025 l  |                  |
|                                |                                      | > 2 < 6                                    | ± 2                        |                       |  |                  |
|                                |                                      | > 6 < 10                                   | ± 3                        |                       |   |                  |
|                                |                                      | > 10                                       | ± 5                        |                       |   |                  |

**Tabla 2.3.7.B Tolerancia en los perfiles conformados**

| <b>Dimensión</b>                       |                    | <b>Tolerancia</b>              |
|--|--------------------|--------------------------------|
| Anchura de montaje b                   | b ≤ 700<br>b > 700 | + 4 mm – 0 mm<br>+ 5 mm – 0 mm |
| Longitud L, de la placa o panel        | +3%                | -0%                            |
| Espesor e, de la chapa de acero        | e ≤ 0.8<br>e > 0.8 | ± 0.10mm<br>± 0.15mm           |
| Módulo resistente y momento de inercia | -                  | +5% - 0%                       |

## 2.4 ROBLONES DE ACERO

### 2.4.1 Clases de roblones

Los roblones incluidos en esta norma son de tres clases:

Clase E: Roblones de cabeza esférica.

Clase B: Roblones de cabeza bombeada.

Clase P: Roblones de cabeza plana.

La forma y las dimensiones de los roblones de la clase E se detallan en 2.4.2; las de la clase B, en 2.4.3, y las de la clase P, en 2.4.4.

### 2.4.2 Roblones de cabeza esférica

Los roblones de cabeza esférica tienen la forma representada en la figura 2.4.2.A.

#### Designación:

Los roblones de cabeza esférica se designan con la sigla E, el diámetro de la caña, el signo  $\times$ , la longitud de la caña, y la referencia a la norma; esta última puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: Roblón E 10  $\times$  40 NBE EA-95.

#### Dimensiones:

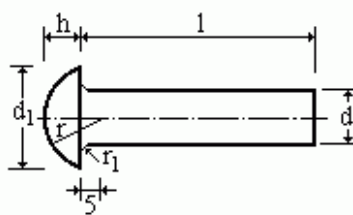
Las dimensiones de cada tipo de roblón y el diámetro del agujero correspondiente se indican en la tabla 2.4.2.A.

#### Peso de los roblones:

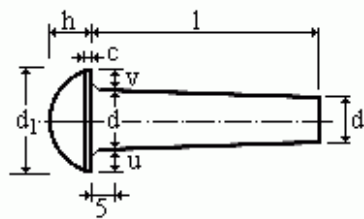
El peso de 1.000 roblones de cabeza esférica, en función de su tipo, de la longitud de su caña, y con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm<sup>3</sup>, se da en la tabla 2.4.2.B.

#### Tolerancias dimensionales:

Las tolerancias en las dimensiones de los roblones de cabeza esférica, según la figura 2.4.2.B, se establecen en la tabla 2.4.2.C.



**Figura 2.4.2.A.**  
**Roblones de cabeza esférica**



**Figura 2.4.2.B.**  
**Tolerancias dimensionales**

**Tabla 2.4.2.A.- Dimensiones de los roblones de cabeza esférica**

| Roblón Tipo | Diámetro De la caña d (mm) | Diámetro de la cabeza d <sub>1</sub> (mm) | Altura de la cabeza h (mm) | Radio de la esfera r (mm) | Radio del acuerdo r <sub>1</sub> (mm) | Diámetro del agujero a (mm) |
|-------------|----------------------------|---|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| E 10        | 10                         | 16  | 6.5                        | 8.0                       | 0.5                                   | 11                          |
| E 12        | 12                         | 19  | 7.5                        | 9.5                       | 0.6                                   | 13                          |
| E 14        | 14                         | 22  | 9.0                        | 11.0                      | 0.6                                   | 15                          |
| E 16        | 16                         | 25  | 10.0                       | 13.0                      | 0.8                                   | 17                          |
| E 18        | 18                         | 28  | 11.5                       | 14.5                      | 0.8                                   | 19                          |
| E 20        | 20                         | 32  | 13.0                       | 16.5                      | 1.0                                   | 21                          |

|      |    |    |      |      |     |    |
|------|----|----|------|------|-----|----|
| E 22 | 22 | 36 | 14.0 | 18.5 | 1.0 | 23 |
| E 24 | 24 | 40 | 16.0 | 20.5 | 1.2 | 25 |
| E 27 | 27 | 43 | 17.0 | 22.0 | 1.2 | 28 |
| E 30 | 30 | 48 | 19.0 | 24.5 | 1.6 | 31 |
| E 33 | 33 | 53 | 21.0 | 27.0 | 1.6 | 34 |
| E 36 | 36 | 58 | 23.0 | 30.0 | 2.0 | 37 |

Tabla 2.4.2.B1.- Peso de los robles de cabeza esférica

| Longitud de la caña<br>l (m) | Peso en kg de 1000 robles del tipo: |      |       |       |       |     |     |     |     |     |     |      |
|------------------------------|-------------------------------------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                              | E10                                 | E12  | E14   | E16   | E18   | E20 | E22 | E24 | E27 | E30 | E33 | E36  |
| 10                           | 12.4                                | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 12                           | 13.7                                | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 14                           | 15.0                                | 22.5 | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 16                           | 16.3                                | 24.3 | 35.5  | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 18                           | 17.6                                | 26.1 | 37.9  | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 20                           | 18.9                                | 27.9 | 40.3  | 55.0  | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 22                           | 19.2                                | 29.7 | 42.7  | 58.2  | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 24                           | 20.5                                | 31.5 | 45.1  | 61.4  | 81.9  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 26                           | 21.8                                | 33.3 | 47.5  | 64.6  | 84.9  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 28                           | 23.1                                | 35.1 | 49.9  | 67.8  | 88.9  | 119 | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 30                           | 24.4                                | 36.9 | 52.3  | 71.0  | 92.9  | 124 | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 32                           | 25.7                                | 38.7 | 54.7  | 74.2  | 96.9  | 129 | 171 | -   | -   | -   | -   | -    |
| 34                           | 28.0                                | 40.5 | 57.1  | 77.4  | 101.0 | 134 | 177 | -   | -   | -   | -   | -    |
| 36                           | 29.3                                | 42.3 | 59.5  | 80.6  | 105.0 | 139 | 183 | 224 | -   | -   | -   | -    |
| 38                           | 30.6                                | 44.1 | 61.9  | 83.8  | 109.0 | 144 | 189 | 231 | -   | -   | -   | -    |
| 40                           | 31.9                                | 45.9 | 64.3  | 87.0  | 113.0 | 149 | 195 | 238 | 290 | -   | -   | -    |
| 42                           | 33.2                                | 47.7 | 66.7  | 90.2  | 117.0 | 154 | 201 | 245 | 299 | -   | -   | -    |
| 45                           | 35.1                                | 50.4 | 70.3  | 94.9  | 123.0 | 161 | 210 | 256 | 313 | -   | -   | -    |
| 48                           | 37.0                                | 53.1 | 73.9  | 99.6  | 129.0 | 169 | 219 | 266 | 326 | 430 | -   | -    |
| 50                           | 38.3                                | 54.9 | 76.3  | 103.0 | 133.0 | 174 | 225 | 273 | 335 | 441 | -   | -    |
| 52                           | 39.5                                | 56.7 | 78.7  | 106.0 | 137.0 | 179 | 231 | 280 | 344 | 452 | -   | -    |
| 55                           | 41.5                                | 59.4 | 82.3  | 111.0 | 143.0 | 186 | 240 | 291 | 358 | 469 | 589 | -    |
| 58                           | 43.4                                | 62.1 | 85.9  | 115.0 | 149.0 | 194 | 249 | 302 | 371 | 485 | 609 | -    |
| 60                           | 44.7                                | 63.9 | 88.3  | 119.0 | 153.0 | 199 | 255 | 309 | 380 | 496 | 622 | -    |
| 62                           | 46.0                                | 65.7 | 89.7  | 122.0 | 157.0 | 204 | 261 | 316 | 389 | 507 | 636 | 784  |
| 65                           | -                                   | 68.4 | 94.3  | 127.0 | 163.0 | 211 | 270 | 327 | 403 | 524 | 656 | 808  |
| 68                           | -                                   | 71.1 | 97.9  | 131.0 | 169.0 | 218 | 279 | 337 | 416 | 541 | 676 | 832  |
| 70                           | -                                   | 72.9 | 100.0 | 134.0 | 173.0 | 223 | 285 | 345 | 425 | 552 | 689 | 848  |
| 72                           | -                                   | -    | 103.0 | 138.0 | 177.0 | 228 | 291 | 352 | 434 | 563 | 703 | 864  |
| 75                           | -                                   | -    | 106.0 | 142.0 | 183.0 | 236 | 300 | 362 | 448 | 580 | 723 | 888  |
| 78                           | -                                   | -    | 110.0 | 147.0 | 189.0 | 243 | 309 | 373 | 461 | 596 | 743 | 912  |
| 80                           | -                                   | -    | -     | 150.0 | 193.0 | 248 | 315 | 380 | 470 | 608 | 756 | 928  |
| 85                           | -                                   | -    | -     | 158.0 | 203.0 | 260 | 330 | 398 | 493 | 635 | 790 | 968  |
| 90                           | -                                   | -    | -     | 166.0 | 213.0 | 273 | 345 | 416 | 515 | 663 | 824 | 1008 |
| 95                           | -                                   | -    | -     | -     | 223.0 | 285 | 360 | 434 | 538 | 691 | 858 | 1048 |

Tabla 2.4.2.B2.- Peso de los robles de cabeza esférica

| Longitud de la<br>caña l (mm) | Peso en kg de 1000 robles del tipo: |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |      |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                               | E10                                 | E12 | E14 | E16 | E18   | E20 | E22 | E24 | E27 | E30 | E33 | E36  |
| 100                           | -                                   | -   | -   | -   | 233.0 | 298 | 375 | 452 | 560 | 719 | 892 | 1088 |
| 105                           | -                                   | -   | -   | -   | 243.0 | 310 | 390 | 470 | 583 | 747 | 926 | 1128 |
| 110                           | -                                   | -   | -   | -   | 253.0 | 323 | 405 | 480 | 605 | 775 | 960 | 1168 |

|     |   |   |   |   |       |     |     |     |     |      |      |      |
|-----|---|---|---|---|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 115 | - | - | - | - | 263.0 | 335 | 420 | 506 | 628 | 803  | 994  | 1208 |
| 120 | - | - | - | - | -     | 347 | 435 | 524 | 650 | 831  | 1028 | 1248 |
| 125 | - | - | - | - | -     | 360 | 450 | 542 | 673 | 859  | 1062 | 1288 |
| 130 | - | - | - | - | -     | 372 | 465 | 560 | 695 | 887  | 1096 | 1328 |
| 135 | - | - | - | - | -     | -   | 480 | 578 | 718 | 915  | 1130 | 1368 |
| 140 | - | - | - | - | -     | -   | 495 | 596 | 740 | 942  | 1164 | 1408 |
| 145 | - | - | - | - | -     | -   | -   | 614 | 763 | 970  | 1198 | 1448 |
| 150 | - | - | - | - | -     | -   | -   | 632 | 785 | 998  | 1232 | 1488 |
| 155 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | 808 | 1025 | 1266 | 1528 |
| 160 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | 830 | 1053 | 1300 | 1568 |
| 165 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | -   | 1081 | 1334 | 1608 |
| 170 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | -   | 1107 | 1368 | 1648 |
| 175 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | -   | -    | 1402 | 1688 |
| 180 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | -   | -    | 1436 | 1728 |
| 185 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    | 1768 |
| 190 | - | - | - | - | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    | 1808 |

**Tabla 2.4.2.C.- Tolerancias dimensionales de los roblones de cabeza esférica**

| Roblón tipo | Diámetro de la caña d (mm) |      | Diámetro de la caña d' (mm) |      | Diámetro de la cabeza d <sub>1</sub> (mm) |      | Altura de la cabeza h (mm) |    | Parte cilíndrica de la cabeza c (mm) | Excentricidad de la cabeza u-v (mm) | Longitud de la caña l (mm)     |
|-------------|----------------------------|------|-----------------------------|------|---|------|----------------------------|----|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| E 10        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.6 | +0  | -1.1 | +0.9                       | -0 | 2.0                                  | 0.5                                 | Menor de 50mm<br>+2.0%<br>-0%  |
| E 12        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.7 | +0  | -1.3 | +0.9                       | -0 | 2.0                                  | 0.5                                 |                                |
| E 14        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +0  | -1.3 | +0.9                       | -0 | 2.0                                  | 0.5                                 |                                |
| E 16        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +0  | -1.3 | +0.9                       | -0 | 2.0                                  | 0.5                                 |                                |
| E 18        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.9 | +0  | -1.3 | +1.1                       | -0 | 2.5                                  | 0.5                                 | 50mm a 100mm<br>+1.5%<br>-0%   |
| E 20        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -1.1 | +0  | -1.6 | +1.1                       | -0 | 2.5                                  | 1.0                                 |                                |
| E 22        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -1.1 | +0  | -1.6 | +1.1                       | -0 | 2.5                                  | 1.0                                 |                                |
| E 24        | ±0.3                       |      | +0.3                        | -1.2 | +0  | -1.6 | +1.1                       | -0 | 3.0                                  | 1.0                                 |                                |
| E 27        | ±0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +0  | -1.6 | +1.1                       | -0 | 3.0                                  | 1.0                                 | Mayor de 100mm<br>+1.0%<br>-0% |
| E 30        | ±0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +0  | -1.6 | +1.3                       | -0 | 3.0                                  | 1.0                                 |                                |
| E 33        | ±0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +0  | -1.9 | +1.3                       | -0 | 3.0                                  | 1.5                                 |                                |
| E 36        | ±0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +0  | -1.9 | +1.3                       | -0 | 3.0                                  | 1.5                                 |                                |

### 2.4.3 Roblones de cabeza bombeada

Los roblones de cabeza bombeada tienen la forma representada en la figura 2.4.3.A.

#### Designación:

Los roblones de cabeza bombeada se designan con la sigla B, el diámetro de la caña, el signo ×, la longitud de la caña, y la referencia a la norma; esta última puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: Roblón B 22 × 70 NBE EA-95.

#### Dimensiones:

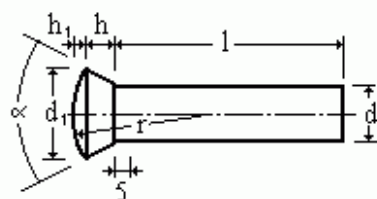
Las dimensiones de cada tipo de roblón y el diámetro del agujero correspondiente se indican en la tabla 2.4.3.A.

#### Peso de los roblones:

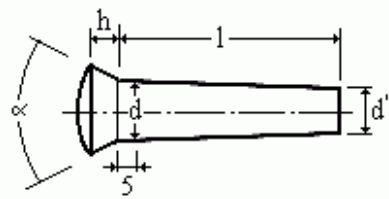
El peso de 100 roblones de cabeza bombeada, en función de su tipo, de la longitud de su caña, y con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm<sup>3</sup>, se da en la tabla 2.4.3.B.

#### Tolerancias dimensionales:

Las tolerancias en las dimensiones de los roblones de cabeza bombeada, según la figura 2.4.3B, se establecen en la tabla 2.4.3.C.



**Figura 2.4.3.A.**  
**Roblones de cabeza bombeada**



**Figura 2.4.3.B.**  
**Tolerancias dimensionales**

**Tabla 2.4.3.A.- Dimensiones de los roblones de cabeza bombeada**

| Roblón tipo | Diámetro de la caña d (mm) | Ángulo del cono α -grados | Diámetro de la cabeza d <sub>1</sub> (mm) | Altura de la cabeza h (mm) | Flecha de la cabeza h <sub>1</sub> (mm) | Radio de la esfera r (mm) | Diámetro del agujero d (mm) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|---|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|
| B 10        | 10                         | 75                        | 14.5                                      | 3.0                        | 1                                       | 27                        | 11                          |
| B 12        | 12                         | 75                        | 18.0                                      | 4.0                        | 1                                       | 41                        | 13                          |
| B 14        | 14                         | 75                        | 21.5                                      | 5.0                        | 1                                       | 58                        | 15                          |
| B 16        | 16                         | 75                        | 26.0                                      | 6.5                        | 1                                       | 85                        | 17                          |
| B 18        | 18                         | 75                        | 30.0                                      | 8.0                        | 1                                       | 113                       | 19                          |
| B 20        | 20                         | 60                        | 31.5                                      | 10.0                       | 1                                       | 125                       | 21                          |
| B 22        | 22                         | 60                        | 34.5                                      | 11.0                       | 2                                       | 76                        | 23                          |
| B 24        | 24                         | 60                        | 38.0                                      | 12.0                       | 2                                       | 91                        | 25                          |
| B 27        | 27                         | 60                        | 42.0                                      | 13.5                       | 2                                       | 111                       | 28                          |
| B 30        | 30                         | 45                        | 42.5                                      | 15.0                       | 2                                       | 114                       | 31                          |
| B 33        | 33                         | 45                        | 46.5                                      | 16.5                       | 2                                       | 136                       | 34                          |
| B 36        | 36                         | 45                        | 51.0                                      | 18.0                       | 2                                       | 164                       | 37                          |

**Tabla 2.4.3.B.1.- Peso de los roblones de cabeza bombeada**

| Longitud de la caña l mm | Peso en kg de 1000 roblones del tipo: |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                          | B 10                                  | B 12 | B 14 | B 16 | B 18 | B 20  | B 22 | B 24 | B 27 | B 30 | B 33 | B 36 |
| 10                       | 7.80                                  | -    | -    | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 12                       | 9.03                                  | -    | -    | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 14                       | 10.3                                  | 15.5 | -    | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 16                       | 11.5                                  | 17.3 | 24.6 | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 18                       | 12.7                                  | 19.1 | 27.0 | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 20                       | 14.0                                  | 20.8 | 29.4 | 41.4 | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 22                       | 15.2                                  | 22.6 | 31.8 | 44.6 | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 24                       | 16.4                                  | 24.4 | 34.3 | 47.7 | 63.7 | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 26                       | 17.7                                  | 26.2 | 36.7 | 50.9 | 67.7 | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 28                       | 18.9                                  | 27.9 | 39.1 | 54.1 | 71.7 | 89.2  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 30                       | 20.1                                  | 30.7 | 41.5 | 57.2 | 75.7 | 94.1  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 32                       | 21.4                                  | 32.5 | 43.9 | 60.4 | 79.7 | 99.1  | 125  | -    | -    | -    | -    | -    |
| 34                       | 22.6                                  | 34.3 | 46.3 | 63.5 | 83.7 | 104.0 | 131  | -    | -    | -    | -    | -    |
| 36                       | 23.8                                  | 36.0 | 48.8 | 66.7 | 87.7 | 109.0 | 137  | 166  | -    | -    | -    | -    |
| 38                       | 25.1                                  | 37.8 | 51.2 | 69.9 | 91.7 | 114.0 | 143  | 174  | -    | -    | -    | -    |

**Tabla 2.4.3.B.2.- Peso de los roblones de cabeza bombeada**

| Long. de la caña | Peso en kg de 1000 roblones del tipo: |
|------------------|---------------------------------------|
|------------------|---------------------------------------|



| l (mm) | B 10 | B 12 | B 14 | B 16  | B 18  | B 20  | B 22 | B 24 | B 27 | B 30 | B 33 | B 36 |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 40     | 26,3 | 39,6 | 53,6 | 73,0  | 95,7  | 119,0 | 149  | 181  | 230  | -    | -    | -    |
| 42     | 27,5 | 41,4 | 56,0 | 76,2  | 99,7  | 124,0 | 155  | 188  | 239  | -    | -    | -    |
| 45     | 29,4 | 44,0 | 59,7 | 80,9  | 106,0 | 131,0 | 164  | 198  | 253  | 302  | -    | -    |
| 48     | 31,2 | 46,7 | 63,3 | 85,6  | 112,0 | 139,0 | 173  | 209  | 266  | 319  | -    | -    |
| 50     | 32,5 | 48,5 | 65,7 | 88,6  | 116,0 | 144,0 | 179  | 216  | 275  | 330  | 401  | -    |
| 52     | 33,7 | 50,3 | 68,1 | 92,0  | 120,0 | 148,0 | 184  | 223  | 284  | 341  | 414  | -    |
| 55     | 35,6 | 52,9 | 71,2 | 96,7  | 126,0 | 156,0 | 193  | 234  | 298  | 358  | 435  | 524  |
| 58     | -    | 55,6 | 75,4 | 101,0 | 132,0 | 163,0 | 202  | 245  | 311  | 374  | 455  | 548  |
| 60     | -    | 57,4 | 77,8 | 105,0 | 136,0 | 165,0 | 208  | 252  | 320  | 385  | 468  | 564  |
| 62     | -    | 59,1 | 79,2 | 108,0 | 140,0 | 170,0 | 214  | 259  | 329  | 396  | 481  | 580  |
| 65     | -    | 61,8 | 82,9 | 113,0 | 146,0 | 176,0 | 223  | 269  | 343  | 413  | 502  | 604  |
| 68     | -    | 64,5 | 86,5 | 117,0 | 152,0 | 185,0 | 232  | 280  | 356  | 430  | 522  | 628  |
| 70     | -    | -    | 88,9 | 120,0 | 156,0 | 190,0 | 238  | 287  | 365  | 441  | 535  | 644  |
| 72     | -    | -    | 91,3 | 124,0 | 160,0 | 195,0 | 244  | 294  | 374  | 452  | 548  | 660  |
| 75     | -    | -    | 93,8 | 128,0 | 166,0 | 202,0 | 254  | 305  | 388  | 469  | 569  | 684  |
| 78     | -    | -    | 97,4 | 133,0 | 172,0 | 210,0 | 263  | 316  | 401  | 485  | 587  | 708  |
| 80     | -    | -    | -    | 136,0 | 176,0 | 215,0 | 269  | 323  | 410  | 496  | 602  | 724  |
| 85     | -    | -    | -    | 144,0 | 186,0 | 227,0 | 284  | 341  | 433  | 524  | 636  | 764  |
| 90     | -    | -    | -    | 152,0 | 196,0 | 239,0 | 299  | 359  | 455  | 552  | 670  | 804  |
| 95     | -    | -    | -    | -     | 206,0 | 252,0 | 314  | 377  | 478  | 580  | 704  | 844  |
| 100    | -    | -    | -    | -     | 216,0 | 264,0 | 329  | 395  | 500  | 607  | 738  | 884  |
| 105    | -    | -    | -    | -     | -     | 276,0 | 344  | 413  | 522  | 635  | 772  | 924  |
| 110    | -    | -    | -    | -     | -     | 288,0 | 359  | 431  | 545  | 663  | 806  | 964  |
| 115    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | 374  | 449  | 568  | 691  | 840  | 1000 |
| 120    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | 389  | 467  | 590  | 718  | 874  | 1040 |
| 125    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | 404  | 485  | 613  | 746  | 912  | 1080 |
| 130    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | 419  | 503  | 635  | 774  | 946  | 1120 |
| 135    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | 521  | 658  | 802  | 980  | 1160 |
| 140    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | 539  | 680  | 829  | 1010 | 1200 |
| 145    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | 557  | 703  | 857  | 1050 | 1240 |
| 150    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | 725  | 885  | 1080 | 1280 |
| 155    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | 748  | 913  | 1120 | 1320 |
| 160    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | 770  | 940  | 1150 | 1360 |
| 165    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | -    | 968  | 1180 | 1400 |
| 170    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | -    | 996  | 1220 | 1440 |
| 175    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    | 1250 | 1480 |
| 180    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    | 1290 | 1520 |
| 185    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    | -    | 1560 |
| 190    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    | -    | 1600 |

**Tabla 2.4.3.C.- Tolerancias dimensionales de los roblones de cabeza bombeada**

| Roblón tipo | Diámetro de la caña d (mm) |      | Diámetro de la caña d' (mm) |      | Ángulo de la cabeza $\alpha$ (grados) |    | Altura de la cabeza h (mm) |    | Longitud de la caña l (mm)         |  |
|-------------|----------------------------|------|-----------------------------|------|---------------------------------------|----|----------------------------|----|------------------------------------|--|
| B 10        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.6 | +5                                    | -0 | +0.8                       | -0 | Menor de 50 mm;<br>+2.0%<br>-0%    |  |
| B 12        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.7 | +5                                    | -0 | +0.8                       | -0 |                                    |  |
| B 14        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +5                                    | -0 | +1.0                       | -0 |                                    |  |
| B 16        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +5                                    | -0 | +1.0                       | -0 |                                    |  |
| B 18        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +5                                    | -0 | +1.0                       | -0 | De 50 mm a 100 mm;<br>+1.5%<br>-0% |  |
| B 20        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -1.1 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 |                                    |  |
| B 22        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -1.1 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 |                                    |  |
| B 24        | $\pm 0.3$                  |      | +0.3                        | -1.2 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 |                                    |  |
| B 27        | $\pm 0.3$                  |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 | Mayor de 100mm;<br>+1.0%<br>-0%    |  |
| B 30        | $\pm 0.3$                  |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.5                       | -0 |                                    |  |
| B 33        | $\pm 0.3$                  |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.5                       | -0 |                                    |  |

|      |      |      |      |    |    |      |    |
|------|------|------|------|----|----|------|----|
| B 36 | ±0.3 | +0.3 | -1.4 | +5 | -0 | +1.5 | -0 |
|------|------|------|------|----|----|------|----|

#### 2.4.4 Roblones de cabeza plana

Los roblones de cabeza plana tienen la forma representada en la figura 2.4.4.A.

##### Designación:

Los roblones de cabeza plana se designan con la sigla P, el diámetro de la caña, el signo x, la longitud de la caña y la referencia a la norma; esta última puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: Roblón P 20 x 40 NBE EA-95.

##### Dimensiones:

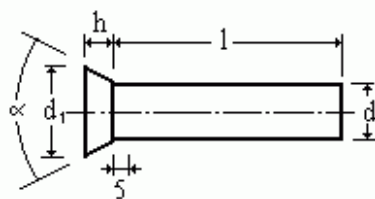
Las dimensiones de cada tipo de roblón y el diámetro del agujero correspondiente se indican en la tabla 2.4.4.A.

##### Peso de los roblones:

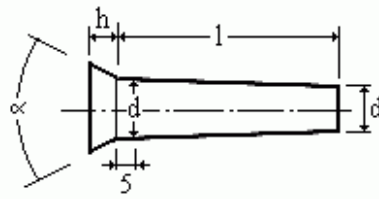
El peso de 1.000 roblones de cabeza plana en función de su tipo, de la longitud de la caña y con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm<sup>3</sup>, se da en la tabla 2.4.4.B.

##### Tolerancias dimensionales:

Las tolerancias en los roblones de cabeza plana, según la figura 2.4.4.B, se establecen en la tabla 2.4.4.C.



**Figura 2.4.4.A.**  
**Roblones de cabeza plana**



**Figura 2.4.4.B.**  
**Tolerancias dimensionales**

**Tabla 2.4.4.A.- Dimensiones de los roblones de cabeza plana**

| Roblón Tipo | Diámetro de la caña d (mm) | Ángulo del cono α (grados) | Diámetro de la cabeza d <sub>1</sub> (mm) | Altura de la cabeza h (mm) | Diámetro del agujero a (mm) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|
| P 10        | 10                         | 75                         | 14.5                                      | 3.0                        | 11                          |
| P 12        | 12                         | 75                         | 18.0                                      | 4.0                        | 13                          |
| P 14        | 14                         | 75                         | 21.5                                      | 5.0                        | 15                          |
| P 16        | 16                         | 75                         | 26.0                                      | 6.5                        | 17                          |
| P 18        | 18                         | 75                         | 30.0                                      | 8.0                        | 19                          |
| P 20        | 20                         | 60                         | 31.5                                      | 10.0                       | 21                          |
| P 22        | 22                         | 60                         | 34.5                                      | 11.0                       | 23                          |
| P 24        | 24                         | 60                         | 38.0                                      | 12.0                       | 25                          |
| P 27        | 27                         | 60                         | 42.0                                      | 13.5                       | 28                          |
| P 30        | 30                         | 45                         | 42.5                                      | 15.0                       | 31                          |
| P 33        | 33                         | 45                         | 46.5                                      | 16.5                       | 34                          |
| P 36        | 36                         | 45                         | 51.0                                      | 18.0                       | 37                          |

**Tabla 2.4.4.B.- Peso de los roblones de cabeza plana**

| Long. de la caña l (mm) | Peso en kg de 1.000 roblones del tipo: |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | P 10                                   | P 12 | P 14 | P 16 | P 18 | P 20 | P 22 | P 24 | P 27 | P 30 | P 33 | P 36 |

|     |       |      |      |       |       |       |     |     |     |     |      |      |
|-----|-------|------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 10  | 7.15  | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 12  | 8.38  | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 14  | 9.65  | 14.5 | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 16  | 10.85 | 16.3 | 23.2 | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 18  | 12.05 | 18.1 | 25.6 | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 20  | 13.35 | 19.8 | 28.0 | 39.3  | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 22  | 14.55 | 21.6 | 30.3 | 42.5  | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 24  | 15.75 | 23.4 | 32.9 | 45.6  | 60.9  | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 26  | 17.05 | 25.2 | 35.3 | 48.8  | 64.9  | -     | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 28  | 18.20 | 26.9 | 37.7 | 52.0  | 68.9  | 86.1  | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 30  | 19.40 | 29.7 | 40.1 | 55.1  | 72.9  | 91.0  | -   | -   | -   | -   | -    | -    |
| 32  | 20.70 | 31.5 | 42.5 | 58.3  | 76.9  | 96.0  | 118 | -   | -   | -   | -    | -    |
| 34  | 21.90 | 33.3 | 44.9 | 61.4  | 80.9  | 101.0 | 124 | -   | -   | -   | -    | -    |
| 36  | 23.10 | 35.0 | 47.4 | 64.6  | 84.9  | 106.0 | 130 | 157 | -   | -   | -    | -    |
| 38  | 24.50 | 36.8 | 49.8 | 67.8  | 88.9  | 111.0 | 136 | 165 | -   | -   | -    | -    |
| 40  | 25.60 | 38.6 | 52.2 | 70.9  | 92.9  | 116.0 | 142 | 172 | 219 | -   | -    | -    |
| 42  | 26.80 | 40.4 | 54.6 | 74.1  | 96.9  | 121.0 | 148 | 179 | 228 | -   | -    | -    |
| 45  | 28.70 | 43.0 | 58.3 | 78.8  | 103.0 | 128.0 | 157 | 189 | 242 | 291 | -    | -    |
| 48  | 30.50 | 45.7 | 61.9 | 83.5  | 109.0 | 136.0 | 166 | 200 | 255 | 308 | -    | -    |
| 50  | 31.80 | 47.5 | 64.3 | 86.7  | 113.0 | 141.0 | 172 | 207 | 264 | 319 | 388  | -    |
| 52  | 33.00 | 49.3 | 66.7 | 89.9  | 117.0 | 145.0 | 177 | 214 | 273 | 330 | 401  | -    |
| 55  | 34.90 | 51.9 | 69.8 | 94.6  | 123.0 | 153.0 | 186 | 225 | 287 | 347 | 422  | 508  |
| 58  | -     | 54.6 | 74.0 | 98.9  | 129.0 | 153.0 | 195 | 236 | 300 | 363 | 442  | 532  |
| 60  | -     | 56.4 | 76.4 | 103.0 | 133.0 | 162.0 | 201 | 243 | 309 | 374 | 455  | 548  |
| 62  | -     | 58.1 | 77.8 | 106.0 | 137.0 | 167.0 | 207 | 250 | 318 | 385 | 468  | 564  |
| 65  | -     | 60.8 | 81.5 | 111.0 | 143.0 | 173.0 | 216 | 260 | 332 | 402 | 489  | 588  |
| 68  | -     | 63.5 | 85.1 | 115.0 | 149.0 | 182.0 | 225 | 271 | 345 | 419 | 509  | 612  |
| 70  | -     | -    | 87.5 | 118.0 | 153.0 | 187.0 | 231 | 278 | 354 | 430 | 522  | 628  |
| 72  | -     | -    | 89.9 | 122.0 | 157.0 | 192.0 | 237 | 285 | 363 | 441 | 535  | 644  |
| 75  | -     | -    | 92.4 | 126.0 | 163.0 | 199.0 | 247 | 296 | 377 | 458 | 556  | 668  |
| 78  | -     | -    | 96.0 | 131.0 | 169.0 | 207.0 | 256 | 307 | 390 | 474 | 574  | 692  |
| 80  | -     | -    | -    | 134.0 | 173.0 | 212.0 | 262 | 314 | 399 | 485 | 589  | 708  |
| 85  | -     | -    | -    | 142.0 | 183.0 | 224.0 | 277 | 332 | 422 | 513 | 623  | 748  |
| 90  | -     | -    | -    | 150.0 | 193.0 | 236.0 | 292 | 350 | 444 | 541 | 657  | 788  |
| 95  | -     | -    | -    | -     | 203.0 | 249.0 | 307 | 368 | 467 | 569 | 691  | 828  |
| 100 | -     | -    | -    | -     | 213.0 | 261.0 | 322 | 386 | 489 | 596 | 725  | 868  |
| 105 | -     | -    | -    | -     | -     | 273.0 | 337 | 404 | 511 | 624 | 759  | 908  |
| 110 | -     | -    | -    | -     | -     | 285.0 | 352 | 422 | 534 | 652 | 793  | 948  |
| 115 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 367 | 440 | 557 | 680 | 827  | 984  |
| 120 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 382 | 458 | 589 | 707 | 861  | 1024 |
|     |       | -    |      |       |       |       |     |     |     |     |      |      |
| 125 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 397 | 476 | 602 | 735 | 899  | 1064 |
| 130 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 412 | 494 | 624 | 763 | 933  | 1104 |
| 135 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | 512 | 647 | 791 | 967  | 1144 |
| 140 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | 530 | 669 | 818 | 997  | 1184 |
| 145 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | 548 | 692 | 846 | 1037 | 1224 |
| 150 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | 714 | 874 | 1067 | 1264 |
| 155 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | 737 | 902 | 1107 | 1304 |
| 160 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | 759 | 929 | 1137 | 1344 |
| 165 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | 957 | 1167 | 1384 |
| 170 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | 985 | 1207 | 1424 |
| 175 | -     | -    | --   | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | 1237 | 1464 |
| 180 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | 1277 | 1504 |
| 185 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | 1544 |
| 190 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -   | -   | -   | -   | -    | 1584 |

Tabla 2.4.4.C.- Tolerancias dimensionales de los roblones de cabeza plana

| Roblón tipo | Diámetro de la caña d (mm) |      | Diámetro de la caña d' (mm) |      | Ángulo de la cabeza $\alpha$ (grados) |    | Altura de la cabeza h (mm) |    | Longitud de la caña l (mm)        |
|-------------|----------------------------|------|-----------------------------|------|---------------------------------------|----|----------------------------|----|-----------------------------------|
| P 10        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.6 | +5                                    | -0 | +0.8                       | -0 | Menor de 50 mm<br>+2.0%<br>-0%    |
| P 12        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.7 | +5                                    | -0 | +0.8                       | -0 |                                   |
| P 14        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +5                                    | -0 | +1.0                       | -0 |                                   |
| P 16        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +5                                    | -0 | +1.0                       | -0 |                                   |
| P 18        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -0.8 | +5                                    | -0 | +1.0                       | -0 | De 50 mm a 100 mm<br>+1.5%<br>-0% |
| P 20        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -1.1 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 |                                   |
| P 22        | +0.3                       | -0.1 | +0.3                        | -1.1 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 |                                   |
| P 24        | +0.3                       |      | +0.3                        | -1.2 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 |                                   |
| P 27        | +0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.3                       | -0 | Mayor de 10 mm<br>+1.0%<br>-0%    |
| P 30        | +0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.5                       | -0 |                                   |
| P 33        | +0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.5                       | -0 |                                   |
| P 35        | +0.3                       |      | +0.3                        | -1.4 | +5                                    | -0 | +1.5                       | -0 |                                   |

#### 2.4.5 Acero para roblones

El acero empleado en la fabricación de roblones en función del tipo de los aceros que se van a unir tendrá las características que se especifican en la tabla 2.4.5, teniendo en cuenta lo indicado en 2.0.2.

##### Ensayos:

Si así se ha convenido en el pedido, y cuando el tamaño de las probetas lo permita, se determinará la resistencia a tracción  $\sigma_r$  y el alargamiento de rotura  $\delta$ . En caso contrario se determinará solamente la resistencia a cortadura  $\tau_r$ .

##### Métodos de ensayo:

Los métodos de ensayos serán los siguientes: Resistencia a tracción y alargamiento de rotura según la norma UNE 7 474-1(EN 10 002-1) con la modificación de que la longitud inicial entre puntos será  $l_0=5.65(A_0)^{1/2}$ .

Resistencia a cortadura según la norma UNE 7 246.

##### Marcado de la clase de acero de los roblones:

Los roblones de acero de las clases A34b y A34c no llevarán marca: los de acero de la clase A42C tendrán en la cabeza la cifra 42 en relieve de 0.7 mm y tamaño de 5mm, sobre un círculo plano del diámetro siguiente.

10 mm en roblones de 10 mm a 14 mm;

12 mm en roblones de 16 mm a 20 mm;

14 mm en roblones de 22 mm a 36 mm;

**Tabla 2.4.5.- Acero para roblones**

| Clase de acero de los roblones | Resistencia a tracción $\sigma_R$ mínimo máximo kg/mm <sup>2</sup> . | Alargamiento de rotura $\delta$ mínimo % | Resistencia a cortadura $\tau_R$ mínima máxima kg/mm <sup>2</sup> | Tipo de acero de los productos a unir |
|--------------------------------|--|--|---|---------------------------------------|
| A34b                           |  |  |   | A37                                   |
| A34c                           | 34 a 42  | 28                                       | 25 a 36   | A42                                   |
| A42c                           | 42 a 50  | 23                                       | 31 a 42   | A52                                   |

La composición química de estos aceros ajustará a lo que se prescribe en 2.1.3.

#### 2.4.6 Características garantizadas

El fabricante garantiza que los roblones que suministra cumplen las condiciones dimensionales establecidas en 2.4.2, 2.4.3 y 2.4.4 y las características del acero prescritas en 2.4.5.

Los fabricantes, para ofrecer esta garantía, realizarán los ensayos que juzguen precisos y en la forma en que crean conveniente.

Los ensayos de recepción, que el consumidor puede encargar a su costa para comprobar el cumplimiento de esta garantía, se ajustarán a lo prescrito anteriormente.

Si en un lote los resultados de los ensayos de recepción cumplen lo prescrito, el lote es aceptable.

Si el resultado de un ensayo no cumple lo prescrito, se realizarán dos nuevos ensayos de comprobación, sobre nuevas muestras del lote.

Si los dos resultados cumplen lo prescrito, el lote es aceptable; en caso contrario es rechazable.

El coste de los ensayos de comprobación, y el de todos los efectuados sobre un lote que resulte rechazable, no será cobrado por el fabricante si los realiza él, y será abonado por el fabricante si se realizan en un laboratorio oficial o acreditado en el área técnica correspondiente.

#### 2.4.7 Suministro y recepción

El suministro y la recepción de roblones se efectuará en la forma siguiente:

##### Suministro:

Cada envase llevará una etiqueta indicando:

Marca del fabricante;

Designación del roblón;

Clase de acero;

Número de piezas.

##### Recepción:

En la recepción se comprobará que los roblones tienen las superficies lisas y no presentan fisuras, rebabas u otros defectos que perjudiquen su empleo.

La unión de la cabeza a la caña estará exenta de pliegues.

La superficie de apoyo será normal al eje del roblón.

Cuando vayan a realizarse ensayos de recepción de un suministro, éste se dividirá en lotes.

Cada lote estará constituido por roblones del mismo pedido, clase, diámetro, longitud y clase de acero.

El peso de cada lote lo fijará el consumidor, pero no será mayor que 5 t para roblones de diámetro hasta 20 mm, ni que 10 t para roblones de diámetro mayor.




De cada lote se ensayarán dos muestras.







#### 2.4.8 Notación para los planos de ejecución

En los planos de ejecución, los roblones se presentarán con los signos indicados en la tabla 2.4.8.

En el ángulo superior izquierdo se rotulará el diámetro del agujero. A modo de ejemplo los signos corresponden al roblón 22, con agujero de 23.

Tabla 2.4.8.- Representación de los roblones.

|   |  |
|---|--|
| Cabeza esférica arriba y abajo          | 23  |
| Cabeza esférica arriba y bombeada abajo | 23  |
| Cabeza esférica abajo y bombeada arriba | 23  |

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Cabeza bombeada arriba y abajo       | 23   |
| Cabeza esférica arriba y plana abajo | 23  |
| Cabeza esférica abajo y plana arriba | 23  |
| Cabeza plana arriba y abajo          | 23  |
| La cabeza se ejecutará en obra       | 23  |
| El agujero se taladrará en obra      | 23  |

## 2.5 Tornillos

### 2.5.1 Clases de tornillos

Los tornillos incluidos en este capítulo son de tres clases:

Clase T: Tornillos ordinarios, cuyas características se especifican en 2.5.3.

Clase TC: Tornillos calibrados, cuyas características se especifican en 2.5.4.

Clase TR: Tornillos de alta resistencia, cuyas características se especifican en 2.5.7.

### Tuercas y arandelas:

Las tuercas y arandelas empleadas con tornillos de las clases T y TC tienen sus características especificadas en 2.5.5.

Las tuercas y arandelas empleadas con tornillos de la clase TR tienen sus características especificadas en 2.5.8 y 2.5.9, respectivamente.

### Condiciones de uso:

Los tornillos ordinarios se emplean con productos de acero de los tipos A37 y A42 y los calibrados con productos de acero de los tipos A37, A42, A52.

Los tornillos de alta resistencia pueden emplearse con aceros de cualquier tipo.

### 2.5.2. Rosca para tornillos ordinarios y calibrados

Los tornillos y tuercas tienen rosca triangular ISO de paso grueso, en calidad basta, con las dimensiones nominales y las tolerancias dimensionales indicadas a continuación.

#### Dimensiones nominales:

El perfil de la rosca triangular ISO se representa en la figura 2.5.2.A y las dimensiones nominales de los elementos del perfil, correspondientes a los diámetros nominales objeto de la norma, se dan en la tabla 2.5.2.A.

#### Tolerancias dimensionales:

Las tolerancias en las dimensiones transversales en el tornillo y en la tuerca, según la figura 2.5.2.B, se establecen en la tabla 2.5.2.B. El cálculo de éstas se ha basado en los valores que fija la norma UNE 17 707 para calidad basta, en los campos de tolerancia 8g para el tornillo y 7H para la tuerca.

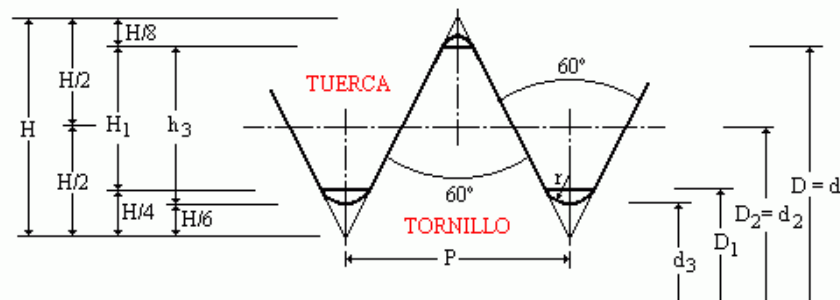
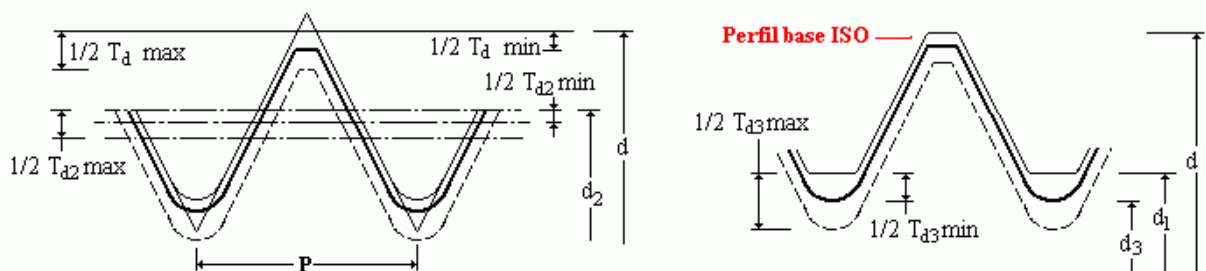


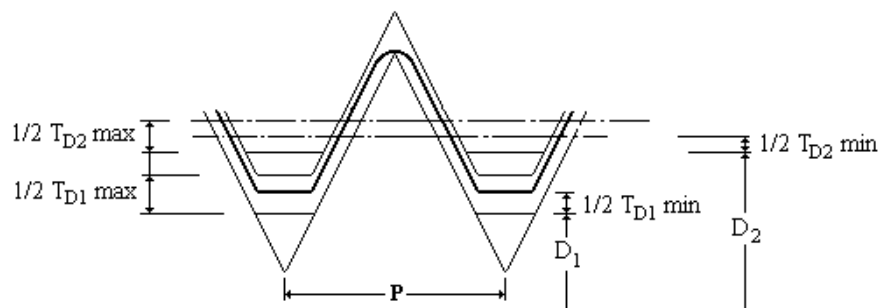
Figura 2.5.2.A.- Rosca triangular ISO



a) Tornillo

Las tolerancias para el diámetro  $d_3$  se han calculado tomando como línea cero la coincidente con el diámetro  $d_1$  del perfil base ISO.

b) Tuerca



**Figura 2.5.2.B.- Tolerancias dimensionales**

**Tabla 2.5.2.A.- Dimensiones nominales de la rosca triangular ISO**

| Diámetro nominal<br>$d=D$ mm | Paso<br>$P$ mm | Diámetro interior<br>$d_1$ mm | Diámetro medio<br>$d_2$ mm | Profundidad de la rosca<br>$H_1$ mm | Radio del fondo<br>$r$ mm |
|------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 10                           | 1.50           | 8.160                         | 9.026                      | 0.812                               | 0.217                     |
| 12                           | 1.75           | 9.853                         | 10.863                     | 0.947                               | 0.253                     |
| 16                           | 2.00           | 13.546                        | 14.701                     | 1.083                               | 0.289                     |
| 20                           | 2.50           | 16.933                        | 18.376                     | 1.353                               | 0.361                     |
| 22                           | 2.50           | 18.933                        | 20.376                     | 1.353                               | 0.361                     |
| 24                           | 3.00           | 20.319                        | 22.051                     | 1.624                               | 0.433                     |
| 27                           | 3.00           | 23.319                        | 25.051                     | 1.624                               | 0.433                     |
| 30                           | 3.50           | 25.706                        | 27.727                     | 1.894                               | 0.505                     |
| 33                           | 3.50           | 28.706                        | 30.727                     | 1.894                               | 0.505                     |
| 36                           | 4.00           | 31.093                        | 33.402                     | 2.165                               | 0.577                     |

**Tabla 2.5.2.B.- Tolerancias en la rosca triangular ISO**

| Diámetro nominal<br>$D=d$ mm | Paso $P$ mm | Tolerancias en el tornillo |              |                   |                 |                 |                 | Tolerancias en la tuerca |                 |                 |                 |
|------------------------------|-------------|----------------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                              |             | Diámetro nominal           |              | Diámetro interior |                 | Diámetro medio  |                 | Diámetro interior        |                 | Diámetro medio  |                 |
|                              |             | $T_d$ mín mm               | $T_d$ máx mm | $T_{d1}$ mín mm   | $T_{d1}$ máx mm | $T_{d2}$ mín mm | $T_{d2}$ máx mm | $T_{D1}$ mín mm          | $T_{D1}$ máx mm | $T_{D2}$ mín mm | $T_{D2}$ máx mm |
| 10                           | 1.50        | -0.032                     | -0.407       | -0.249            | -0.569          | -0.032          | -0.244          | 0                        | +0.375          | 0               | +0.224          |
| 12                           | 1.75        | -0.034                     | -0.459       | -0.287            | -0.649          | -0.034          | -0.270          | 0                        | +0.425          | 0               | +0.250          |
| 16                           | 2.00        | -0.038                     | -0.488       | -0.327            | -0.721          | -0.038          | -0.288          | 0                        | +0.475          | 0               | +0.265          |
| 20                           | 2.50        | -0.042                     | -0.572       | -0.403            | -0.848          | -0.042          | -0.307          | 0                        | +0.560          | 0               | +0.280          |
| 22                           | 2.50        | -0.042                     | -0.572       | -0.403            | -0.848          | -0.042          | -0.307          | 0                        | +0.560          | 0               | +0.280          |
| 24                           | 3.00        | -0.048                     | -0.648       | -0.481            | -1.012          | -0.048          | -0.363          | 0                        | +0.630          | 0               | +0.335          |
| 27                           | 3.00        | -0.048                     | -0.648       | -0.481            | -1.012          | -0.048          | -0.363          | 0                        | +0.630          | 0               | +0.335          |
| 30                           | 3.50        | -0.053                     | -0.723       | -0.558            | -1.145          | -0.053          | -0.388          | 0                        | +0.710          | 0               | +0.355          |
| 33                           | 3.50        | -0.053                     | -0.723       | -0.558            | -1.145          | -0.053          | -0.388          | 0                        | +0.710          | 0               | +0.355          |
| 36                           | 4.00        | -0.060                     | -0.810       | -0.637            | -1.280          | -0.060          | -0.415          | 0                        | +0.750          | 0               | +0.375          |

### 2.5.3 Tornillos ordinarios

Los tornillos ordinarios tienen la forma representada en la figura 2.5.3.

#### Designación:

Los tornillos ordinarios se designan con: La sigla T, el diámetro de la caña, el signo x, la longitud l del vástago, el tipo de acero y la referencia a la norma; estos dos últimos datos pueden suprimirse cuando sean innecesarios.

Ejemplo: Tornillo T 16 x 80, A4t, NBE EA-95.

#### Dimensiones:

Las dimensiones de cada tipo de tornillo ordinario y el diámetro del agujero correspondiente se dan en la tabla 2.5.3.A, en la que figuran además el área de la



sección neta del núcleo  $A_n$ , y la denominada área resistente de la rosca  $A_r$ :

$$A_n = \pi (d_3)^2 / 4$$

$$A_r = (\pi / 4) [(d_3 + d_2) / 2]^2 \quad (\text{vease la figura 2.5.2.A})$$

Las longitudes usuales con que se suministra cada tipo de tornillos ordinarios y las correspondientes longitudes de la caña c se indican en la tabla 2.5.3.B.

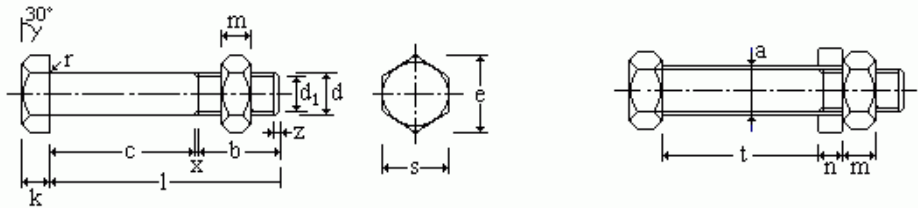
Los límites de la longitud de apretadura t, es decir, de la suma de los espesores de las piezas que se van a unir (figura 2.5.3), con que puede utilizarse cada tipo de tornillo ordinario, en función de la longitud l de su vástago, se dan en la tabla 2.5.3.C. Estos límites se han determinado para que la rosca y su salida, con excepción de las tolerancias, no penetren en la longitud de apretadura.

**Peso de los tornillos ordinarios:**

El peso de 1.000 tornillos con tuerca se da en la tabla 2.5.3.D, para cada tipo, en función de la longitud de su vástago, y con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm<sup>3</sup>.

**Tolerancias:**

Las tolerancias en las dimensiones y en la forma de los tornillos ordinarios se dan en la tabla 2.5.3.E.



**Figura 2.5.3.- Tornillo ordinario**

**Tabla 2.5.3.A.- Dimensiones de los tornillos ordinarios**

| Tornillo tipo | Vástago               |                                  |                    |                         |                        | Cabeza       |                         |                           |                        | Diám. del agujero a mm | Área neta del núcleo An cm <sup>2</sup> | Área resistente Ar cm <sup>2</sup> |
|---------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------------------|
|               | Diám. de la caña d mm | Diám. interior d <sub>1</sub> mm | Long. roscada b mm | Long. de la salida x mm | Long. del chaflán z mm | Espesor k mm | Medida entre caras s mm | Medida entre aristas e mm | Radio del acuerdo r mm |                        |   |                                    |
| T 10          | 10                    | 8.160                            | 17.5               | 2.5                     | 1.7                    | 7            | 17                      | 19.6                      | 0.5                    | 11                     | 0.523                                   | 0.580                              |
| T 12          | 12                    | 9.853                            | 19.5               | 2.5                     | 2.0                    | 8            | 19                      | 21.9                      | 1.0                    | 13                     | 0.762                                   | 0.843                              |
| T 16          | 16                    | 13.546                           | 23.0               | 3.0                     | 2.5                    | 10           | 24                      | 27.7                      | 1.0                    | 17                     | 1.440                                   | 1.570                              |
| T 20          | 20                    | 16.933                           | 25.0               | 4.0                     | 3.0                    | 13           | 30                      | 34.6                      | 1.0                    | 21                     | 2.250                                   | 2.750                              |
| (T22)         | 22                    | 18.933                           | 28.0               | 4.0                     | 3.3                    | 14           | 32                      | 36.9                      | 1.0                    | 23                     | 2.820                                   | 3.030                              |
| T 24          | 24                    | 20.319                           | 29.5               | 4.5                     | 4.0                    | 15           | 36                      | 41.6                      | 1.0                    | 25                     | 3.240                                   | 3.530                              |
| (T27)         | 27                    | 23.319                           | 32.5               | 4.5                     | 4.0                    | 17           | 41                      | 47.3                      | 1.0                    | 28                     | 4.270                                   | 4.560                              |
| T 30          | 30                    | 25.706                           | 35.0               | 5.0                     | 5.0                    | 19           | 46                      | 53.1                      | 1.0                    | 31                     | 5.190                                   | 5.610                              |
| (T 33)        | 33                    | 28.706                           | 38.0               | 5.0                     | 5.0                    | 21           | 50                      | 57.7                      | 1.0                    | 34                     | 6.470                                   | 6.940                              |
| T 36          | 36                    | 31.093                           | 40.0               | 6.0                     | 6.0                    | 23           | 55                      | 63.5                      | 1.0                    | 37                     | 7.590                                   | 8.170                              |

**Tabla 2.5.3.B.- Longitudes de los tornillos ordinarios y calibrados**

| Long. del vástago l mm | Longitud de la caña, en mm, del tipo: |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | T10                                   | T12  | T16  | T20  | T22  | T24  | T27  | T30  | T33  | T36  |
|                        | TC10                                  | TC12 | TC16 | TC20 | TC22 | TC24 | TC27 | TC30 | TC33 | TC36 |
| 30                     | 10                                    | 8    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 35                     | 15                                    | 13   | 9    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 40                     | 20                                    | 18   | 14   | 10   | 8    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 45                     | 25                                    | 23   | 19   | 15   | 13   | 11   | -    | -    | -    | -    |
| 50                     | 30                                    | 28   | 24   | 20   | 18   | 16   | -    | -    | -    | -    |
| 55                     | 35                                    | 33   | 29   | 25   | 23   | 21   | -    | -    | -    | -    |
| 60                     | 40                                    | 38   | 34   | 30   | 28   | 26   | 23   | -    | -    | -    |
| 65                     | 45                                    | 43   | 39   | 35   | 33   | 31   | 28   | -    | -    | -    |
| 70                     | 50                                    | 48   | 44   | 40   | 38   | 36   | 33   | -    | -    | -    |
| 75                     | 55                                    | 53   | 49   | 45   | 43   | 41   | 38   | -    | -    | -    |
| 80                     | -                                     | 58   | 54   | 50   | 48   | 46   | 43   | 40   | -    | -    |
| 85                     | -                                     | 63   | 59   | 55   | 53   | 51   | 48   | 45   | -    | -    |
| 90                     | -                                     | 68   | 64   | 60   | 58   | 56   | 53   | 50   | -    | -    |

|     |   |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 95  | - | 73 | 69  | 65  | 63  | 61  | 58  | 55  | -   | -   |
| 100 | - | 78 | 74  | 70  | 68  | 66  | 63  | 60  | 57  | 54  |
| 105 | - | 83 | 79  | 75  | 73  | 71  | 68  | 65  | 62  | 59  |
| 110 | - | 88 | 84  | 80  | 78  | 76  | 73  | 70  | 67  | 64  |
| 115 | - | 93 | 89  | 85  | 83  | 81  | 78  | 75  | 72  | 69  |
| 120 | - | 98 | 94  | 90  | 88  | 86  | 83  | 80  | 77  | 74  |
| 125 | - | -  | 99  | 95  | 93  | 91  | 88  | 85  | 82  | 79  |
| 130 | - | -  | 104 | 100 | 98  | 96  | 93  | 90  | 87  | 84  |
| 135 | - | -  | 109 | 105 | 103 | 101 | 98  | 95  | 92  | 89  |
| 140 | - | -  | 114 | 110 | 108 | 106 | 103 | 100 | 97  | 94  |
| 145 | - | -  | 119 | 115 | 113 | 111 | 108 | 105 | 102 | 99  |
| 150 | - | -  | 124 | 120 | 118 | 116 | 113 | 110 | 107 | 104 |
| 155 | - | -  | -   | 125 | 123 | 121 | 118 | 115 | 112 | 109 |
| 160 | - | -  | -   | 130 | 128 | 126 | 123 | 120 | 117 | 114 |
| 165 | - | -  | -   | 135 | 133 | 131 | 128 | 125 | 122 | 119 |
| 170 | - | -  | -   | 140 | 138 | 136 | 133 | 130 | 127 | 124 |
| 175 | - | -  | -   | 145 | 143 | 141 | 138 | 135 | 132 | 129 |
| 180 | - | -  | -   | -   | 148 | 146 | 143 | 140 | 137 | 134 |
| 185 | - | -  | -   | -   | 153 | 151 | 148 | 145 | 142 | 139 |
| 190 | - | -  | -   | -   | 158 | 156 | 153 | 150 | 147 | 144 |
| 195 | - | -  | -   | -   | 163 | 161 | 158 | 155 | 152 | 149 |
| 200 | - | -  | -   | -   | 168 | 166 | 163 | 160 | 157 | 154 |

Tabla 2.5.3.C.- Longitudes de apretadura de los tornillos ordinarios y calibrados

| Long. del<br>vástago<br>l mm | Límites de la longitud de apretadura t, en mm, del tipo: |         |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------------|--|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                              | T 10   | T 12    | T 16      | T 20      | T 22      | T 24      | T 27      | T 30      | T 33      | T 36      |
|                              | TC 10  | TC 12   | TC 16     | TC 20     | TC 22     | TC 24     | TC 27     | TC 30     | TC 33     | TC 36     |
| 30                           | 6 a 10   | 4 a 8   |           | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 35                           | 11 a 15  | 9 a 13  | 5 a 9     | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 40                           | 16 a 20  | 14 a 18 | 10 a 14   | 6 a 10    | 5 a 9     | -         | -         | -         | -         | -         |
| 45                           | 21 a 25 a  | 19 a 23 | 15 a 19   | 11 a 15   | 10 a 14   | 8 a 12    | -         | -         | -         | -         |
| 50                           | 26 a 30  | 24 a 28 | 20 a 24   | 16 a 20   | 15 a 19   | 13 a 17   | -         | -         | -         | -         |
| 55                           | 31 a 35  | 29 a 33 | 25 a 29   | 21 a 25   | 20 a 24   | 18 a 22   | -         | -         | -         | -         |
| 60                           | 36 a 40  | 34 a 38 | 30 a 34   | 26 a 30   | 25 a 29   | 23 a 27   | 20 a 24   | -         | -         | -         |
| 65                           | 41 a 45  | 39 a 43 | 35 a 39   | 31 a 35   | 30 a 34   | 28 a 32   | 25 a 29   | -         | -         | -         |
| 70                           | 46 a 50  | 44 a 48 | 40 a 44   | 36 a 40   | 35 a 39   | 33 a 37   | 30 a 34   | -         | -         | -         |
| 75                           | 51 a 55  | 49 a 53 | 45 a 49   | 41 a 45   | 40 a 44   | 38 a 42   | 35 a 39   | -         | -         | -         |
| 80                           | -  | 54 a 58 | 50 a 54   | 46 a 50   | 45 a 49   | 43 a 47   | 40 a 44   | 38 a 42   | -         | -         |
| 85                           | -  | 59 a 63 | 55 a 59   | 51 a 55   | 50 a 54   | 48 a 52   | 45 a 49   | 43 a 47   | -         | -         |
| 90                           | -  | 64 a 68 | 60 a 64   | 56 a 60   | 55 a 59   | 53 a 57   | 50 a 54   | 48 a 52   | -         | -         |
| 95                           | -  | 69 a 73 | 65 a 69   | 61 a 65   | 60 a 64   | 58 a 62   | 55 a 59   | 53 a 57   | -         | -         |
| 100                          | -  | 74 a 78 | 70 a 74   | 66 a 70   | 65 a 69   | 63 a 67   | 60 a 64   | 58 a 62   | 55 a 59   | 52 a 56   |
| 105                          | -  | 79 a 83 | 75 a 79   | 71 a 75   | 70 a 74   | 68 a 72   | 65 a 69   | 63 a 67   | 60 a 64   | 57 a 61   |
| 110                          | -  | 84 a 88 | 80 a 84   | 76 a 80   | 75 a 79   | 73 a 77   | 70 a 74   | 68 a 72   | 65 a 69   | 62 a 66   |
| 115                          | -  | 89 a 93 | 85 a 89   | 81 a 85   | 80 a 84   | 78 a 82   | 75 a 79   | 73 a 77   | 70 a 74   | 67 a 71   |
| 120                          | -  | 94 a 98 | 90 a 94   | 86 a 90   | 85 a 89   | 83 a 87   | 80 a 84   | 78 a 82   | 75 a 79   | 72 a 76   |
| 125                          | -  | -       | 95 a 99   | 91 a 95   | 90 a 94   | 88 a 92   | 85 a 89   | 83 a 87   | 80 a 84   | 77 a 81   |
| 130                          | -  | -       | 100 a 104 | 96 a 100  | 95 a 99   | 93 a 97   | 90 a 94   | 88 a 92   | 85 a 89   | 82 a 86   |
| 135                          | -  | -       | 110 a 114 | 101 a 105 | 100 a 104 | 98 a 102  | 95 a 99   | 93 a 97   | 90 a 94   | 87 a 91   |
| 140                          | -  | -       | 115 a 119 | 106 a 110 | 105 a 109 | 103 a 107 | 100 a 104 | 98 a 102  | 95 a 99   | 92 a 96   |
| 145                          | -  | -       | 120 a 124 | 111 a 115 | 110 a 114 | 108 a 112 | 105 a 109 | 103 a 107 | 100 a 104 | 97 a 101  |
| 150                          | -  | -       | -         | 116 a 120 | 115 a 119 | 113 a 117 | 110 a 114 | 108 a 112 | 105 a 109 | 102 a 106 |
| 155                          | -  | -       | -         | 121 a 125 | 120 a 124 | 118 a 122 | 115 a 119 | 113 a 117 | 110 a 114 | 107 a 111 |
| 160                          | -  | -       | -         | 126 a 130 | 125 a 129 | 123 a 127 | 120 a 124 | 118 a 122 | 115 a 119 | 112 a 116 |
| 165                          | -  | -       | -         | 131 a 135 | 130 a 134 | 128 a 132 | 125 a 129 | 123 a 127 | 120 a 124 | 117 a 121 |
| 170                          | -  | -       | -         | 136 a 140 | 135 a 139 | 133 a 137 | 130 a 134 | 128 a 132 | 125 a 129 | 122 a 126 |
| 175                          | -  | -       | -         | 141 a 145 | 140 a 144 | 138 a 142 | 135 a 139 | 133 a 137 | 130 a 134 | 127 a 131 |
| 180                          | -  | -       | -         | -         | 145 a 149 | 143 a 147 | 140 a 144 | 138 a 142 | 135 a 139 | 132 a 136 |
| 185                          | -  | -       | -         | -         | 150 a 154 | 148 a 152 | 145 a 149 | 143 a 147 | 140 a 144 | 137 a 141 |
| 190                          | -  | -       | -         | -         | 155 a 159 | 153 a 157 | 150 a 154 | 148 a 152 | 145 a 149 | 142 a 146 |
| 195                          | -  | -       | -         | -         | 160 a 164 | 158 a 162 | 155 a 159 | 153 a 157 | 150 a 154 | 147 a 151 |
| 200                          | -  | -       | -         | -         | 165 a 169 | 163 a 167 | 160 a 164 | 158 a 162 | 155 a 159 | 152 a 156 |

Tabla 2.5.3.D.- Peso de los tornillos ordinarios

| Longitud del<br>vástago<br>l mm        | Peso en kg de 1000 tornillos, con tuerca, del tipo: |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | T 10  | T 12  | T 16 | T 20 | T 22 | T 24 | T 27 | T 30 | T 33 | T 36 |
| 30                                     | 40.4  | 57.5  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 35                                     | 43.5  | 62.0  | 117  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 40                                     | 46.6  | 66.4  | 125  | 222  | 281  | -    | -    | -    | -    | -    |
| 45                                     | 49.7  | 70.8  | 133  | 234  | 296  | 389  | -    | -    | -    | -    |
| 50                                     | 52.8  | 75.3  | 141  | 247  | 311  | 387  | -    | -    | -    | -    |
| 55                                     | 55.9  | 79.7  | 149  | 259  | 326  | 405  | -    | -    | -    | -    |
| 60                                     | 58.9  | 84.2  | 157  | 272  | 341  | 423  | 585  | -    | -    | -    |
| 65                                     | 62.0  | 88.6  | 164  | 284  | 356  | 440  | 607  | -    | -    | -    |
| 70                                     | 65.1  | 93.0  | 172  | 296  | 370  | 458  | 630  | -    | -    | -    |
| 75                                     | 68.2  | 97.5  | 180  | 309  | 385  | 476  | 652  | -    | -    | -    |
| 80                                     | -   | 102.0 | 188  | 321  | 400  | 494  | 675  | 899  | -    | -    |
| 85                                     | -   | 107.0 | 196  | 334  | 415  | 511  | 697  | 917  | -    | -    |
| 90                                     | -   | 111   | 204  | 346  | 430  | 529  | 720  | 945  | -    | -    |
| 95                                     | -   | 116   | 212  | 358  | 445  | 547  | 742  | 972  | -    | -    |
| 100                                    | -   | 120   | 220  | 371  | 460  | 565  | 765  | 1000 | 1250 | 1560 |
| 105                                    | -   | 124   | 228  | 383  | 475  | 582  | 787  | 1030 | 1280 | 1600 |
| 110                                    | -   | 129   | 236  | 395  | 490  | 600  | 810  | 1060 | 1310 | 1640 |
| 115                                    | -   | 134   | 244  | 407  | 504  | 618  | 832  | 1090 | 1350 | 1680 |
| 120                                    | -   | 138   | 252  | 420  | 519  | 636  | 855  | 1110 | 1380 | 1720 |
| 125                                    | -   | -     | 260  | 432  | 543  | 653  | 877  | 1140 | 1410 | 1760 |
| 130                                    | -   | -     | 267  | 445  | 549  | 671  | 900  | 1170 | 1450 | 1800 |
| 135                                    | -   | -     | 275  | 457  | 564  | 689  | 922  | 1200 | 1480 | 1840 |
| 140                                    | -   | -     | 283  | 469  | 579  | 707  | 945  | 1220 | 1510 | 1880 |
| 145                                    | -   | -     | 291  | 482  | 594  | 724  | 967  | 1250 | 1550 | 1920 |
| 150                                    | -   | -     | 299  | 494  | 608  | 742  | 990  | 1280 | 1580 | 1960 |
| 155                                    | -   | -     | -    | 506  | 623  | 760  | 1010 | 1310 | 1610 | 2000 |
| 160                                    | -   | -     | -    | 519  | 638  | 778  | 1030 | 1340 | 1650 | 2040 |
| 165                                    | -   | -     | -    | 531  | 653  | 795  | 1050 | 1360 | 1680 | 2080 |
| 170                                    | -   | -     | -    | 543  | 660  | 813  | 1080 | 1390 | 1710 | 2120 |
| 175                                    | -   | -     | -    | 556  | 683  | 831  | 1100 | 1420 | 1750 | 2160 |
| 180                                    | -   | -     | -    | -    | 698  | 849  | 1120 | 1450 | 1780 | 2200 |
| 185                                    | -   | -     | -    | -    | 713  | 866  | 1140 | 1470 | 1820 | 2240 |
| 190                                    | -   | -     | -    | -    | 718  | 884  | 1170 | 1500 | 1850 | 2280 |
| 195                                    | -   | -     | -    | -    | 743  | 902  | 1190 | 1530 | 1880 | 2320 |
| 200                                    | -   | -     | -    | -    | 758  | 920  | 1210 | 1560 | 1920 | 2360 |
| Peso de la<br>tuerca kg/1000<br>piezas | 10.9  | 15.9  | 30.8 | 60.3 | 80.2 | 103  | 154  | 216  | 271  | 369  |

Tabla 2.5.3E.- Tolerancias en los tornillos ordinarios

| Tornillo tipo | Tolerancias en                              |  |  |   |  | Longitud del<br>tornillo<br>l mm     | Tolerancia en<br>la longitud<br>T <sub>l</sub> mm |
|---------------|---|--|--|---|--|--------------------------------------|---|
|               | Diámetro de la<br>caña<br>T <sub>d</sub> mm | Espesor de la<br>cabeza<br>T <sub>k</sub> mm | Medida entre<br>caras<br>T <sub>s</sub> mm | Longitud de<br>rosca<br>T <sub>b</sub> mm | Centrado de la<br>cabeza con<br>vástago<br>T <sub>c</sub> mm |                                      |   |
| T 10          | -0.70                                       | ± 0.45                                       | -0.43                                      | +2.30                                     | 0.58   | 30<br>35 a 50<br>55 a 80<br>85 a 120 | ± 1.05  |
| T 12          | -0.70                                       | ± 0.45                                       | -0.52                                      | +2.60                                     | 0.70   |                                      | ± 1.25  |
| T 16          | -0.70                                       | ± 0.90                                       | -0.52                                      | +3.00                                     | 0.70   |                                      | ± 1.50  |
| T 20          | -0.84                                       | ± 0.90                                       | -0.52                                      | +3.70                                     | 0.84   |                                      | ± 1.75  |
| T 22          | -0.84                                       | ± 0.90                                       | -1.00                                      | +3.70                                     | 0.84   | 125 a 180<br>185 a 250<br>255 a 315  | ± 2.00  |
| T 24          | -0.84                                       | ± 0.90                                       | -1.00                                      | +4.50                                     | 0.84   |                                      | ± 2.30  |
| T 27          | -0.84                                       | ± 0.90                                       | -1.00                                      | +4.50                                     | 0.84   |                                      | ± 2.60  |

|      |       |        |       |       |      |
|------|-------|--------|-------|-------|------|
| T 30 | -0.84 | ± 1.05 | -1.00 | +5.30 | 0.84 |
| T 33 | -1.00 | ± 1.05 | -1.00 | +5.30 | 1.00 |
| T 36 | -1.00 | ± 1.05 | -1.20 | +6.00 | 1.00 |

Ángulo recto entre el eje de la caña y la base de la cabeza:  $T_{\alpha} = 2^{\circ}$ .  
 Diedros rectos entre las caras y la base de la cabeza:  $T_{\beta} = 2^{\circ}$ .  
 Inclinación entre el eje de la caña y el eje de la rosca:  $T_{\gamma} = 1^{\circ}$ .

#### 2.5.4. Tornillos calibrados

Los tornillos calibrados tienen la forma representada en la figura 2.5.4.

Los tornillos se designan con: la sigla TC, el diámetro de la espiga, el signo x, la longitud l del vástago, el tipo de acero y la referencia a la norma; estos dos últimos datos pueden suprimirse cuando sean necesarios.

Ejemplo: Tornillo TC 12 x 55, A5t, NBE EA-95.

##### Dimensiones:

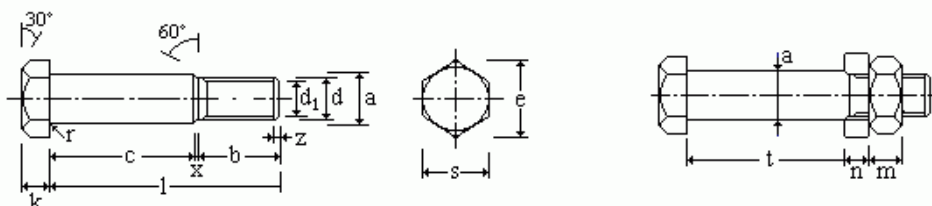
Las dimensiones de cada tipo de tornillo calibrado se dan en la tabla 2.5.4.B, en la que figuran además el área de la sección neta del núcleo y el área resistente. Las longitudes usuales con que se suministra cada tipo de tornillos calibrados y las correspondientes longitudes de la caña se indican en la tabla 2.5.3.B. Los límites de la longitud de apretadura t, es decir, de la suma de los espesores de las piezas que se van a unir (figura 2.5.4), con que puede utilizarse cada tipo de tornillo calibrado en función de la longitud l de su vástago, se dan en la tabla 2.5.3.C. Estos límites se han determinado para que la rosca y su salida, con excepción de las tolerancias, no penetren en la longitud de su apretadura.

##### Peso de los tornillos calibrados:

El peso de 1.000 tornillos calibrados con tuerca se dan en la tabla 2.5.4.A, para cada tipo, en función de la longitud de su vástago, y con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm<sup>3</sup>.

##### Tolerancias:

Las tolerancias en las dimensiones y en la forma de los tornillos calibrados se dan en la tabla 2.5.4.C.



**Figura 2.5.4.- Tornillo calibrado**

**Tabla 2.5.4.B.- Dimensiones de los tornillos calibrados**

| Tornillo tipo | Vástago                                     |   |   |                            |                                 | Cabeza            |                              |  |                             | Área neta del núcleo<br>$A_n$ cm <sup>2</sup> | Área resistente<br>$A_r$ cm <sup>2</sup> |
|---------------|---|---|---|----------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------|--|-----------------------------|---|--|
|               | Diámetro de la caña y del agujero<br>$a$ mm | Diámetro exterior de la rosca<br>$d$ mm | Diámetro interior de la rosca<br>$d_3$ mm | Longitud roscada<br>$b$ mm | Longitud de la salida<br>$x$ mm | Espesor<br>$k$ mm | Medida entre caras<br>$s$ mm | Medida entre aristas<br>$e \approx$ mm | Radio del acuerdo<br>$r$ mm |   |  |
| TC 10         | 11  | 10                                      | 8.160                                     | 17.5                       | 2.5                             | 7                 | 17                           | 19.6                                   | 0.5                         | 0.523   | 0.580                                    |
| TC 12         | 13  | 12                                      | 9.853                                     | 19.5                       | 2.5                             | 8                 | 19                           | 21.9                                   | 1.0                         | 0.762   | 0.843                                    |
| TC 16         | 17  | 16                                      | 13.546                                    | 23.0                       | 3.0                             | 10                | 24                           | 27.7                                   | 1.0                         | 1.440   | 1.570                                    |
| TC 20         | 21  | 20                                      | 16.933                                    | 26.0                       | 4.0                             | 13                | 30                           | 34.5                                   | 1.0                         | 2.250   | 2.750                                    |
| TC 22         | 23  | 22                                      | 18.933                                    | 28.0                       | 4.0                             | 14                | 32                           | 36.9                                   | 1.0                         | 2.820   | 3.030                                    |
| TC 24         | 25  | 24                                      | 20.319                                    | 29.5                       | 4.5                             | 15                | 36                           | 41.6                                   | 1.0                         | 3.240   | 3.530                                    |
| TC 27         | 28  | 27                                      | 23.319                                    | 32.5                       | 4.5                             | 17                | 41                           | 47.3                                   | 1.0                         | 4.270   | 4.590                                    |
| TC 30         | 31  | 30                                      | 25.706                                    | 35.0                       | 5.0                             | 19                | 46                           | 53.1                                   | 1.0                         | 5.190   | 5.610                                    |
| TC 33         | 34  | 33                                      | 28.706                                    | 38.0                       | 5.0                             | 21                | 50                           | 57.7                                   | 1.0                         | 6.470   | 6.940                                    |
| TC 36         | 39  | 36                                      | 31.093                                    | 40.0                       | 6.0                             | 23                | 55                           | 63.5                                   | 1.0                         | 7.590   | 8.170                                    |

**Tabla 2.5.4.C Tolerancias en los tornillos calibrados**

| Tornillo tipo | Tolerancias en                  |                                  |                                |                               |  | Longitud del tornillo<br>$l$ mm | Tolerancia en la longitud<br>$T_l$ mm |
|---------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------------|
|               | Diámetro de la caña<br>$T_d$ mm | Espesor de la cabeza<br>$T_k$ mm | Medida entre caras<br>$T_s$ mm | Longitud de rosca<br>$T_b$ mm | Centrado de la cabeza con el vástago<br>$T_c$ mm |                                 |                                       |
| TC 10         | -0.11                           | ±0.45                            | -0.43                          | +2.30                         | 0.58   | 30                              | ±1.05                                 |

|       |       |       |       |       |      |   |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|-------|
| TC 12 | -0.11 | ±0.45 | -0.52 | +2.60 | 0.70 | 35 a 50<br>55 a 80<br>85 a 120<br>125 a 180<br>185 a 250<br>255 a 315 | ±1.25 |
| TC 16 | -0.11 | ±0.90 | -0.52 | +3.00 | 0.70 |   | ±1.50 |
| TC 20 | -0.13 | ±0.90 | -0.52 | +3.70 | 0.84 |   | ±1.75 |
| TC 22 | -0.13 | ±0.90 | -1.00 | +3.70 | 0.84 |   | ±2.00 |
| TC 24 | -0.13 | ±0.90 | -1.00 | +4.50 | 0.84 |   | ±2.30 |
| TC 27 | -0.13 | ±0.90 | -1.00 | +4.50 | 0.84 |   | ±2.60 |
| TC 30 | -0.16 | ±1.05 | -1.00 | +5.30 | 0.84 |   |       |
| TC 33 | -0.16 | ±1.05 | -1.00 | +5.30 | 1.00 |   |       |
| TC 36 | -0.16 | ±1.05 | -1.20 | +6.00 | 1.00 |   |       |

Ángulo recto entre el eje de la caña y la base de la cabeza:  $T_{\alpha} = 2^{\circ}$ .  
 Diedros rectos entre las caras y la base de la cabeza:  $T_{\beta} = 2^{\circ}$ .  
 Inclinación entre el eje de la caña y el eje de la rosca:  $T_{\gamma} = 1^{\circ}$ .

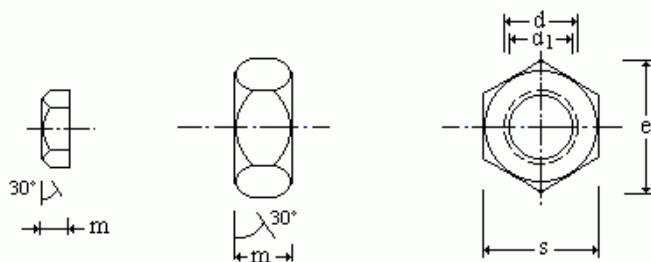
### 2.5.5. Tuercas y arandelas para tornillos ordinarios y calibrados

Las tuercas se emplean indistintamente para tornillos ordinarios y tornillos calibrados. Las arandelas negras se emplean para tornillos ordinarios; las arandelas pulidas se recomiendan para tornillos calibrados.

#### Tuercas:

Las tuercas tienen la forma indicada en la figura 2.5.5.A. Se designan con la sigla M, el diámetro nominal  $d$ , el tipo de acero y la referencia a la norma; estos dos últimos datos pueden suprimirse cuando sean innecesarios.

Las dimensiones de las tuercas de cada tipo y el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de  $7.85 \text{ kg/dm}^3$ , se indican en la tabla 2.5.5.A.



**Figura 2.5.5.A.- Tuercas**

#### Arandelas:

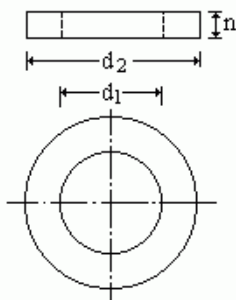
Las arandelas negras tienen la forma indicada en la figura 2.5.5.B. Se designan con la sigla A, el diámetro nominal del tornillo con el que se emplean y la referencia a la norma, que puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: Arandela A 16 NBE EA-95.

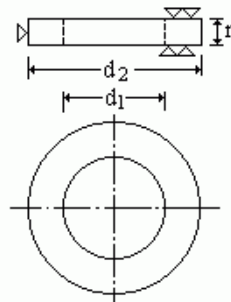
Las arandelas pulidas tienen la misma forma (figura 2.5.5.C) que las arandelas negras, diferenciándose en el grado de mecanizado de las caras.

Se designan empleando la sigla AP.

Las dimensiones de las arandelas de cada tipo y el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de  $7.85 \text{ kg/dm}^3$ , se indican en la tabla 2.5.5.B.



**Figura 2.5.5.B.- Arandela negra**



**Figura 2.5.5.C.- Arandela pulida**

#### Arandelas para perfil IPN:

Las arandelas para emplear sobre las alas de los perfiles IPN tienen la forma indicada en la figura 2.5.5.D, con una ranura, que quedará colocada en la cara exterior y paralela al borde del perfil. Se designan con la sigla AI, el diámetro nominal del tornillo con el que se emplean y la referencia a la norma, que puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: Arandela AI 16, NBE EA-95.

Las dimensiones de las arandelas de cada tipo y el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm³, se indican en la tabla 2.5.5.C.

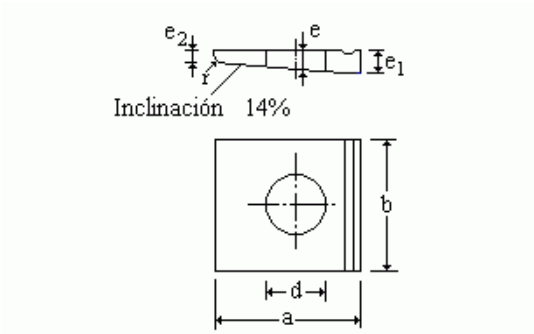


Figura 2.5.5.D.- Arandela para perfil IPN

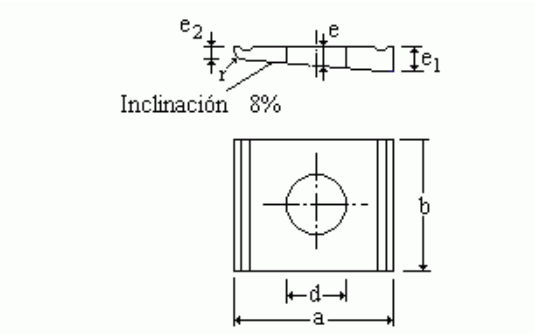


Figura 2.5.5.E.- Arandela para perfil UPN

Arandelas para perfil UPN:

Las arandelas para emplear sobre las alas de los perfiles UPN tienen la forma indicada en la figura 2.5.5.E, con dos ranuras, que quedarán colocadas en la cara exterior y paralelas al borde del perfil. Se designan con la sigla AU, el diámetro nominal del tornillo con el que se emplean y la referencia a la norma, que puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: AU 16, NBE EA-95.

Las dimensiones de las arandelas de cada tipo y el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de 7.85 kg/cm³, se indican en la tabla 2.5.5.D.

Tolerancias:

Las tolerancias en las dimensiones y en la forma de las tuercas y de las arandelas se establece en la tabla 2.5.5.E.

Tabla 2.5.5.A Tuercas para perfiles ordinarios y calibrados

| Tuerca tipo | Dimensiones           |                                     |              |                           |                         | Peso de 1.000 piezas kg |
|-------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
|             | Diámetro nominal D mm | Diámetro interior D <sub>i</sub> mm | Espesor m mm | Medida entre aristas e mm | Medida entre caras s mm |                         |
| M 10        | 10                    | 8.376                               | 8            | 19.6                      | 17                      | 10.9                    |
| M 12        | 12                    | 10.106                              | 10           | 21.9                      | 19                      | 15.9                    |
| M 16        | 16                    | 13.835                              | 13           | 27.7                      | 24                      | 30.8                    |
| M 20        | 20                    | 17.294                              | 16           | 34.6                      | 30                      | 60.3                    |
| M 22        | 22                    | 19.294                              | 18           | 36.9                      | 32                      | 80.2                    |
| M 24        | 24                    | 20.725                              | 19           | 41.6                      | 36                      | 103.0                   |
| M 27        | 27                    | 23.752                              | 22           | 47.3                      | 41                      | 154.0                   |
| M 30        | 30                    | 26.211                              | 24           | 53.1                      | 46                      | 216.0                   |
| M 33        | 33                    | 29.211                              | 26           | 57.7                      | 50                      | 271.0                   |
| M 36        | 36                    | 31.670                              | 29           | 63.5                      | 55                      | 369.0                   |

Tabla 2.5.5.B.- Arandelas negras y pulidas

| Arandela tipo | Dimensiones                           |                                     |           | Peso de 1.000 piezas kg |
|---------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-------------------------|
|               | Diámetro de agujero d <sub>1</sub> mm | Diámetro exterior d <sub>2</sub> mm | Espesor n |                         |
| A 10 y AP 10  | 11.5                                  | 21                                  | 8         | 15.2                    |
| A 12 y AP 12  | 13.5                                  | 24                                  | 8         | 19.5                    |
| A 16 y AP 16  | 17.5                                  | 30                                  | 8         | 29.3                    |
| A 20 y AP 20  | 21.5                                  | 36                                  | 8         | 41.5                    |
| A 22 y AP 22  | 24.0                                  | 40                                  | 8         | 51.0                    |
| A 24 y AP 24  | 26.0                                  | 44                                  | 8         | 61.5                    |
| A 27 y AP 27  | 29.0                                  | 50                                  | 8         | 81.6                    |
| A 30 y AP 30  | 32.0                                  | 56                                  | 8         | 104.0                   |
| A 33 y AP 33  | 35.0                                  | 60                                  | 8         | 117.0                   |
| A 36 y AP 36  | 38.0                                  | 68                                  | 8         | 157.0                   |

Tabla 2.5.5.C.- Arandelas para perfil IPN

|               |                               |           |            | Espesor        |               |                |            |                         |
|---------------|-------------------------------|-----------|------------|----------------|---------------|----------------|------------|-------------------------|
| Arandela tipo | Diámetro del agujero $d_1$ mm | Lado a mm | Testa b mm | Mayor $e_1$ mm | Medio $e=$ mm | Menor $e_2$ mm | Radio r mm | Peso de 1.000 piezas kg |
| AI 10         | 11.5                          | 22        | 22         | 4.6            | 3.0           | 1.5            | 1.2        | 9.1                     |
| AI 12         | 13.5                          | 30        | 26         | 6.2            | 4.0           | 2.0            | 1.6        | 20.2                    |
| AI 16         | 17.5                          | 36        | 32         | 7.5            | 5.0           | 2.5            | 2.0        | 35.2                    |
| AI 20         | 21.5                          | 44        | 40         | 9.0            | 6.0           | 3.0            | 2.4        | 64.4                    |
| AI 22         | 24.0                          | 50        | 44         | 10.0           | 6.5           | 3.0            | 2.4        | 87.3                    |
| AI 24         | 26.0                          | 56        | 56         | 10.8           | 7.0           | 3.0            | 2.4        | 139.0                   |
| AI 27         | 29.0                          | 62        | 56         | 11.7           | 7.5           | 3.0            | 2.4        | 157.0                   |
| AI 30         | 32.0                          | 62        | 62         | 11.7           | 7.5           | 3.0            | 2.4        | 174.0                   |
| AI 33         | 35.0                          | 68        | 68         | 12.5           | 8.0           | 3.0            | 2.4        | 221.0                   |
| AI 36         | 38.0                          | 75        | 75         | 13.5           | 8.0           | 3.0            | 2.4        | 287.0                   |

Tabla 2.5.5.D.- Arandelas para perfil UPN

|               |                               |           |            | Espesor        |               |                |            |                         |
|---------------|-------------------------------|-----------|------------|----------------|---------------|----------------|------------|-------------------------|
| Arandela tipo | Diámetro del agujero $d_1$ mm | Lado a mm | Testa b mm | Mayor $e_1$ mm | Medio $e=$ mm | Menor $e_2$ mm | Radio r mm | Peso de 1.000 piezas kg |
| AU 10         | 11.5                          | 22        | 22         | 3.8            | 3.0           | 2.0            | 1.6        | 8.7                     |
| AU 12         | 13.5                          | 30        | 26         | 4.9            | 4.0           | 2.5            | 2.0        | 18.2                    |
| AU 16         | 17.5                          | 36        | 32         | 5.9            | 4.5           | 3.0            | 2.4        | 31.4                    |
| AU 20         | 21.5                          | 44        | 40         | 7.0            | 5.0           | 3.5            | 2.8        | 55.9                    |
| AU 22         | 24.0                          | 50        | 44         | 8.0            | 6.0           | 4.0            | 3.2        | 80.5                    |
| AU 24         | 26.0                          | 56        | 56         | 8.5            | 6.0           | 4.0            | 3.2        | 127.0                   |
| AU 27         | 29.0                          | 62        | 56         | 9.0            | 6.5           | 4.0            | 3.2        | 140.0                   |
| AU 30         | 32.0                          | 62        | 62         | 9.0            | 6.5           | 4.0            | 3.2        | 153.0                   |
| AU 33         | 35.0                          | 68        | 68         | 9.4            | 7.0           | 4.0            | 3.2        | 190.0                   |
| AU 36         | 38.0                          | 75        | 75         | 10.0           | 7.0           | 4.0            | 3.2        | 243.0                   |

Tabla 2.5.5.E.- Tolerancias en tuercas y arandelas

|                                  |   | En tuercas                  |   | En arandelas negras         |   | En arandelas pulidas        |                                      | En arandelas para I y para C |               |                       |                         |
|----------------------------------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Diámetro nominal del tornillo mm | Espesor $T_m$ mm  | Medida entre caras $T_s$ mm | Diámetro del agujero $Td_1$ mm                                    | Diámetro exterior $Td_2$ mm | Diámetro del agujero $Td_1$ mm                                  | Diámetro exterior $Td_2$ mm | Diámetro del agujero $Td_1$ mm       | Lado $Ta$ mm                 | Testa $Tb$ mm | Para I                | Para C                  |
|                                  |   |                             |   |                             |   |                             |                                      |                              |               | Espesor menor $Te$ mm | Espesor menor $Te_2$ mm |
| 10                               | ±0.40   | 0.43                        | +0.5  | 0.8                         | ±0.4  | 0.5                         | +0.5                                 | ±0.65                        | ±2.00         | ±0.2                  | ±0.2                    |
| 12                               | ±0.50   | 0.52                        | +0.5  | 0.8                         | +0.4  | 0.5                         | +0.5                                 | ±0.65                        | ±2.00         | ±0.2                  | ±0.2                    |
| 16                               | ±0.65   | 0.52                        | +0.5  | 0.8                         | +0.5  | 0.5                         | +0.5                                 | ±0.80                        | ±2.50         | ±0.2                  | ±0.3                    |
| 20                               | ±0.80   | 0.52                        | +0.6  | 1.2                         | +0.5  | 0.8                         | +0.6                                 | ±0.80                        | ±2.50         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| 22                               | ±0.90   | 1.00                        | +0.6  | 1.2                         | +0.5  | 0.8                         | +0.6                                 | ±0.80                        | ±2.50         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| 24                               | ±0.95   | 1.00                        | +0.6  | 1.2                         | +0.5  | 0.8                         | +0.6                                 | ±0.80                        | ±3.00         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| 27                               | ±1.10   | 1.00                        | +0.6  | 1.2                         | +0.5  | 0.8                         | +0.6                                 | ±0.95                        | ±3.00         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| 30                               | ±1.20   | 1.00                        | +0.8  | 1.5                         | +0.6  | 1.0                         | +0.8                                 | ±0.95                        | ±3.00         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| 33                               | ±1.30   | 1.00                        | +0.8  | 1.5                         | +0.6  | 1.0                         | +0.8                                 | ±0.95                        | ±3.00         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| 36                               | ±1.45   | 1.20                        | +0.8  | 1.5                         | +0.6  | 1.0                         | +0.8                                 | ±0.95                        | ±3.00         | ±0.3                  | ±0.3                    |
| Todos                            | Ortogonalidad entre: Base y eje de la rosca: $T_\alpha = 2^\circ$<br>Caras y bases: $T_\beta = 2^\circ$ |                             | Espesor $T_n = \pm 1.2$<br>Paralelismo $(T_{n1} \cdot n_2) = 1.2$ |                             | Espesor $T_n = \pm 1$<br>Paralelismo $(T_{n1} \cdot n_2) = 0.3$ |                             | Inclinación de caras $T = \pm 0.5\%$ |                              |               |                       |                         |

### 2.5.6 Características de los aceros para tornillos ordinarios y calibrados

Para fabricar los tornillos y las tuercas se utilizará un acero adecuado. Las características del acero de los tornillos fabricados serán las que se especifican en la tabla 2.5.6.

#### Ensayos:

Si así se ha convenido en el pedido, y cuando el tamaño de la probeta lo permita, se determinará la resistencia a tracción  $\sigma_t$  y el alargamiento de rotura  $\delta$ .

Puede realizarse en todo caso el ensayo de dureza Brinell a título orientativo. En los tornillos se realizarán además los ensayos siguientes:

Rebatimiento de la cabeza.

Estrangulación (si no es posible el ensayo a tracción).

Rotura con entalladura.

#### Métodos de ensayo:

Los métodos de ensayo serán los siguientes: ensayo de tracción y dureza Brinell.

#### Ensayo de tracción:

La resistencia a tracción, el límite elástico y el alargamiento de rotura se determinan según 2.1.2.

#### Dureza Brinell:

La dureza Brinell se determina según 2.1.5.8. Cuando se trate de tornillos, se realizará el ensayo sobre la extremidad del vástago, convenientemente preparado y pulido. El resultado es aceptable si no aparecen grietas.

#### Rebatimiento de la cabeza:

Se introduce el tornillo en el agujero, del diámetro correspondiente, de un yunque cuya cara superior forme un ángulo de  $60^\circ$  con el eje del agujero (figura 2.5.6.A). Se rebate la cabeza en frío, a golpes de martillo, hasta que acople a la superficie del yunque, es decir, hasta que la superficie de apretadura forme  $30^\circ$  con el eje del tornillo. El resultado es aceptable si no aparecen grietas.

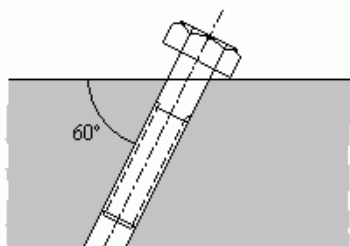


Figura 2.5.6.A.- Ensayo de rebatimiento

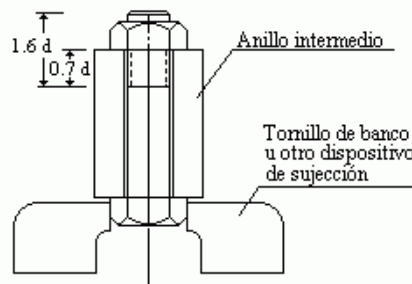


Figura 2.5.6.B.- Ensayo de estrangulación

#### Estrangulación:

Se aplica solamente a tornillos de 10 ó 12 mm de diámetro. El tornillo se dispone en un banco con el dispositivo de la figura 2.5.6.B y se aprieta la tuerca para producir una tracción en el vástago.

El resultado es aceptable si se alarga el vástago con una estrangulación marcada o se rompe por la caña o por la espiga, sin que se rompa o arranque la cabeza ni la tuerca.

#### Rotura con entalladura:

Se sierra la caña del tornillo con una sierra de acero, hasta la mitad de su sección. Se sujeta en un tornillo de banco y se rompe a martillazos.

El resultado es aceptable si la rotura no es frágil y presenta señales de deformación plástica.

#### Ensayo de mandrilado para las tuercas:

Este ensayo sirve para comprobar la capacidad de ensanchamiento de las tuercas. Se utiliza un mandril cónico engrasado, cuyo semiángulo de abertura sea de 1:100. El ensayo se realiza sobre una tuerca cuya rosca ha sido eliminada por escariado, ejerciendo presión uniforme en el mandril y debe soportar un ensanchamiento, medido sobre el diámetro del agujero, de un 5 por 100 aproximadamente.

#### Marcado del tornillo:

Los tornillos de acero de tipo A4t no es preceptivo que lleven marca; los de acero tipo A5t tendrán esta sigla, marcada en relieve o en hueco, en su cabeza.

Tabla 2.5.6.- Acero de los tornillos ordinarios y calibrados



| Clase de tornillos y sus tuercas | Tipo de acero de productos a unir | Tipo de acero de los tornillos | Resistencia a tracción $\sigma_r$<br>mínima máxima<br>kg/mm <sup>2</sup> | Límite de fluencia<br>$\delta_F$ mínima<br>kg/mm <sup>2</sup> | Alargamiento de rotura $\delta$ mínima<br>kg/mm <sup>2</sup> | Dureza Brinell<br>Diámetro de la huella mm |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|---|--|--|
| Ordinarios                       | A37<br>A42                        | A4t                            | 34 a 55  | 21  | 25   | 5.93 a 4.47                                |
| Calibrados                       | A37<br>A42<br>A52                 | A4t<br>A5t                     | 34 a 55<br>50 a 70   | 28  | 25<br>22   | 5.93 a 4.74<br>4.96 a 4.21                 |

El número que designa el acero es indicativo de su resistencia a tracción. La cifra de la dureza Brinell es solamente orientativa.

## 2.5.7 Tornillos de alta resistencia

Los tornillos de alta resistencia tienen la forma representada en la figura 2.5.7.A.

### Designación:

Los tornillos de alta resistencia se designan con la sigla TR, el diámetro d de la caña, el signo x, la longitud l del vástago, el tipo de acero y la referencia a esta norma; este último dato puede suprimirse cuando sea innecesario.

Ejemplo: Tornillo TR 20 x 55, A10t, NBE EA-95.

### Dimensiones y peso:

Las dimensiones de cada tipo de tornillo de alta resistencia y el diámetro del agujero correspondiente se dan en la tabla 2.5.7.A.

Las longitudes usuales con las que se suministran los distintos tipos de tornillos de alta resistencia, así como su peso por cad 1.000 piezas, con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm<sup>3</sup>, se indican en la tabla 2.5.7.B.

Los límites de la longitud de apretadura t, es decir, de la suma de los espesores de las piezas que se van a unir (figura 2.5.7.B), recomendados para cada tipo de tornillo de alta resistencia, en función de la longitud l de su vástago, se dan en la tabla 2.5.7.C.

### Tolerancias:

Las tolerancias en las dimensiones y en la forma de los tornillos de alta resistencia se dan en la tabla 2.5.7.D.

### Marcas:

Los tornillos de alta resistencia llevarán en la cabeza, marcadas en relieve, las letras TR y la sigla correspondiente al tipo de acero empleado en su fabricación, pudiendo agregar el fabricante, además, el nombre o signo de su marca registrada.

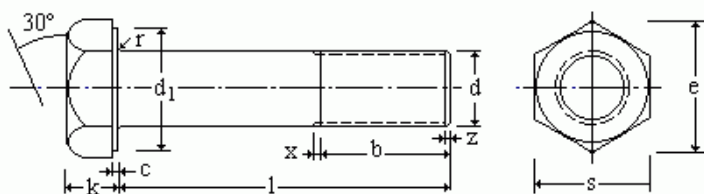


Figura 2.5.7.A.- Tornillo de alta resistencia

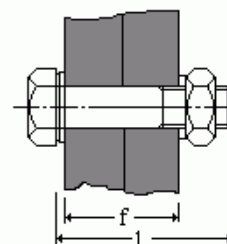


Figura 2.5.7.B.- Longitud de apretadura

Tabla 2.5.7.A.- Dimensiones de los tornillos de alta resistencia

| Torni-<br>llo<br>tipo | Vástago                     |   |         |         |         |                               | Cabeza          |                                  |                                     |   |                              | Diámetro<br>del<br>agujero<br>a mm |
|-----------------------|-----------------------------|---|---------|---------|---------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------|------------------------------------|
|                       | Diám. de<br>la caña d<br>mm | Longitud roscada b en función de la longitud<br>total l |         |         |         | Long. de<br>la salida<br>x mm | Espesor<br>k mm | Medida<br>entre<br>caras<br>s mm | Medida<br>entre<br>aristas<br>e= mm | Diámetro<br>exetrior de la<br>base de la<br>cabeza<br>d <sub>2</sub> (mín) mm | Radio del<br>acuerdo<br>r mm |                                    |
|                       |                             | l<br>mm   | b<br>mm | l<br>mm | b<br>mm |                               |                 |                                  |                                     |   |                              |                                    |
| TR 12                 | 12                          | ≤ 40  | 21      | ≥ 45    | 23      | 2.5                           | 8               | 22                               | 25.4                                | 20.0  | 1.6                          | 13-14                              |
| TR 16                 | 16                          | ≤ 70  | 26      | ≥ 75    | 28      | 3.0                           | 10              | 27                               | 31.2                                | 25.0  | 1.6                          | 17-18                              |
| TR 20                 | 20                          | ≤ 85  | 31      | ≥ 90    | 33      | 4.0                           | 13              | 32                               | 36.9                                | 30.0  | 2.0                          | 21-22                              |
| TR 22                 | 22                          | ≤ 85  | 32      | ≥ 90    | 34      | 4.0                           | 14              | 36                               | 41.6                                | 34.0  | 2.0                          | 23-24                              |
| TR 24                 | 24                          | ≤ 85  | 34      | ≥ 90    | 37      | 4.5                           | 15              | 41                               | 47.3                                | 39.0  | 2.0                          | 25-26                              |
| TR 27                 | 27                          | ≤ 95  | 37      | ≥ 100   | 39      | 4.5                           | 17              | 46                               | 53.1                                | 43.5  | 2.5                          | 28-29                              |

Tabla 2.5.7.B.- Peso de los tornillos de alta resistencia

| Longitud del<br>vástago<br>l mm        | Peso en kg de 1000 tornillos sin tuerca |       |       |       |       |       |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | TR 12                                   | TR 16 | TR 20 | TR 22 | TR 24 | TR 27 |
| 30                                     | 42                                      | -     | -     | -     | -     | -     |
| 35                                     | 52                                      | -     | -     | -     | -     | -     |
| 40                                     | 56                                      | 105   | -     | -     | -     | -     |
| 45                                     | 59                                      | 113   | -     | -     | -     | -     |
| 50                                     | 64                                      | 121   | 194   | -     | -     | -     |
| 55                                     | 68                                      | 129   | 207   | 264   | -     | -     |
| 60                                     | 72                                      | 137   | 219   | 279   | 353   | -     |
| 65                                     | 77                                      | 145   | 232   | 294   | 371   | -     |
| 70                                     | 81                                      | 153   | 244   | 309   | 389   | 519   |
| 75                                     | -                                       | 157   | 257   | 324   | 407   | 542   |
| 80                                     | -                                       | 165   | 269   | 339   | 425   | 564   |
| 85                                     | -                                       | 173   | 282   | 354   | 443   | 587   |
| 90                                     | -                                       | 181   | 288   | 363   | 449   | 609   |
| 95                                     | -                                       | 189   | 301   | 378   | 467   | 632   |
| 100                                    | -                                       | 197   | 313   | 393   | 485   | 645   |
| 105                                    | -                                       | 205   | 326   | 408   | 503   | 666   |
| 110                                    | -                                       | -     | 338   | 423   | 521   | 687   |
| 115                                    | -                                       | -     | 351   | 438   | 539   | 708   |
| 120                                    | -                                       | -     | 363   | 453   | 557   | 729   |
| 125                                    | -                                       | -     | 376   | 468   | 575   | 750   |
| 130                                    | -                                       | -     | 388   | 483   | 593   | 771   |
| 135                                    | -                                       | -     | -     | -     | 611   | 792   |
| 140                                    | -                                       | -     | -     | -     | 629   | 813   |
| 145                                    | -                                       | -     | -     | -     | 647   | 834   |
| 150                                    | -                                       | -     | -     | -     | 665   | 855   |
| 155                                    | -                                       | -     | -     | -     | -     | 876   |
| 160                                    | -                                       | -     | -     | -     | -     | 897   |
| Peso de la<br>tuerca kg/1000<br>piezas | 23,3                                    | 44,8  | 73,9  | 104   | 155   | 224   |

Tabla 2.5.7.C.- Longitud de apretadura de los tornillos de alta resistencia

| Long. del<br>vástago<br>l mm | Límites de la longitud de apretadura, t, en mm de los<br>tornillos del tipo |       |       |       |         |         |
|------------------------------|---|-------|-------|-------|---------|---------|
|                              | TR 12   | TR 16 | TR 20 | TR 22 | TR 24   | TR 27   |
| 30                           | 6-10  | -     | -     | -     | -       | -       |
| 35                           | 11-14   | -     | -     | -     | -       | -       |
| 40                           | 15-19   | 10-14 | -     | -     | -       | -       |
| 45                           | 20-24   | 15-19 | -     | -     | -       | -       |
| 50                           | 25-29   | 20-23 | 15-19 | -     | -       | -       |
| 55                           | 30-34   | 24-28 | 20-24 | 19-23 | -       | -       |
| 60                           | 35-38   | 29-33 | 25-29 | 24-28 | 22-26   | -       |
| 65                           | 39-43   | 34-38 | 30-34 | 29-33 | 27-31   | -       |
| 70                           | 44-48   | 39-43 | 35-39 | 34-37 | 32-36   | 27-31   |
| 75                           | -   | 44-48 | 40-44 | 38-42 | 37-41   | 32-36   |
| 80                           | -   | 49-52 | 45-49 | 43-47 | 42-46   | 37-41   |
| 85                           | -   | 53-57 | 50-53 | 48-52 | 47-50   | 42-46   |
| 90                           | -   | 58-62 | 54-58 | 53-57 | 51-55   | 47-51   |
| 95                           | -   | 63-67 | 59-63 | 58-62 | 56-60   | 52-56   |
| 100                          | -   | 68-72 | 64-68 | 63-67 | 61-65   | 57-61   |
| 105                          | -   | 73-77 | 69-73 | 68-72 | 66-70   | 62-66   |
| 110                          | -   | -     | 74-78 | 73-77 | 71-75   | 67-71   |
| 115                          | -   | -     | 79-83 | 78-82 | 76-80   | 72-76   |
| 120                          | -   | -     | 84-88 | 83-86 | 81-85   | 77-80   |
| 125                          | -   | -     | 89-92 | 87-91 | 86-89   | 81-85   |
| 130                          | -   | -     | 93-97 | 92-96 | 90-94   | 86-90   |
| 135                          | -   | -     | -     | -     | 95-99   | 91-95   |
| 140                          | -   | -     | -     | -     | 100-104 | 96-100  |
| 145                          | -   | -     | -     | -     | 105-109 | 101-105 |
| 150                          | -   | -     | -     | -     | 110-114 | 106-110 |

|     |   |   |   |   |   |         |
|-----|---|---|---|---|---|---------|
| 155 | - | - | - | - | - | 111-115 |
| 160 | - | - | - | - | - | 116-120 |

**Tabla 2.5.7.D Tolerancias dimensionales de los tornillos de alta resistencia**

| Tornillo tipo | Tolerancias en mm      |                         |                        |                      |                      |   | Longitud del tornillo l | Tolerancia en la longitud TI |
|---------------|------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---|-------------------------|------------------------------|
|               | Diámetro de la caña Td | Espesor de la cabeza Tk | Medidas entre caras Ts | Radio del acuerdo Tr | Longitud de rosca Tb | Centrado de la cabeza con el vástago Tc |                         |                              |
| TR 12         | -0.70                  | ±0.45                   | -0.52                  | -0.40                | +2.6                 | 0.70                                    | 30 a 50<br>55 a 80      | ± 1.2<br>± 1.5               |
| TR 16         | -0.70                  | ±0.45                   | -0.52                  | -0.40                | +3.0                 | 0.70                                    |                         |                              |
| TR 20         | -0.84                  | ±0.90                   | -1.00                  | -0.50                | +3.7                 | 0.84                                    |                         |                              |
| TR 22         | -0.84                  | ±0.90                   | -1.00                  | -0.50                | +3.7                 | 0.84                                    | 85 a 120<br>125 a 150   | ± 1.7<br>± 2.0               |
| TR 24         | -0.84                  | ±0.90                   | -1.00                  | -0.50                | +4.5                 | 0.84                                    |                         |                              |
| TR 27         | -0.84                  | ±0.90                   | -1.00                  | -0.50                | +4.5                 | 0.84                                    |                         |                              |

Angulo recto entre el eje de la caña y la base de la cabeza:  $T_{\alpha} = 2^{\circ}$ .  
 Diedros rectos entre las cañas y la base de la cabeza:  $T_{\beta} = 2^{\circ}$ .  
 Inclinación entre el eje de la caña y el eje de la rosca:  $T_{\gamma} = 1^{\circ}$ .

### 2.5.8. Tuercas

Las tuercas para los tornillos de alta resistencia tienen la forma indicada en la figura 2.5.8. En ambas caras los bordes del agujero roscado estarán biselados con un ángulo de  $120^{\circ}$ .

#### Designación:

Las tuercas se designan con la sigla MR, el diámetro nominal d, el tipo de acero y la referencia a esta norma; ésta última indicación puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Ejemplo: Tuerca MR 27, A8t, NBE EA-95.

#### Dimensiones y peso:

Las dimensiones de las tuercas de cada tipo, así como el peso de 1.000 piezas, con un peso específico de acero de  $7.85 \text{ kg/dm}^3$ , se indican en la tabla 2.5.8.A.

#### Tolerancias:

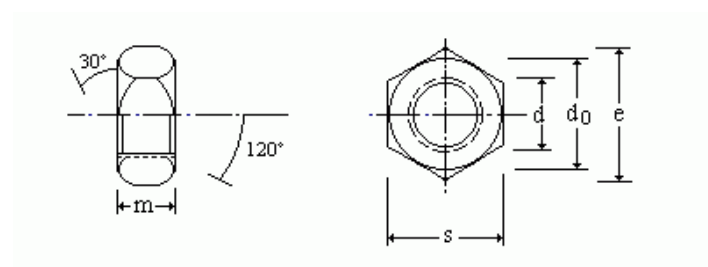
Las tolerancias en las dimensiones y en la forma de las tuercas de alta resistencia se establecen en la tabla 2.5.8.B.

#### Marcas:

Sobre una de sus bases, las tuercas de alta resistencia llevarán marcadas, en relieve, las letras MR y la sigla correspondiente al tipo de acero empleado en la fabricación, pudiendo agregar, además, el fabricante el nombre o signo de la marca registrada.

#### Colocación:

Las tuercas de alta resistencia se colocarán siempre de tal forma que la marca en relieve quede situada hacia el exterior.



**Figura 2.5.8.- Tuerca de alta resistencia**

**Tabla 2.5.8.A.- Tuercas de alta resistencia**

| Tuerca tipo | Dimensiones           |  |              |                             |                          | Peso de 1000 piezas kg |
|-------------|-----------------------|--|--------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
|             | Diámetro nominal d mm | Diámetro de la cara de apoyo d <sub>a</sub> mm | Espesor m mm | Medidas entre aristas e= mm | Medidas entre caras s mm |                        |
| MR 12       | 12                    | 20.0   | 10           | 25.4                        | 22                       | 23.0                   |
| MR 16       | 16                    | 25.0   | 13           | 31.2                        | 27                       | 44.8                   |

|       |    |      |    |      |    |       |
|-------|----|------|----|------|----|-------|
| MR 20 | 20 | 30.0 | 16 | 36.9 | 32 | 73.9  |
| MR 22 | 22 | 34.0 | 18 | 41.6 | 36 | 104.0 |
| MR 24 | 24 | 39.0 | 19 | 47.3 | 41 | 155.0 |
| MR 27 | 27 | 43.5 | 22 | 53.1 | 46 | 224.0 |

**Tabla 2.5.8.B.- Tolerancias dimensionales en tuercas de alta resistencia**

| Tuerca tipo | Tolerancias en   |                              |
|-------------|------------------|------------------------------|
|             | Espesor<br>Tm mm | Medidas entre caras<br>Ts mm |
| MR 12       | -0.58            | -0.52                        |
| MR 16       | -0.70            | -0.52                        |
| MR 20       | -0.70            | -1.00                        |
| MR 22       | -0.70            | -1.00                        |
| MR 24       | -0.84            | -1.00                        |
| MR 27       | -0.84            | -1.00                        |

### 2.5.9 Arandelas

Las arandelas para emplear con los tornillos de alta resistencia tendrán la forma indicada en la figura 2.5.9.A. Los biseles indicados en la figura son preceptivos.

#### Designación:

Las arandelas para tornillos de alta resistencia se designan con la sigla AR, el diámetro nominal  $d$  del tornillo con el que se emplean y la referencia de la norma, que puede suprimirse cuando sea innecesaria.

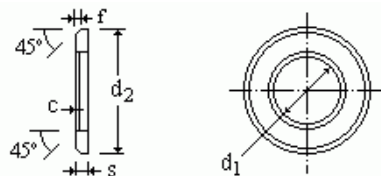
Ejemplo: Arandela AR 12, NBE EA-95.

#### Dimensiones y pesos:

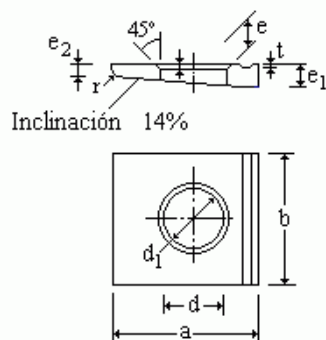
Las dimensiones de las arandelas de cada tipo, así como el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de  $7.85 \text{ kg/dm}^3$ , se indican en la tabla 2.5.9.A.

#### Marcas:

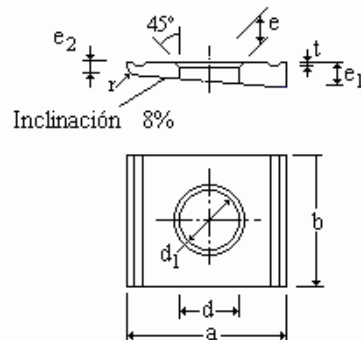
Las arandelas para utilizar con los tornillos de alta resistencia llevarán grabada sobre la cara biselada la sigla AR, pudiendo el fabricante agregar, además, el nombre o signo de su marca registrada.



**Figura 2.5.9.A.- Arandela normal AR**



**Figura 2.5.9.B.- Arandela AR para perfil IPN**



**Figura 2.5.9.C.- Arandela AR perfil UPN**

#### Arandelas para perfiles IPN:

Las arandelas para tornillos de alta resistencia que han de emplearse sobre las caras interiores de las alas de los perfiles IPN tienen la forma indicada en la figura 2.5.9.B. El bisel y la ranura indicados en la figura son preceptivos.

Se designan con la sigla ARI, el diámetro nominal " $d$ " del tornillo con el que se emplean y la referencia a la norma, que puede suprimirse cuando sea innecesaria. Ejemplo: Arandela ARI 20, NBE EA-95.

Las dimensiones de las arandelas de cada tipo y el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm³, se indican en la tabla 2.5.9.B.

Sobre la cara ranurada, la arandela llevará grabadas las letras AR, pudiendo el fabricante agregar el nombre o signo de su marca registrada.

**Arandelas para perfiles UPN:**

Las arandelas para tornillos de alta resistencia que han de emplearse sobre las caras interiores de las alas de los perfiles UPN tienen la forma indicada en la figura 2.5.9.C. El bisel y las dos ranuras indicadas en la figura son preceptivos. Se designan con la sigla ARU, el diámetro nominal del tornillo con que se emplean y la referencia a la norma, que puede suprimirse cuando sea innecesaria. Ejemplo: Arandela ARU 12, NBE EA-95.

Las dimensiones de las arandelas de cada tipo y el peso de 1.000 piezas, con un peso específico del acero de 7.85 kg/dm³, se indican en la tabla 2.5.9.C.

Sobre la cara ranurada, la arandela llevará grabadas las letras AR, pudiendo el fabricante agregar el nombre o signo de su marca registrada.

**Colocación:**

Todas las arandelas se colocarán de tal manera que su cara biselada quede en contacto con la tuerca o con la cabeza del tornillo. Las ranuras de las arandelas para perfiles IPN y UPN deberán quedar paralelas al borde del perfil.

**Tolerancias:**

Las tolerancias en las dimensiones y en la forma de las arandelas para tornillos de alta resistencia se establecen en la tabla 2.5.9.D; las de las arandelas para perfiles IPN, en la tabla 2.5.9.E, y las de las arandelas para perfiles UPN, en la tabla 2.5.9.F.

**Tabla 2.5.9.A.- Arandelas normales para tornillos de alta resistencia**

| Arandela tipo | Dimensiones                         |                                     |              |                                     |                                     | Peso de 1.000 piezas kg |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
|               | Diámetro interior d <sub>1</sub> mm | Diámetro exterior d <sub>2</sub> mm | Espesor s mm | Profundidad del bisel interior c mm | Profundidad del bisel exterior f mm |                         |
| AR 12         | 13                                  | 24                                  | 3            | 1.6                                 | 0.5                                 | 7.03                    |
| AR 16         | 17                                  | 30                                  | 4            | 1.6                                 | 1.0                                 | 14.60                   |
| AR 20         | 21                                  | 36                                  | 4            | 1.6                                 | 1.0                                 | 20.00                   |
| AR 22         | 23                                  | 40                                  | 4            | 2.0                                 | 1.0                                 | 24.80                   |
| AR 24         | 25                                  | 44                                  | 4            | 2.0                                 | 1.0                                 | 30.60                   |
| AR 27         | 28                                  | 50                                  | 5            | 2.5                                 | 1.0                                 | 50.20                   |

**Tabla 2.5.9.B.- Arandelas de alta resistencia para perfil IPN**

| Arandela tipo | Diámetro del agujero d <sub>1</sub> mm | Lado a mm | Testa b mm | Espesor                 |             |                         | Radio r mm | Profundidad del bisel c mm | Profundidad de ranura t mm | Peso de 1.000 piezas kg |
|---------------|--|-----------|------------|-------------------------|-------------|-------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|               |  |           |            | Mayor e <sub>1</sub> mm | Medio e= mm | Menor e <sub>2</sub> mm |            |                            |                            |                         |
| ARI 12        | 13                                     | 30        | 26         | 6.2                     | 4.0         | 2.0                     | 1.6        | 1.5                        | 0.7                        | 20.3                    |
| ARI 16        | 17                                     | 36        | 32         | 7.5                     | 5.0         | 2.5                     | 2.0        | 1.5                        | 0.8                        | 35.3                    |
| ARI 20        | 21                                     | 44        | 40         | 9.2                     | 6.0         | 3.0                     | 2.4        | 1.5                        | 0.9                        | 64.8                    |
| ARI 22        | 23                                     | 50        | 44         | 10.0                    | 6.5         | 3.0                     | 2.4        | 2.0                        | 1.0                        | 87.9                    |
| ARI 24        | 25                                     | 56        | 56         | 10.8                    | 7.0         | 3.0                     | 2.4        | 2.0                        | 1.0                        | 140.0                   |
| ARI 27        | 28                                     | 56        | 56         | 10.8                    | 7.0         | 3.0                     | 2.4        | 2.5                        | 1.0                        | 126.0                   |

**Tabla 2.5.9.C.- Arandelas de alta resistencia para perfil UPN**

| Arandela tipo | Diámetro del agujero d <sub>1</sub> mm | Lado a mm | Testa b mm | Espesor                 |             |                         | Radio r mm | Profundidad del bisel c mm | Profundidad de ranura t mm | Peso de 1.000 piezas kg |
|---------------|--|-----------|------------|-------------------------|-------------|-------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|               |  |           |            | Mayor e <sub>1</sub> mm | Medio e= mm | Menor e <sub>2</sub> mm |            |                            |                            |                         |
| ARU 12        | 13                                     | 30        | 26         | 4.9                     | 4.0         | 2.5                     | 2.0        | 1.5                        | 0.7                        | 18.3                    |
| ARU 16        | 17                                     | 36        | 32         | 5.9                     | 4.5         | 3.0                     | 2.4        | 1.5                        | 0.8                        | 31.5                    |
| ARU 20        | 21                                     | 44        | 40         | 7.0                     | 5.0         | 3.5                     | 2.8        | 1.5                        | 0.9                        | 56.3                    |
| ARU 22        | 23                                     | 50        | 44         | 8.0                     | 6.0         | 4.0                     | 3.2        | 2.0                        | 1.0                        | 81.1                    |
| ARU 24        | 25                                     | 56        | 56         | 8.5                     | 6.0         | 4.0                     | 3.2        | 2.0                        | 1.0                        | 128.0                   |
| ARU 27        | 28                                     | 56        | 56         | 8.5                     | 6.0         | 4.0                     | 3.2        | 2.5                        | 1.0                        | 114.0                   |

**Tabla 2.5.9.D.- Tolerancias dimensionales de las arandelas normales para tornillos de alta resistencia**

| Arandela tipo | Tolerancias en                          |   |                  |  |
|---------------|---|---|------------------|--|
|               | Diámetro interior<br>Td <sub>1</sub> mm | Diámetro exterior<br>Td <sub>2</sub> mm | Espesor<br>Ts mm | Profundidad del<br>bisel interior<br>Tl mm |
| AR 12         | +0.5                                    | -0.8                                    | ±0.3             | +0.3                                       |
| AR 16         | +0.5                                    | -0.8                                    | ±0.3             | +0.3                                       |
| AR 20         | +0.6                                    | -1.2                                    | ±0.3             | +0.3                                       |
| AR 22         | +0.6                                    | -1.2                                    | ±0.3             | +0.5                                       |
| AR 24         | +0.6                                    | -1.2                                    | ±0.3             | +0.5                                       |
| AR 27         | +0.6                                    | -1.2                                    | ±0.6             | +0.5                                       |

**Tabla 2.5.9.E.- Tolerancias dimensionales en arandelas de alta resistencia para perfiles IPN**

| Arandela tipo                 | Tolerancias en                   |               |                |                                     |                                   |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                               | Diámetro del<br>agujero<br>Td mm | Lado<br>Ta mm | Testa<br>Tb mm | Espesor menor<br>Te <sub>2</sub> mm | Profundidad del<br>bisel<br>Tc mm |
| ARI 12                        | +0.5                             | ±0.65         | ±2.0           | ±0.2                                | +0.3                              |
| ARI 16                        | +0.5                             | ±0.80         | ±2.5           | ±0.2                                | +0.3                              |
| ARI 20                        | +0.6                             | ±0.80         | ±2.5           | ±0.3                                | +0.3                              |
| ARI 22                        | +0.6                             | ±0.80         | ±2.5           | ±0.3                                | +0.5                              |
| ARI 24                        | +0.6                             | ±0.95         | ±3.0           | ±0.3                                | +0.5                              |
| ARI 27                        | +0.6                             | ±0.95         | ±3.0           | ±0.3                                | +0.5                              |
| Inclinación de caras: T=±0.5% |                                  |               |                |                                     |                                   |

**Tabla 2.5.9.F.- Tolerancias dimensionales en arandelas de alta resistencia para perfiles UPN**

| Arandela tipo                 | Tolerancias en                   |               |                |                                     |                                   |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                               | Diámetro del<br>agujero<br>Td mm | Lado<br>Ta mm | Testa<br>Tb mm | Espesor menor<br>Te <sub>2</sub> mm | Profundidad del<br>bisel<br>Tc mm |
| ARU 12                        | +0.5                             | ±0.65         | ±2.0           | ±0.2                                | +0.3                              |
| ARU 16                        | +0.5                             | ±0.80         | ±2.5           | ±0.2                                | +0.3                              |
| ARU 20                        | +0.6                             | ±0.80         | ±2.5           | ±0.3                                | +0.3                              |
| ARU 22                        | +0.6                             | ±0.80         | ±2.5           | ±0.3                                | +0.5                              |
| ARU 24                        | +0.6                             | ±0.95         | ±3.0           | ±0.3                                | +0.5                              |
| ARU 27                        | +0.6                             | ±0.95         | ±3.0           | ±0.3                                | +0.5                              |
| Inclinación de caras: T=±0.5% |                                  |               |                |                                     |                                   |

## 2.5.10 Características de los aceros para tornillos de alta resistencia

Para tornillos y tuercas, así como para arandelas de alta resistencia se emplearán los aceros que se indican a continuación.

En los tornillos y tuercas se realizarán los ensayos que se indican.

### Aceros para tornillos y tuercas:

Las características de los aceros para tornillos y tuercas de alta resistencia se especifican en la tabla 2.5.10.A.

En la tabla 2.5.10.B se dan algunas indicaciones sobre los límites de composición química de dichos aceros.

Para los aceros A8t y A10t es preceptivo un tratamiento de temple y revenido; este último con una temperatura mínima de 500°C.

### Aceros para arandelas:

El acero para las arandelas será del tipo F 115 especificado en la norma UNE 36 051-1 y 2 (EN 10 083-1 y 2), templado en agua o aceite y revenido.

Su resistencia a tracción después del tratamiento será no menor que 100 kg/cm<sup>2</sup>, con alargamiento de rotura no menor que el 6 por 100; el límite elástico convencional, no menor que 80kg/cm<sup>2</sup>, y la resiliencia a 20°C, no menor que 4 kg/cm<sup>2</sup>. La dureza Brinell, como valor indicativo, estará comprendida entre 278 y 308.

**Tabla 2.5.10.A.- Características mecánicas de los aceros para tornillos y tuercas de alta resistencia**

| Tipo del acero  | Resistencia a tracción $\sigma_T$ mín. máx. kg/mm <sup>2</sup> | Límite elástico convencional $\sigma_e$ mín. kg/mm <sup>2</sup> | Alargamiento de rotura $\delta$ mín. % | Resiliencia a 20° $\rho$ mín. kgm/cm <sup>2</sup> | Dureza Brinell | Utilización        |
|---|--|---|--|---|----------------|--------------------|
| A6t   | 60 a 80  | 54  | 12                                     | 4   | 175 a 235      | Sólo tuercas       |
| A8t   | 80 a 100   | 64  | 12                                     | 7   | 235 a 295      | Tornillo y tuercas |
| A10t  | 100 a 120  | 90  | 8                                      | 5   | 295 a 350      | Sólo tornillos     |
| El número que designa el acero es indicativo de su mínima resistencia a tracción. La cifra de la dureza Brinell es solamente orientativa. |  |   |  |   |                |                    |

**Tabla 2.5.10.B.- Composición química de los aceros para tornillos y tuercas de alta resistencia.**

| Tipo del acero | C %         | P %     | S %     | Cr+Ni+Mo % | Colada recomendada              |
|----------------|-------------|---------|---------|------------|---------------------------------|
| A6t            | 0.25 a 0.50 | < 0.065 | < 0.055 | -          | Martin, calmado                 |
| A8t            | 0.30 a 0.50 | < 0.045 | < 0.045 | -          | Martin, calmado-horno eléctrico |
| A10t           | < 0.50      | < 0.035 | < 0.035 | > 0.90     | Martin, calmado-horno eléctrico |

#### Ensayos:

Salvo estipulación especial entre el fabricante y el comprador, los ensayos de recepción de los tornillos, tuercas y arandelas se ajustarán a las prescripciones contenidas en los apartados siguientes:

##### Ensayo de tracción:

En los tornillos de diámetro no menor que 16 mm se determinarán la resistencia a la tracción, el límite elástico convencional y el alargamiento de rotura, realizándose el ensayo según lo que prescribe 2.1.5.4.

Como límite elástico convencional se tomará la tensión que corresponde a una deformación permanente del 0.2 por 100.

La preparación de la probeta se hará de tal forma que la reducción del diámetro durante el torneado no supere el 25 por 100 del valor inicial.

##### Dureza Brinell:

Se efectuará el ensayo según lo previsto en 2.1.5.8. En la tabla 2.5.10.A se dan las equivalencias entre diámetros de la huella, con bola de 10 mm de diámetro, los números de la dureza Brinell y la resistencia a tracción. Este último valor tiene únicamente un carácter de orientación.

##### Ensayo de resiliencia:

Se efectuará el ensayo según la norma UNE 7 475-1 (EN 10 045-1), empleando la probeta tipo D, pero con profundidad de entalladura de 3 mm. El ensayo queda limitado a tornillos con diámetros nominal 16 mm o mayor. Las probetas se tallarán de tal forma que la entalladura quede lo más próxima posible a la superficie primitiva del tornillo.

##### Rebatimiento de la cabeza:

Se introduce el tornillo en el agujero, del diámetro correspondiente, de un yunque cuya cara superior forma un ángulo de 80° con el eje del agujero (figura 2.5.10.A). Se rebata la cabeza en frío, a golpes de martillo hasta que se acople a la superficie del yunque, es decir, hasta que la base de la cabeza del tornillo forme un ángulo de 10° con el eje del tornillo. El resultado es aceptable si no aparecen grietas.

##### Rotura con entalladura:

Se sierra la caña del tornillo con una sierra de acero hasta la mitad de su sección. Se sujeta en un tornillo de banco y se rompe a martillazos.

La rotura debe ser dúctil y debe presentar, además, una tonalidad gris mate.

##### Comprobación de la descarburación:

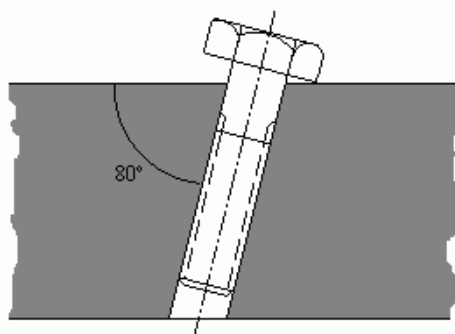
La comprobación de la descarburación se realiza sobre cualquier plano diametral de la parte roscada (figura 2.5.10.B), puliendo la probeta y atascando con solución alcohólica de ácido nítrico (nital).

Se mide la profundidad de la zona total o parcialmente descarburada, utilizando un microscopio de 100 aumentos; es aconsejable que tenga dispositivo de proyección, para poder dibujar el perfil de la zona descarburada. La profundidad de esta zona descarburada no será mayor que los valores consignados en la tabla 2.5.10.B. Se tomarán cuatro medidas en cuatro pares de filetes que sean consecutivos dos a dos.

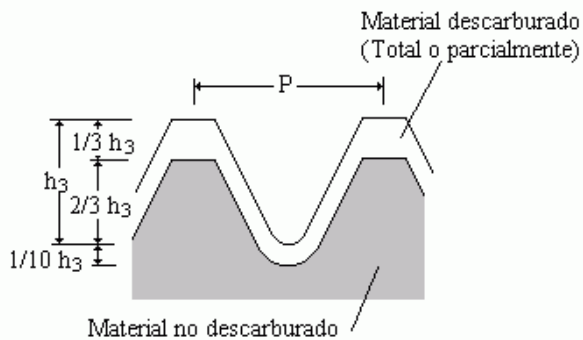
##### Ensayo de mandrilado para las tuercas:

Este ensayo sirve para comprobar la capacidad de ensanchamiento de las tuercas. Se utiliza un mandril cónico engrasado, cuyo semiángulo de abertura sea de 1:100.

El ensayo se realiza sobre una tuerca, cuya rosca ha sido eliminada por escariado, ejerciendo presión uniforme en el mandril, y debe soportar un ensanchamiento, medido sobre el diámetro del agujero, del 5 por 100.



**Figura 2.5.10.A.- Ensayo de rebatimiento**



**Figura 2.5.10.B Profundidad de descaburación**

**Tabla 2.5.10.A.- Dureza Brinell**

| Diámetro de la huella, con bola de 10 mm mm | Número Brinell | Resistencia a tracción equivalente kg/mm <sup>2</sup> |
|---|----------------|---|
| 4,55  | 174            | 61  |
| 4,50  | 179            | 63  |
| 4,45  | 183            | 64  |
| 4,40  | 187            | 66  |
| 4,35  | 192            | 67  |
| 4,30  | 197            | 68  |
| 4,25  | 202            | 70  |
| 4,20  | 207            | 71  |
| 4,15  | 212            | 73  |
| 4,10  | 217            | 75  |
| 4,05  | 223            | 78  |
| 4,00  | 229            | 80  |
| 3,95  | 235            | 82  |
| 3,90  | 241            | 84  |
| 3,85  | 248            | 86  |
| 3,80  | 255            | 88  |
| 3,75  | 262            | 90  |
| 3,70  | 269            | 92  |
| 3,65  | 277            | 95  |
| 3,60  | 285            | 98  |
| 3,55  | 293            | 100   |
| 3,50  | 302            | 103   |
| 3,45  | 311            | 106   |
| 3,40  | 321            | 109   |
| 3,35  | 331            | 109   |
| 3,30  | 341            | 109   |
| 3,25  | 352            | 110   |
| 3,20  | 363            | 110   |

**Tabla 2.5.10.B.- Profundidad de descaburación**

| Tornillo tipo | 1/10 h <sub>3</sub> mm | 1/3 h <sub>3</sub> mm | 2/3 h <sub>3</sub> mm |
|---------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| TR 12         | 0,11                   | 0,36                  | 0,72                  |
| TR 16         | 0,12                   | 0,41                  | 0,82                  |
| TR 20         | 0,15                   | 0,51                  | 1,00                  |
| TR 22         | 0,15                   | 0,51                  | 1,00                  |
| TR 24         | 0,18                   | 0,61                  | 1,20                  |
| TR 27         | 0,18                   | 0,61                  | 1,20                  |

#### 2.5.11 Características garantizadas

El fabricante garantiza que los tornillos, tuercas o arandelas que suministre cumplen las condiciones dimensionales y las características de los aceros especificados en esta norma.



### 2.5.12 Suministro y recepción

El suministro y la recepción de tornillos, tuercas y arandelas de alta resistencia se efectuará en la forma siguiente:

#### Suministro:

Las piezas se suministrarán ligeramente engrasadas, en envases adecuados suficientemente protegidas para que no sean dañadas por los golpes de un transporte ordinario.

Cada envase contendrá solamente tornillos, o tuercas, o arandelas, de un mismo tipo, longitud y calidad.

Cada envase llevará una etiqueta indicando:

- marca del fabricante;
- designación del tornillo, tuerca o arandela;
- tipo de acero, y
- número de piezas que contiene.

Para su fácil distinción en taller y en obra se recomienda la utilización de etiquetas coloreadas en los envases de tornillos y tuercas de alta resistencia según el tipo de acero:

A6t    verde

A8t    rojo

A10t   azul

#### Recepción:

Para la recepción de un suministro de tornillos, tuercas y arandelas se dividirá éste en lotes. Cada lote estará constituido por piezas del mismo pedido, tipo, dimensiones y tipo de acero.

De cada lote se separarán un número de muestras que se fijará de acuerdo entre el fabricante y el comprador, sin exceder del 2 por 100 del número de piezas que componen el lote.

En las muestras se comprobarán las dimensiones establecidas con las tolerancias que se fijan en 2.5.2, 2.5.3, 2.5.4, 2.5.5, 2.5.8, 2.5.9 y 2.5.10. Además, se comprobará que las muestras tienen sus superficies lisas, que no presentan fisuras, rebabas ni otros defectos perjudiciales para su empleo, y que los hilos de la rosca de tornillos y tuercas no tienen defecto de material ni huellas de herramienta.

Si de la comprobación resultase que es defectuoso más de un 5 por 100 de las muestras en sus dimensiones generales, o más de un 2 por 100 en las dimensiones de la rosca, se repetirán las comprobaciones sobre nuevas muestras, tomadas del lote, en número igual al de la primera comprobación. Si el número de muestras defectuosas en esta segunda comprobación superase también el 5 por 100 en sus dimensiones generales, o el 2 por 100 en las de la rosca, el lote es rechazable.

Las características mecánicas pueden comprobarse mediante ensayos de recepción sobre muestras de cada lote, que el consumidor puede encargar a su costa y que se ajustarán a lo prescrito en 2.5.10.

Si en un lote los resultados de los ensayos cumplen lo prescrito, el lote es aceptable.

Si el resultado de un ensayo no cumple lo prescrito, se realizarán dos nuevos ensayos de comprobación sobre nuevas muestras del lote. Si los dos resultados cumplen lo prescrito, el lote es aceptable; en caso contrario, es rechazable. El coste de los ensayos de comprobación, y el de todos los efectuados sobre un lote que resulte rechazable, no será cobrado por el fabricante si los realiza él, y será abonado por el fabricante si se realizan en un laboratorio oficial o acreditado en el área técnica correspondiente.

### 2.5.13 Notación para los planos de ejecución






En los planos de ejecución realizados según 5.3.1, los tornillos se presentarán con los signos indicados en la tabla 2.5.13.

En el ángulo superior izquierdo se rotulará el diámetro del agujero, y en el inferior izquierdo la sigla de la clase de tornillo.

A modo de ejemplo, los signos corresponden a agujero de 21 mm con tornillo de 20.

Tabla 2.5.13 Representación de los tornillos

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Tornillo ordinario colocado en taller |  |
| Tornillo calibrado colocado en taller |  |
| Tornillo ordinario colocado en obra   |  |

|   |   |
|---|---|
| Tornillo ordinario, agujero taladrado en obra           |   |
| Tornillo ordinario en agujero roscado                   |  |
| Tornillo de alta resistencia colocado en taller         |  |
| Tornillo de alta resistencia colocado en obra           |  |
| Tornillo de alta resistencia, agujero taladrado en obra |  |

## ANEJO 2.A2 Perfiles huecos

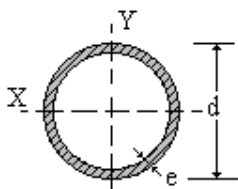
**Perfiles huecos utilizados:** En las tablas de este Anejo figuran, a título informativo, datos sobre perfiles huecos conformados en frío que se utilizan usualmente.

**Perfil hueco redondo:** Tiene sección anular de diámetro exterior  $d$  y espesor  $e$  no mayor que,  $0,1 d$  ni menor que  $0,025 d$ . Las dimensiones y los términos de sección se detallan en la tabla 2.A2.1

**Perfil hueco cuadrado:** Tiene sección cuadrada hueca, de lado  $a$  y espesor  $e$  no mayor que  $0,1 a$  ni menor que  $0,025 a$  con aristas redondeadas. Las dimensiones y los términos de sección se detallan en la tabla 2.A2.2

**Perfil hueco rectangular:** Tiene sección rectangular hueca de lados  $a > b$  y espesor  $e$ , no mayor que  $0,1 b$  ni menor que  $0,025 a$  con aristas redondeadas. Las dimensiones y los términos de sección se detallan en la tabla 2.A2.3.

**Tabla 2.A2.1.- Perfiles huecos redondos**



$u$  = Perímetro.

$A$  = Área de la de la sección

$S$  = Momento estático de media sección, respecto a un eje baricéntrico.

$I$  = Momento de inercia de la sección, respecto a un eje baricéntrico.

$W = 2 I : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto a un eje baricéntrico.

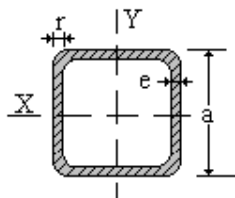
$i = (I : A)^{1/2}$  Radio de giro de la sección, respecto a un eje baricéntrico.

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección

| Perfil | Dimensiones |         |         | Términos de la sección |                      |                      |                      |         |                                   | Peso<br>P<br>kp/m |
|--------|-------------|---------|---------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|-----------------------------------|-------------------|
|        | d<br>mm     | e<br>mm | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup>   | S<br>cm <sup>3</sup> | I<br>cm <sup>4</sup> | W<br>cm <sup>3</sup> | i<br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> |                   |
| Ø 40.2 | 40          | 2       | 126     | 2,39                   | 1,44                 | 4,33                 | 2,16                 | 1,35    | 8,66                              | 1,88              |
| Ø 40.3 | 40          | 3       | 126     | 3,49                   | 2,05                 | 6,01                 | 3,00                 | 1,31    | 12,00                             | 2,74              |
| Ø 40.4 | 40          | 4       | 126     | 4,52                   | 2,60                 | 7,42                 | 3,71                 | 1,28    | 14,80                             | 3,55              |
|        |             |         |         |                        |                      |                      |                      |         |                                   |                   |
| Ø 45.2 | 45          | 2       | 141     | 2,70                   | 1,85                 | 6,26                 | 2,78                 | 1,52    | 12,50                             | 2,12              |
| Ø 45.3 | 45          | 3       | 141     | 3,96                   | 2,65                 | 8,77                 | 3,90                 | 1,49    | 17,50                             | 3,11              |
| Ø 45.4 | 45          | 4       | 141     | 5,15                   | 3,37                 | 10,9                 | 4,84                 | 1,45    | 21,80                             | 4,04              |
|        |             |         |         |                        |                      |                      |                      |         |                                   |                   |
| Ø 50.2 | 50          | 2       | 157     | 3,02                   | 2,30                 | 8,70                 | 3,48                 | 1,69    | 17,40                             | 2,37              |
| Ø 50.3 | 50          | 3       | 157     | 4,43                   | 3,31                 | 12,20                | 4,91                 | 1,66    | 24,50                             | 3,47              |
| Ø 50.4 | 50          | 4       | 157     | 5,78                   | 4,23                 | 15,40                | 6,16                 | 1,63    | 30,80                             | 4,53              |
|        |             |         |         |                        |                      |                      |                      |         |                                   |                   |
| Ø 55.2 | 55          | 2       | 173     | 3,33                   | 2,81                 | 11,70                | 4,25                 | 1,87    | 23,40                             | 2,61              |
| Ø 55.3 | 55          | 3       | 173     | 4,90                   | 4,06                 | 16,60                | 6,04                 | 1,84    | 33,20                             | 3,85              |
| Ø 55.4 | 55          | 4       | 173     | 6,41                   | 5,21                 | 21,00                | 7,64                 | 2,01    | 42,00                             | 5,03              |
|        |             |         |         |                        |                      |                      |                      |         |                                   |                   |
| Ø 60.2 | 60          | 2       | 188     | 3,64                   | 3,36                 | 15,30                | 5,11                 | 2,05    | 30,60                             | 2,86              |
| Ø 60.3 | 60          | 3       | 188     | 5,37                   | 4,87                 | 21,80                | 7,29                 | 2,01    | 43,70                             | 4,21              |
| Ø 60.4 | 60          | 4       | 188     | 7,04                   | 6,27                 | 27,70                | 9,24                 | 1,98    | 55,40                             | 5,52              |
|        |             |         |         |                        |                      |                      |                      |         |                                   |                   |
| Ø 65.2 | 65          | 2       | 204     | 3,96                   | 3,97                 | 19,70                | 6,06                 | 2,23    | 39,40                             | 3,11              |
| Ø 65.3 | 65          | 3       | 204     | 5,84                   | 5,78                 | 28,10                | 8,65                 | 2,19    | 56,20                             | 4,58              |
| Ø 65.4 | 65          | 4       | 204     | 7,67                   | 7,46                 | 35,80                | 11,60                | 2,16    | 71,60                             | 6,02              |
|        |             |         |         |                        |                      |                      |                      |         |                                   |                   |
| Ø 70.2 | 70          | 2       | 220     | 4,27                   | 4,62                 | 24,70                | 7,05                 | 2,41    | 49,40                             | 3,35              |

|         |     |   |     |       |       |       |        |      |       |       |
|---------|-----|---|-----|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|
| Ø 70.3  | 70  | 3 | 220 | 6,31  | 6,73  | 35,50 | 10,10  | 2,37 | 71,00 | 4,95  |
| Ø 70.4  | 70  | 4 | 220 | 8,29  | 8,72  | 45,30 | 12,90  | 2,34 | 90,60 | 6,51  |
| Ø 75.2  | 75  | 2 | 236 | 4,58  | 5,33  | 30,50 | 8,15   | 2,58 | 61,10 | 3,60  |
| Ø 75.3  | 75  | 3 | 236 | 6,78  | 7,78  | 44,00 | 11,70  | 2,54 | 88,00 | 5,32  |
| Ø 75.4  | 75  | 4 | 236 | 8,92  | 10,1  | 56,30 | 15,00  | 2,51 | 113,0 | 7,00  |
| Ø 80.2  | 80  | 2 | 251 | 4,90  | 6,09  | 37,30 | 9,330  | 2,76 | 74,6  | 3,85  |
| Ø 80.3  | 80  | 3 | 251 | 7,26  | 8,90  | 53,90 | 13,50  | 2,72 | 108,0 | 5,70  |
| Ø 80.4  | 80  | 4 | 251 | 9,55  | 11,6  | 69,10 | 17,30  | 2,69 | 138,0 | 7,50  |
| Ø 90.3  | 90  | 3 | 283 | 8,19  | 11,4  | 77,60 | 17,30  | 3,07 | 155,0 | 6,43  |
| Ø 90.4  | 90  | 4 | 283 | 10,80 | 14,8  | 100   | 22,30  | 3,04 | 200,0 | 8,48  |
| Ø 90.5  | 90  | 5 | 283 | 13,40 | 18,1  | 121   | 26,90  | 3,01 | 242,0 | 10,50 |
| Ø 100.3 | 100 | 3 | 314 | 9,14  | 14,1  | 108   | 21,50  | 3,43 | 215,0 | 7,17  |
| Ø 100.4 | 100 | 4 | 314 | 12,10 | 18,4  | 139   | 27,80  | 3,39 | 278,0 | 9,47  |
| Ø 100.5 | 100 | 5 | 314 | 14,90 | 22,6  | 169   | 33,80  | 3,36 | 238,0 | 11,7  |
| Ø 100.6 | 100 | 6 | 314 | 17,70 | 26,5  | 196   | 39,30  | 3,33 | 393,0 | 13,90 |
| Ø 125.4 | 125 | 4 | 393 | 15,20 | 29,3  | 279   | 44,60  | 4,28 | 557,0 | 11,90 |
| Ø 125.5 | 125 | 5 | 393 | 18,80 | 36,0  | 340   | 54,40  | 4,24 | 680,0 | 14,80 |
| Ø 125.6 | 125 | 6 | 393 | 22,40 | 42,5  | 398   | 63,70  | 4,21 | 796,0 | 17,60 |
| Ø 155.5 | 155 | 5 | 487 | 23,60 | 56,2  | 663   | 85,50  | 5,30 | 1330  | 18,50 |
| Ø 155.6 | 155 | 6 | 487 | 28,10 | 66,6  | 781   | 101,00 | 5,27 | 1560  | 22,10 |
| Ø 155.8 | 155 | 8 | 487 | 36,90 | 86,5  | 1000  | 129,00 | 5,21 | 2000  | 29,00 |
| Ø 175.5 | 175 | 5 | 550 | 26,70 | 72,3  | 966   | 110,00 | 6,01 | 1330  | 21,00 |
| Ø 175.6 | 175 | 6 | 550 | 31,90 | 85,7  | 1140  | 130,00 | 5,98 | 2280  | 25,00 |
| Ø 175.8 | 175 | 8 | 550 | 42,00 | 112,0 | 1470  | 168,00 | 5,92 | 2940  | 33,00 |
| Ø 200.5 | 200 | 5 | 628 | 30,60 | 95,1  | 1460  | 146,00 | 6,91 | 2920  | 24,00 |
| Ø 200.6 | 200 | 6 | 628 | 36,60 | 113,0 | 1720  | 172,00 | 6,86 | 3440  | 28,70 |
| Ø 200.8 | 200 | 8 | 628 | 48,30 | 148,0 | 2230  | 223,00 | 6,79 | 4460  | 37,90 |

**Tabla 2.A2.2.- Perfiles huecos cuadrados**



$r$  = Radio exterior de redondeo.

$u$  = Perímetro.

$A$  = Área de la de la sección

$S$  = Momento estático de media sección, respecto al eje  $X$  o  $Y$ .

$I$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje  $X$  o  $Y$ .

$W = 2 I : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto a  $X$  o  $Y$ .

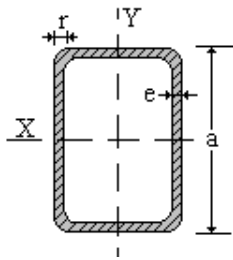
$i = (I : A)^{1/2}$  Radio de giro de la sección, respecto a un eje baricéntrico.

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

| Perfil | Dimensiones |           |           |           | Términos de la sección |                        |                        |                        |           |                          | Peso<br>$P$<br>kp/m |
|--------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|
|        | $a$<br>mm   | $e$<br>mm | $r$<br>mm | $u$<br>mm | $A$<br>cm <sup>2</sup> | $S$<br>cm <sup>3</sup> | $I$<br>cm <sup>4</sup> | $W$<br>cm <sup>3</sup> | $i$<br>cm | $I_t$<br>cm <sup>4</sup> |                     |
| # 40.2 | 40          | 2         | 5         | 151       | 2,90                   | 2,04                   | 6,60                   | 3,4                    | 1,53      | 11,3                     | 2,28                |
| # 40.3 | 40          | 3         | 8         | 147       | 4,13                   | 2,8                    | 9,01                   | 4,51                   | 1,48      | 15,6                     | 3,24                |
| # 40.4 | 40          | 4         | 10        | 143       | 5,21                   | 3,4                    | 10,5                   | 5,26                   | 1,42      | 18,9                     | 4,09                |
| # 45.2 | 45          | 2         | 5         | 171       | 3,30                   | 2,63                   | 9,94                   | 4,42                   | 1,74      | 16,3                     | 2,59                |

|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
|---------|-----|---|----|-----|-------|--------|-------|-------|------|------|------|
| # 45.3  | 45  | 3 | 8  | 167 | 4,73  | 3,65   | 13,4  | 5,95  | 1,68 | 22,9 | 3,71 |
| # 45.4  | 45  | 4 | 10 | 163 | 6,01  | 4,49   | 15,9  | 7,07  | 1,63 | 28,2 | 4,72 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 50.2  | 50  | 2 | 5  | 191 | 3,70  | 3,30   | 13,9  | 5,57  | 1,94 | 22,7 | 2,91 |
| # 50.3  | 50  | 3 | 8  | 187 | 5,33  | 4,62   | 19,0  | 7,59  | 1,89 | 32,0 | 4,18 |
| # 50.4  | 50  | 4 | 10 | 183 | 5,81  | 5,73   | 22,9  | 9,15  | 1,83 | 39,9 | 5,35 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 55.2  | 55  | 2 | 5  | 211 | 4,10  | 4,04   | 18,9  | 6,86  | 2,14 | 30,5 | 3,22 |
| # 55.3  | 55  | 3 | 8  | 207 | 5,93  | 5,70   | 25,9  | 9,43  | 2,09 | 43,4 | 4,66 |
| # 55.4  | 55  | 4 | 10 | 203 | 7,61  | 7,12   | 31,6  | 11,5  | 2,04 | 54,5 | 5,97 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 60.2  | 60  | 2 | 5  | 231 | 4,50  | 4,86   | 24,8  | 8,28  | 2,35 | 39,9 | 3,53 |
| # 60.3  | 60  | 3 | 8  | 227 | 6,53  | 6,89   | 34,4  | 11,5  | 2,3  | 57,1 | 5,13 |
| # 60.4  | 60  | 4 | 10 | 223 | 8,41  | 8,66   | 42,3  | 14,1  | 2,24 | 72,2 | 6,6  |
| # 60.5  | 60  | 5 | 13 | 219 | 10,10 | 10,20  | 48,5  | 16,2  | 2,19 | 85,2 | 7,96 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 70.2  | 70  | 2 | 5  | 271 | 5,30  | 6,71   | 40,3  | 11,5  | 2,76 | 64,1 | 4,16 |
| # 70.3  | 70  | 3 | 8  | 267 | 7,73  | 9,60   | 56,6  | 16,2  | 2,71 | 92,6 | 6,07 |
| # 70.4  | 70  | 4 | 10 | 263 | 10,00 | 12,20  | 70,4  | 20,1  | 2,65 | 118  | 7,86 |
| # 70.5  | 70  | 5 | 13 | 259 | 12,10 | 14,50  | 82,0  | 23,4  | 2,60 | 141  | 9,53 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 80.3  | 80  | 3 | 8  | 307 | 8,93  | 12,80  | 86,6  | 21,7  | 3,11 | 140  | 7,01 |
| # 80.4  | 80  | 4 | 10 | 303 | 11,60 | 16,30  | 108,8 | 27,2  | 3,06 | 180  | 9,11 |
| # 80.5  | 80  | 5 | 13 | 299 | 14,10 | 19,50  | 128   | 32,0  | 3,01 | 217  | 11,1 |
| # 80.6  | 80  | 6 | 15 | 294 | 16,5  | 22,40  | 144   | 36,0  | 2,95 | 250  | 13,0 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 90.3  | 90  | 3 | 8  | 347 | 10,10 | 16,40  | 126   | 37,9  | 3,52 | 202  | 7,95 |
| # 90.4  | 90  | 4 | 10 | 343 | 13,20 | 21,10  | 159   | 35,4  | 3,47 | 281  | 10,4 |
| # 90.5  | 90  | 5 | 13 | 339 | 16,10 | 25,30  | 189   | 41,9  | 3,42 | 316  | 12,7 |
| # 90.6  | 90  | 6 | 15 | 334 | 18,90 | 29,20  | 214   | 47,6  | 3,36 | 366  | 14,9 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 100.3 | 100 | 3 | 8  | 387 | 11,30 | 20,10  | 175   | 35,0  | 3,93 | 279  | 8,89 |
| # 100.4 | 100 | 4 | 10 | 383 | 14,80 | 26,40  | 223   | 44,6  | 3,88 | 363  | 11,6 |
| # 100.5 | 100 | 5 | 13 | 379 | 18,10 | 31,90  | 266   | 53,1  | 3,83 | 440  | 14,2 |
| # 100.6 | 100 | 6 | 15 | 374 | 21,30 | 37,00  | 304   | 60,7  | 3,77 | 513  | 16,7 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 120.4 | 120 | 4 | 10 | 463 | 18,00 | 38,90  | 397   | 66,2  | 4,70 | 638  | 14,1 |
| # 120.5 | 120 | 5 | 13 | 459 | 22,10 | 47,20  | 478   | 79,6  | 4,64 | 780  | 17,4 |
| # 120.6 | 120 | 6 | 15 | 454 | 26,10 | 55,10  | 551   | 91,8  | 4,59 | 913  | 20,5 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 140.5 | 140 | 5 | 13 | 539 | 26,10 | 65,60  | 780   | 111,0 | 5,46 | 260  | 20,5 |
| # 140.6 | 140 | 6 | 15 | 534 | 30,90 | 76,80  | 905   | 129,0 | 5,41 | 480  | 24,3 |
| # 140.8 | 140 | 8 | 20 | 526 | 40,00 | 97,50  | 1130  | 161,0 | 5,30 | 890  | 31,4 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 160.5 | 160 | 5 | 13 | 619 | 30,10 | 86,90  | 1190  | 149,0 | 6,28 | 1901 | 23,7 |
| # 160.6 | 160 | 6 | 15 | 614 | 35,70 | 102,00 | 1390  | 173,0 | 6,23 | 2240 | 28,0 |
| # 160.8 | 160 | 8 | 20 | 609 | 46,40 | 131,00 | 1740  | 218,0 | 6,12 | 2890 | 36,5 |
|         |     |   |    |     |       |        |       |       |      |      |      |
| # 170.5 | 170 | 5 | 13 | 659 | 32,10 | 98,70  | 1440  | 169,0 | 6,69 | 2290 | 25,2 |
| # 170.6 | 170 | 6 | 15 | 654 | 38,10 | 116,00 | 1680  | 198,0 | 6,64 | 2710 | 29,9 |
| # 170.8 | 170 | 8 | 20 | 646 | 49,60 | 149,00 | 2120  | 249,0 | 6,53 | 3410 | 39,0 |

**Tabla 2.A2.3.- Perfiles huecos rectangulares**



$r$  = Radio exterior de redondeo.

$u$  = Perímetro.

$A$  = Área de la sección

$S_x$  = Momento estático de media sección, respecto al eje  $X$ .

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje  $X$ .

$W_x = 2 I_x : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto a  $X$ .

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$  Radio de giro de la sección, respecto al  $X$ .

$S_y$  = Momento estático de media sección, respecto al eje  $Y$ .

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje  $Y$ .

$W_y = 2 I_y : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto a  $Y$ .

$i_y = (I_y : A)^{1/2}$  Radio de giro de la sección, respecto al  $Y$ .

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección

| Perfil   | Dimensiones |         |         |         |                         | Términos de la sección |                          |                          |                          |             |                          |                          |                          |             |                          | Peso<br>p<br>kp/m |
|----------|-------------|---------|---------|---------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|
|          | a<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm <sup>2</sup> /m | A<br>cm <sup>2</sup>   | $S_x$<br>cm <sup>3</sup> | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm | $S_y$<br>cm <sup>3</sup> | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_y$<br>cm | $I_t$<br>cm <sup>4</sup> |                   |
| 60.40.2  | 60          | 40      | 2       | 5       | 191                     | 3,70                   | 3,70                     | 18,1                     | 6,03                     | 2,21        | 2,8                      | 9,69                     | 4,85                     | 1,62        | 20,7                     | 2,91              |
| 60.40.3  | 60          | 40      | 3       | 8       | 187                     | 5,33                   | 5,18                     | 24,7                     | 8,23                     | 2,15        | 3,91                     | 13,1                     | 6,56                     | 1,57        | 29,2                     | 4,18              |
| 60.40.4  | 60          | 40      | 4       | 10      | 183                     | 6,81                   | 6,42                     | 29,7                     | 9,91                     | 2,09        | 4,84                     | 15,7                     | 7,86                     | 1,52        | 36,1                     | 5,35              |
| 70.40.2  | 70          | 40      | 2       | 5       | 211                     | 4,10                   | 4,67                     | 26,4                     | 7,55                     | 2,54        | 3,18                     | 11,1                     | 5,57                     | 1,65        | 25,8                     | 3,22              |
| 70.40.3  | 70          | 40      | 3       | 8       | 207                     | 5,93                   | 6,59                     | 36,4                     | 10,4                     | 2,48        | 4,47                     | 15,2                     | 7,59                     | 1,6         | 36,4                     | 4,66              |
| 70.40.4  | 70          | 40      | 4       | 10      | 203                     | 7,61                   | 8,23                     | 44,3                     | 12,6                     | 2,41        | 5,56                     | 18,3                     | 9,16                     | 1,55        | 45,3                     | 5,97              |
| 70.50.2  | 70          | 50      | 2       | 5       | 231                     | 4,50                   | 5,35                     | 31,1                     | 8,87                     | 2,63        | 4,26                     | 18,5                     | 7,42                     | 2,03        | 37,5                     | 3,53              |
| 70.50.3  | 70          | 50      | 3       | 8       | 227                     | 6,53                   | 7,59                     | 43,1                     | 12,3                     | 2,57        | 6,03                     | 25,6                     | 10,3                     | 1,98        | 53,6                     | 5,13              |
| 70.50.4  | 70          | 50      | 4       | 10      | 223                     | 8,41                   | 9,55                     | 53,0                     | 15,1                     | 2,51        | 7,57                     | 31,4                     | 12,5                     | 1,93        | 67,6                     | 6,60              |
| 80.40.3  | 80          | 40      | 3       | 8       | 227                     | 6,53                   | 8,15                     | 51,0                     | 12,8                     | 2,79        | 5,02                     | 17,2                     | 8,62                     | 1,62        | 43,8                     | 5,13              |
| 80.40.4  | 80          | 40      | 4       | 10      | 223                     | 8,41                   | 10,2                     | 62,6                     | 15,6                     | 2,73        | 6,28                     | 20,9                     | 10,5                     | 1,58        | 54,7                     | 6,60              |
| 80.40.5  | 80          | 40      | 5       | 13      | 219                     | 10,14                  | 12,0                     | 71,6                     | 17,9                     | 2,66        | 7,33                     | 23,7                     | 11,9                     | 1,53        | 63,6                     | 7,96              |
| 80.60.3  | 80          | 60      | 3       | 8       | 267                     | 7,73                   | 10,5                     | 68,8                     | 17,2                     | 2,98        | 8,60                     | 44,2                     | 14,7                     | 2,39        | 88,5                     | 6,07              |
| 80.60.4  | 80          | 60      | 4       | 10      | 263                     | 10,0                   | 13,3                     | 85,7                     | 21,4                     | 2,93        | 10,9                     | 54,9                     | 18,3                     | 2,34        | 113                      | 7,86              |
| 80.60.5  | 80          | 60      | 5       | 13      | 259                     | 12,1                   | 15,8                     | 99,8                     | 25,0                     | 2,87        | 12,9                     | 63,7                     | 21,2                     | 2,29        | 134                      | 9,53              |
| 100.50.3 | 100         | 50      | 3       | 8       | 287                     | 8,33                   | 13,1                     | 105                      | 20,9                     | 3,54        | 8,13                     | 35,6                     | 14,2                     | 2,07        | 88,6                     | 6,54              |
| 100.50.4 | 100         | 50      | 4       | 10      | 283                     | 10,8                   | 16,8                     | 131                      | 26,1                     | 3,48        | 10,3                     | 44,1                     | 17,6                     | 2,02        | 113                      | 8,49              |
| 100.50.5 | 100         | 50      | 5       | 13      | 279                     | 13,1                   | 20,0                     | 153                      | 30,6                     | 3,41        | 12,2                     | 51,1                     | 20,4                     | 1,97        | 134                      | 10,31             |
| 100.50.6 | 100         | 50      | 6       | 15      | 274                     | 15,3                   | 22,9                     | 171                      | 34,2                     | 3,34        | 13,9                     | 56,7                     | 22,7                     | 1,92        | 151                      | 12,03             |
| 100.60.4 | 100         | 60      | 4       | 10      | 303                     | 11,6                   | 18,7                     | 149                      | 29,8                     | 3,58        | 13,1                     | 67,4                     | 22,5                     | 2,41        | 156                      | 9,11              |
| 100.60.5 | 100         | 60      | 5       | 13      | 299                     | 14,1                   | 22,4                     | 175                      | 35,1                     | 3,52        | 15,7                     | 78,9                     | 26,3                     | 2,36        | 187                      | 11,10             |
| 100.60.6 | 100         | 60      | 6       | 15      | 294                     | 16,5                   | 25,7                     | 197                      | 39,5                     | 3,46        | 17,9                     | 88,4                     | 29,5                     | 2,31        | 214                      | 12,97             |
| 100.80.4 | 100         | 80      | 4       | 10      | 343                     | 13,2                   | 22,6                     | 186                      | 37,2                     | 3,75        | 19,4                     | 132                      | 33                       | 3,16        | 254                      | 10,37             |
| 100.80.5 | 100         | 80      | 5       | 13      | 339                     | 16,1                   | 27,1                     | 221                      | 44,1                     | 3,70        | 23,3                     | 156                      | 39                       | 3,11        | 307                      | 12,67             |
| 100.80.6 | 100         | 80      | 6       | 15      | 334                     | 18,9                   | 31,3                     | 251                      | 50,1                     | 3,64        | 26,9                     | 177                      | 44,3                     | 3,06        | 355                      | 14,85             |
| 120.60.4 | 120         | 60      | 4       | 10      | 343                     | 13,2                   | 24,9                     | 236                      | 39,3                     | 4,22        | 15,4                     | 80                       | 26,7                     | 2,46        | 201                      | 10,37             |
| 120.60.5 | 120         | 60      | 5       | 13      | 339                     | 16,1                   | 30,0                     | 279                      | 46,5                     | 4,16        | 18,4                     | 94                       | 31,4                     | 2,41        | 241                      | 12,67             |
| 120.60.6 | 120         | 60      | 6       | 15      | 334                     | 18,9                   | 34,6                     | 317                      | 52,8                     | 4,09        | 21,2                     | 106                      | 35,3                     | 2,37        | 277                      | 14,85             |
| 120.80.4 | 120         | 80      | 4       | 10      | 383                     | 14,8                   | 29,6                     | 290                      | 48,3                     | 4,42        | 22,4                     | 155                      | 38,8                     | 3,24        | 332                      | 11,63             |
| 120.80.5 | 120         | 80      | 5       | 13      | 379                     | 18,1                   | 35,7                     | 345                      | 57,6                     | 4,36        | 27,0                     | 184                      | 46,1                     | 3,19        | 402                      | 14,24             |
| 120.80.6 | 120         | 80      | 6       | 15      | 374                     | 21,3                   | 41,4                     | 395                      | 65,8                     | 4,3         | 31,3                     | 210                      | 52,5                     | 3,14        | 467                      | 16,74             |

|           |     |     |   |    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------|-----|-----|---|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 120.100.4 | 120 | 100 | 4 | 10 | 423 | 16,4 | 34,2 | 343  | 57,2 | 4,57 | 30,2 | 260  | 57   | 3,98 | 479  | 12,88 |
| 120.100.5 | 120 | 100 | 5 | 13 | 419 | 20,1 | 41,5 | 412  | 68,6 | 4,52 | 36,6 | 311  | 62,2 | 3,93 | 583  | 15,81 |
| 120.100.6 | 120 | 100 | 6 | 15 | 414 | 23,7 | 48,3 | 473  | 78,8 | 4,46 | 42,6 | 357  | 71,4 | 3,88 | 681  | 18,62 |
|           |     |     |   |    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 140.60.4  | 140 | 60  | 4 | 10 | 383 | 14,8 | 32,0 | 349  | 49,8 | 4,85 | 17,6 | 92,6 | 30,9 | 2,50 | 247  | 11,63 |
| 140.60.5  | 140 | 60  | 5 | 13 | 379 | 18,1 | 38,6 | 415  | 59,3 | 4,78 | 21,2 | 109  | 36,4 | 2,45 | 297  | 14,24 |
| 140.60.6  | 140 | 60  | 6 | 15 | 374 | 21,3 | 44,7 | 474  | 67,7 | 4,71 | 24,4 | 124  | 41,2 | 2,41 | 342  | 16,74 |
| 140.80.4  | 140 | 80  | 4 | 10 | 423 | 16,4 | 37,4 | 423  | 60,4 | 5,08 | 25,4 | 178  | 44,6 | 3,30 | 412  | 12,88 |
| 140.80.5  | 140 | 80  | 5 | 13 | 419 | 20,1 | 45,3 | 506  | 72,4 | 5,01 | 30,8 | 212  | 53,1 | 3,25 | 500  | 15,81 |
| 140.80.6  | 140 | 80  | 6 | 15 | 414 | 23,7 | 52,7 | 582  | 83,1 | 4,95 | 35,7 | 243  | 60,7 | 3,20 | 582  | 18,62 |
| 140.100.4 | 140 | 100 | 4 | 10 | 463 | 18,0 | 42,8 | 497  | 71,0 | 5,25 | 34,1 | 297  | 59,3 | 4,06 | 601  | 14,14 |
| 140.100.5 | 140 | 100 | 5 | 13 | 459 | 22,1 | 52,1 | 598  | 85,4 | 5,2  | 41,4 | 356  | 71,2 | 4,01 | 733  | 17,38 |
| 140.100.6 | 140 | 100 | 6 | 15 | 454 | 26,1 | 60,8 | 690  | 98,5 | 5,14 | 48,2 | 410  | 82,0 | 3,96 | 858  | 20,51 |
|           |     |     |   |    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 160.80.4  | 160 | 80  | 4 | 10 | 463 | 18,0 | 46,0 | 589  | 73,6 | 5,72 | 28,5 | 201  | 50,3 | 3,34 | 495  | 14,14 |
| 160.80.5  | 160 | 80  | 5 | 13 | 459 | 22,1 | 55,9 | 708  | 88,5 | 5,65 | 34,5 | 241  | 60,2 | 3,30 | 601  | 17,38 |
| 160.80.6  | 160 | 80  | 6 | 15 | 454 | 26,1 | 65,2 | 816  | 102  | 5,59 | 40,2 | 276  | 69,0 | 3,25 | 700  | 20,51 |
| 160.120.5 | 160 | 120 | 5 | 13 | 539 | 26,1 | 71,4 | 948  | 119  | 6,02 | 58,7 | 610  | 102  | 4,83 | 1200 | 20,52 |
| 160.120.6 | 160 | 120 | 6 | 15 | 534 | 30,9 | 83,7 | 1100 | 138  | 5,97 | 68,8 | 707  | 118  | 4,78 | 1420 | 24,27 |
| 160.120.8 | 160 | 120 | 8 | 20 | 526 | 40,0 | 106  | 1370 | 171  | 5,85 | 87,2 | 878  | 146  | 4,68 | 1810 | 31,43 |
|           |     |     |   |    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 180.100.5 | 180 | 100 | 5 | 13 | 539 | 26,1 | 76,3 | 1110 | 123  | 6,51 | 50,9 | 446  | 89,3 | 4,13 | 1050 | 20,52 |
| 180.100.6 | 180 | 100 | 6 | 15 | 534 | 30,9 | 89,4 | 1280 | 143  | 6,44 | 59,5 | 516  | 103  | 4,09 | 1230 | 24,27 |
| 180.100.8 | 180 | 100 | 8 | 20 | 526 | 40,0 | 113  | 1600 | 178  | 6,32 | 75,3 | 637  | 127  | 3,99 | 1560 | 31,43 |
| 180.140.5 | 180 | 140 | 5 | 13 | 619 | 30,1 | 93,8 | 1410 | 157  | 6,85 | 79,1 | 962  | 137  | 5,65 | 1840 | 23,66 |
| 180.140.6 | 180 | 140 | 6 | 15 | 614 | 35,7 | 110  | 1650 | 183  | 6,79 | 92,9 | 1120 | 160  | 5,6  | 2170 | 28,04 |
| 180.140.8 | 180 | 140 | 8 | 20 | 606 | 46,4 | 141  | 2070 | 230  | 6,68 | 119  | 1410 | 201  | 5,5  | 2790 | 66,45 |
|           |     |     |   |    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 200.80.5  | 200 | 80  | 5 | 13 | 539 | 26,1 | 80,1 | 1250 | 125  | 6,91 | 42,0 | 297  | 74,2 | 3,37 | 810  | 20,52 |
| 200.80.6  | 200 | 80  | 6 | 15 | 534 | 30,9 | 93,8 | 1450 | 145  | 6,84 | 49,1 | 342  | 85,4 | 3,32 | 943  | 24,27 |
| 200.80.8  | 200 | 80  | 8 | 20 | 526 | 40,0 | 119  | 1800 | 180  | 6,70 | 61,7 | 418  | 105  | 3,23 | 1180 | 31,43 |
| 200.120.5 | 200 | 120 | 5 | 13 | 619 | 30,1 | 99,6 | 1630 | 163  | 7,35 | 70,2 | 742  | 124  | 4,96 | 1660 | 23,66 |
| 200.120.6 | 200 | 120 | 6 | 15 | 614 | 35,7 | 117  | 1900 | 190  | 7,29 | 82,5 | 863  | 144  | 4,92 | 1950 | 28,04 |
| 200.120.8 | 200 | 120 | 8 | 20 | 606 | 46,4 | 150  | 2390 | 239  | 7,17 | 105  | 1080 | 180  | 4,82 | 2500 | 36,45 |
| 200.150.5 | 200 | 150 | 5 | 13 | 679 | 33,1 | 114  | 1910 | 191  | 7,6  | 94,0 | 1230 | 164  | 6,10 | 2400 | 26,01 |
| 200.150.6 | 200 | 150 | 6 | 15 | 674 | 39,3 | 135  | 2240 | 224  | 7,54 | 111  | 1440 | 192  | 6,05 | 2830 | 30,87 |
| 200.150.8 | 200 | 150 | 8 | 20 | 666 | 51,2 | 173  | 2830 | 283  | 7,43 | 142  | 1820 | 242  | 5,95 | 3650 | 40,22 |

## ANEJO 2.A1 Productos laminados

**Productos utilizados:** Con carácter indicativo se describen los productos laminados que se fabrican usualmente para su empleo en estructuras de edificación.

En la columna de suministro de las tablas, las indicaciones P existencia permanente o C consulta previa, corresponden a las condiciones normales del mercado.

**Perfil IPN:** Su sección tiene forma de doble T. Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 14 por 100 respecto a las exteriores, por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada.

Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles IPN se detallan en la tabla 2.A1.1 y coinciden con los de la norma UNE 36 521.

**Perfil IPE:** Su sección tiene forma de doble T. Las caras exteriores e interiores de las alas son paralelas entre sí y perpendiculares al alma, y así las alas tienen espesor constante. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con aristas exteriores e interiores vivas. La relación entre la anchura de las alas y la altura del perfil se mantiene menor que 0.66.



Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles IPE se detallan en la tabla 2.A1.2 y coinciden con los de la norma UNE 36 526.

**Perfil HE:** Su sección tiene forma de doble T. Las caras exteriores e interiores de las alas son paralelas entre sí y perpendiculares al alma, y así las alas tienen espesor constante. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con aristas exteriores e interiores vivas. Los perfiles HE comprenden las tres series siguientes., cuyas dimensiones y términos de sección se detallan en la tabla 2.A1.3.

Serie normal: HEB

Serie ligera: HEA

Serie pesada: HEM

y coinciden respectivamente con los de las normas UNE 36 527, UNE 36 528 y UNE 36 529

**Perfil UPN:** Su sección tiene forma de U. Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 8 por 100 respecto a las exteriores, por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes. Las uniones entre la cara interior del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada.

Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles UPN se detallan en la tabla 2.A1.4 que coincide con la norma UNE 36 522.

**Perfil L:** Su sección tiene forma de ángulo recto, con las alas de igual longitud. Las caras de cada ala son paralelas y la unión de las caras

interiores está redondeada. Las alas tienen el borde exterior con aristas vivas y el interior redondeado. Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles L se detallan en la tabla 2.A1.5 y coinciden con la norma UNE 36 531.

**Perfil LD:** Su sección tiene forma de ángulo recto, con las alas de distinta longitud. Las caras de cada ala son paralelas y la unión de las caras interiores es redondeada. Las alas tienen el borde exterior con aristas vivas y el interior redondeado.

Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles LD se detallan en la tabla 2.A1.6 y coinciden con la norma UNE 36 532.

**Perfil T:** Su sección tiene forma de T. El extremo del alma es redondeado, así como las uniones de la misma con las caras interiores de las alas y las aristas interiores de éstas. Las caras interiores de las alas están inclinadas un 2 por 100 respecto a las exteriores y las del alma un 2 por 100 respecto a su eje.

Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles T se detallan en la tabla 2.A1.7 y coinciden con la norma UNE 36 533.

**Redondo:** Su sección es circular, de diámetro comprendido entre 6 mm y 50 mm.

Las dimensiones y los términos de sección de los redondos se detallan en la tabla 2.A1.8 y coinciden con la norma UNE 36 541.

**Cuadrado:** Su sección es cuadrada, de lado comprendido entre 6 mm y 5 mm.

Las dimensiones y los términos de sección de los cuadrados se detallan en la tabla 2.A1.9 y coinciden con la norma UNE 36 542.

**Rectangular:** Producto laminado plano de sección rectangular de anchura no mayor que 500 mm.

Pueden obtenerse por laminación directa (UNE 36 543) o por corte de chapa, en cuyo caso las tolerancias aplicables son las indicadas en las normas UNE 36 553, UNE 36 559 y UNE 36 560 según el proceso de laminación.

Las medidas de los rectangulares más utilizados, con sus correspondientes áreas y pesos, se detallan en la tabla 2.A1.10.

**Chapa:** Producto laminado plano de anchura mayor que 500 mm. Según su espesor se clasifica en:

Chapa fina: menor que 3 mm.

Chapa media: igual o mayor que 3 mm hasta 4,75 mm.

Chapa gruesa: mayor que 4,75.

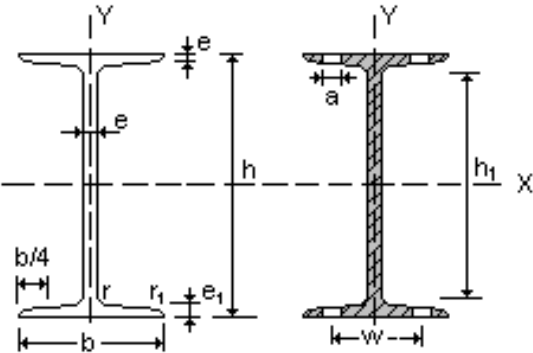
La chapa suele emplearse solamente como materia prima para la obtención por corte de elementos planos.

Los espesores en mm, de las chapas más usuales son los siguientes:

4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,15,18,20,22,25,30,35,40,45 y 50.

Las tolerancias de las chapas se especifican en las normas UNE 36 559 y UNE 36 560.

**Tabla 2.A1.1.- Perfiles IPN**



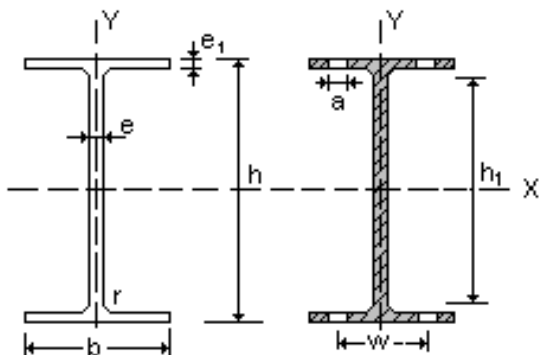
$A$  = Area de la sección  
 $S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X.  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.  
 $W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.  
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.  
 $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.  
 $W_y = 2I_y : b$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.  
 $i_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.  
 $I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.  
 $u$  = Perímetro de la sección.  
 $a$  = Diámetro del agujero del roblón normal.  
 $w$  = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.  
 $h_1$  = Altura de la parte plana del alma.  
 $e_2$  = Espesor del ala en el eje del agujero.  
 $p$  = Peso por metro.

| Perfil  | Dimensiones |         |             |                      |                      |                      |         | Términos de sección  |                                   |                                   |                                   |                      |                                   |                                   |                      |                                   |                                   | Agujeros |         |                      | Peso<br>P<br>kp/m |
|---------|-------------|---------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|---------|----------------------|-------------------|
|         | h<br>mm     | b<br>mm | e = r<br>mm | e <sub>1</sub><br>mm | r <sub>1</sub><br>mm | h <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup> | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>a</sub><br>cm <sup>6</sup> | w<br>mm  | a<br>mm | e <sub>2</sub><br>mm |                   |
| IPN 80  | 80          | 42      | 3,9         | 5,9                  | 2,3                  | 59                   | 304     | 7,58                 | 11,4                              | 77,8                              | 19,5                              | 3,20                 | 6,29                              | 3,00                              | 0,91                 | 0,93                              | 87,5                              | 22       | -       | 4,43                 | 5,95              |
| IPN 100 | 100         | 50      | 4,5         | 6,8                  | 2,7                  | 75                   | 370     | 10,6                 | 19,9                              | 171                               | 34,2                              | 4,01                 | 12,2                              | 4,88                              | 1,07                 | 1,72                              | 268                               | 28       | -       | 5,05                 | 8,32              |
| IPN 120 | 120         | 58      | 5,1         | 7,7                  | 3,1                  | 92                   | 439     | 14,2                 | 31,8                              | 328                               | 54,7                              | 4,81                 | 21,5                              | 7,41                              | 1,23                 | 2,92                              | 685                               | 32       | -       | 5,67                 | 11,2              |
| IPN 140 | 140         | 66      | 5,7         | 8,6                  | 3,4                  | 109                  | 502     | 18,3                 | 47,7                              | 573                               | 81,9                              | 5,61                 | 35,2                              | 10,7                              | 1,40                 | 4,66                              | 1540                              | 34       | 11      | 6,29                 | 14,4              |
| IPN 160 | 160         | 74      | 6,3         | 9,5                  | 3,8                  | 125                  | 575     | 22,8                 | 68,0                              | 935                               | 117                               | 6,40                 | 54,7                              | 14,8                              | 1,55                 | 7,08                              | 3138                              | 40       | 11      | 6,91                 | 17,9              |
| IPN 180 | 180         | 82      | 6,9         | 10,4                 | 4,1                  | 142                  | 640     | 27,9                 | 93,4                              | 1450                              | 161                               | 7,20                 | 81,3                              | 19,8                              | 1,71                 | 10,3                              | 5924                              | 44       | 13      | 7,53                 | 21,9              |

|         |     |     |      |      |      |     |      |      |      |        |      |      |      |      |      |      |         |     |    |       |      |
|---------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|---------|-----|----|-------|------|
| IPN 200 | 200 | 90  | 7,5  | 11,3 | 4,5  | 159 | 709  | 33,5 | 125  | 2140   | 214  | 8,00 | 117  | 26,0 | 1,87 | 14,6 | 10520   | 48  | 13 | 8,15  | 26,3 |
| IPN 220 | 220 | 98  | 8,1  | 12,2 | 4,9  | 175 | 775  | 39,6 | 162  | 3060   | 278  | 8,80 | 162  | 33,1 | 2,02 | 20,1 | 17760   | 52  | 13 | 8,77  | 31,1 |
| IPN 240 | 240 | 106 | 8,7  | 13,1 | 5,2  | 192 | 844  | 46,1 | 206  | 4250   | 354  | 9,59 | 221  | 41,7 | 2,20 | 27,0 | 28730   | 56  | 17 | 9,39  | 36,2 |
| IPN 260 | 260 | 113 | 9,4  | 14,1 | 5,6  | 208 | 906  | 53,4 | 257  | 5740   | 442  | 10,4 | 288  | 51,0 | 2,32 | 36,1 | 44070   | 60  | 17 | 10,15 | 41,9 |
| IPN 280 | 280 | 119 | 10,1 | 15,2 | 6,1  | 225 | 966  | 61,1 | 316  | 7590   | 542  | 11,1 | 364  | 61,2 | 2,45 | 47,8 | 64580   | 62  | 17 | 11,04 | 48,0 |
|         |     |     |      |      |      |     |      |      |      |        |      |      |      |      |      |      |         |     |    |       |      |
| IPN 300 | 300 | 125 | 10,8 | 16,2 | 6,5  | 241 | 1030 | 69,1 | 381  | 9800   | 653  | 11,9 | 451  | 72,2 | 2,56 | 61,2 | 91850   | 64  | 21 | 11,83 | 54,2 |
| IPN 320 | 320 | 131 | 11,5 | 17,3 | 6,9  | 257 | 1090 | 77,8 | 457  | 12510  | 782  | 12,7 | 555  | 84,7 | 2,67 | 78,2 | 128800  | 70  | 21 | 12,72 | 61,1 |
| IPN 340 | 340 | 137 | 12,2 | 18,3 | 7,3  | 274 | 1150 | 86,8 | 540  | 15700  | 923  | 13,5 | 674  | 98,4 | 2,80 | 97,5 | 176300  | 74  | 21 | 13,51 | 68,1 |
| IPN 360 | 360 | 143 | 13,0 | 19,5 | 7,8  | 290 | 1210 | 97,1 | 638  | 19610  | 1090 | 14,2 | 818  | 114  | 2,90 | 123  | 240100  | 76  | 23 | 14,50 | 76,2 |
| IPN 380 | 380 | 149 | 13,7 | 20,5 | 8,2  | 306 | 1270 | 107  | 741  | 24010  | 1260 | 15,0 | 975  | 131  | 3,02 | 150  | 318700  | 82  | 23 | 15,29 | 84,0 |
|         |     |     |      |      |      |     |      |      |      |        |      |      |      |      |      |      |         |     |    |       |      |
| IPN 400 | 400 | 155 | 14,4 | 21,6 | 8,6  | 323 | 1330 | 118  | 857  | 29210  | 1460 | 15,7 | 1160 | 149  | 3,13 | 183  | 419600  | 86  | 23 | 16,18 | 92,6 |
| IPN 450 | 450 | 170 | 16,2 | 24,3 | 9,7  | 363 | 1478 | 147  | 1200 | 45850  | 2040 | 17,7 | 1730 | 203  | 3,43 | 288  | 791100  | 94  | 25 | 18,35 | 115  |
| IPN 500 | 500 | 185 | 18,0 | 27   | 10,8 | 404 | 1626 | 180  | 1620 | 68740  | 2750 | 19,6 | 2480 | 268  | 3,72 | 449  | 1403000 | 100 | 28 | 20,53 | 141  |
| IPN 550 | 550 | 200 | 19,0 | 30   | 11,9 | 445 | 1787 | 213  | 2120 | 99180  | 3610 | 21,6 | 3490 | 349  | 4,02 | 618  | 2389000 | 110 | 28 | 23,0  | 167  |
| IPN 600 | 600 | 215 | 21,6 | 32,4 | 13   | 485 | 1924 | 254  | 2730 | 139000 | 4630 | 23,4 | 4670 | 443  | 4,30 | 875  | 3821000 | 120 | 28 | 24,88 | 199  |

**Tabla 2.A1.2.- Perfiles IPE**



$A$  = Área de la de la sección

$S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

$W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

$W_y = 2I_y : b$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

$i_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

$I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.

$u$  = Perímetro de la sección.

$a$  = Diámetro del agujero del roblón normal.

$w$  = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.

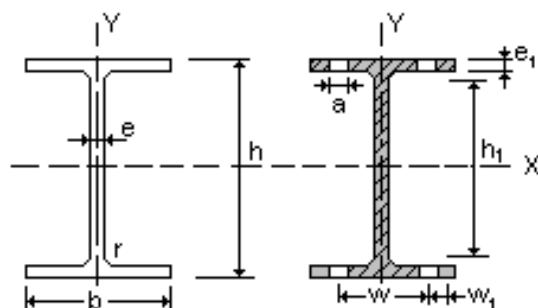
$h_1$  = Altura de la parte plana del alma.

$p$  = Peso por metro.

| Perfil  | Dimensiones |         |         |                      |         |                      |         | Términos de la sección |                                   |                                   |                                   |                      |                                   |                                   |                      |                                   |                                   | Agujeros |         |                      | Peso<br>P<br>kp/m |
|---------|-------------|---------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|---------|----------------------|-------------------|
|         | h<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | e <sub>1</sub><br>mm | r<br>mm | h <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | A<br>cm                | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>a</sub><br>cm <sup>6</sup> | w<br>mm  | a<br>mm | e <sub>2</sub><br>mm |                   |
| IPE 80  | 80          | 46      | 3,8     | 5,2                  | 5       | 60                   | 328     | 7,64                   | 11,6                              | 80,1                              | 20,0                              | 3,24                 | 8,49                              | 3,69                              | 1,05                 | 0,721                             | 118                               | -        | -       | 3,8                  | 6,00              |
| IPE 100 | 100         | 55      | 4,1     | 5,7                  | 7       | 75                   | 400     | 10,3                   | 19,7                              | 171                               | 34,2                              | 4,07                 | 15,9                              | 5,79                              | 1,24                 | 1,140                             | 351                               | -        | -       | 4,1                  | 8,10              |
| IPE 120 | 120         | 64      | 4,4     | 6,3                  | 7       | 93                   | 475     | 13,2                   | 30,4                              | 318                               | 53,0                              | 4,90                 | 27,7                              | 8,65                              | 1,45                 | 1,770                             | 890                               | 35       | -       | 4,4                  | 10,4              |
| IPE 140 | 140         | 73      | 4,7     | 6,9                  | 7       | 112                  | 551     | 16,4                   | 44,2                              | 541                               | 77,3                              | 5,74                 | 44,9                              | 12,3                              | 1,65                 | 2,630                             | 1981                              | 40       | 11      | 4,7                  | 12,9              |
| IPE 160 | 160         | 82      | 5,0     | 7,4                  | 9       | 127                  | 623     | 20,1                   | 61,9                              | 869                               | 109                               | 6,58                 | 68,3                              | 16,7                              | 1,84                 | 3,640                             | 3959                              | 44       | 13      | 5                    | 15,8              |
| IPE 180 | 180         | 91      | 5,3     | 8,0                  | 9       | 146                  | 698     | 23,9                   | 83,2                              | 1320                              | 146                               | 7,42                 | 101                               | 22,2                              | 2,05                 | 5,060                             | 7431                              | 48       | 13      | 5,3                  | 18,8              |
| IPE 200 | 200         | 100     | 5,6     | 8,5                  | 12      | 159                  | 788     | 28,5                   | 110                               | 1940                              | 194                               | 8,26                 | 142                               | 28,5                              | 2,24                 | 6,670                             | 12990                             | 52       | 13      | 5,6                  | 22,4              |
| IPE 220 | 220         | 110     | 5,9     | 9,2                  | 12      | 178                  | 848     | 33,4                   | 143                               | 2770                              | 252                               | 9,11                 | 205                               | 37,3                              | 2,48                 | 9,150                             | 22670                             | 58       | 17      | 5,9                  | 26,2              |
| IPE 240 | 240         | 120     | 6,2     | 9,8                  | 15      | 190                  | 922     | 39,1                   | 183                               | 3890                              | 324                               | 9,97                 | 284                               | 47,3                              | 2,69                 | 12,00                             | 37390                             | 65       | 17      | 6,2                  | 30,7              |
| IPE 270 | 270         | 135     | 6,6     | 10,2                 | 15      | 220                  | 1040    | 45,9                   | 242                               | 5790                              | 429                               | 11,2                 | 420                               | 62,2                              | 3,02                 | 15,40                             | 70580                             | 72       | 21      | 6,6                  | 36,1              |

|         |     |     |      |      |    |     |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |         |     |    |      |      |
|---------|-----|-----|------|------|----|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|---------|-----|----|------|------|
| IPE 300 | 300 | 150 | 7,1  | 10,7 | 15 | 249 | 1160 | 53,8 | 314  | 8360  | 557  | 12,5 | 604  | 80,5 | 3,35 | 20,10 | 125900  | 80  | 23 | 7,1  | 42,2 |
| IPE 330 | 330 | 160 | 7,5  | 11,5 | 18 | 271 | 1250 | 62,6 | 402  | 11770 | 713  | 13,7 | 788  | 98,5 | 3,55 | 26,50 | 199100  | 85  | 25 | 7,5  | 49,1 |
| IPE 360 | 360 | 170 | 8,0  | 12,7 | 18 | 299 | 1350 | 72,7 | 510  | 16270 | 904  | 15,0 | 1040 | 123  | 3,79 | 37,30 | 313600  | 90  | 25 | 8    | 57,1 |
| IPE 400 | 400 | 180 | 8,6  | 13,5 | 21 | 331 | 1470 | 84,5 | 654  | 23130 | 1160 | 16,5 | 1320 | 146  | 3,95 | 48,30 | 490000  | 95  | 28 | 8,6  | 66,3 |
| IPE 450 | 450 | 190 | 9,4  | 14,6 | 21 | 379 | 1610 | 98,8 | 851  | 33740 | 1500 | 18,5 | 1680 | 176  | 4,12 | 65,90 | 791000  | 100 | 28 | 9,4  | 77,6 |
| IPE 500 | 500 | 200 | 10,2 | 16,0 | 21 | 426 | 1740 | 116  | 1100 | 48200 | 1930 | 20,4 | 2140 | 214  | 4,31 | 91,80 | 1249000 | 110 | 28 | 10,2 | 90,7 |
| IPE 550 | 550 | 210 | 11,1 | 17,2 | 24 | 468 | 1880 | 134  | 1390 | 67120 | 2440 | 22,3 | 2670 | 254  | 4,45 | 122,0 | 1884000 | 115 | 28 | 11,1 | 106  |
| IPE 600 | 600 | 220 | 12,0 | 19,0 | 24 | 514 | 2010 | 155  | 1760 | 92080 | 3070 | 24,3 | 3390 | 308  | 4,66 | 172,0 | 2846000 | 120 | 28 | 12,0 | 122  |

**Tabla 2.A1.3.- Perfiles HEB, HEA**



A = Área de la de la sección

$S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

$W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

$W_y = 2I_y : b$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

$i_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

$I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.

u = Perímetro de la sección.

a = Diámetro del agujero del roblón normal.

w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.

$h_1$  = Altura de la parte plana del alma.

p = Peso por metro.

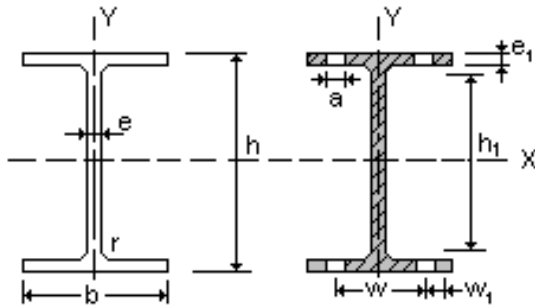
| Perfil  | Dimensiones |         |         |                      |         |                      |         | Términos de la sección |                          |                          |                         |             |                          |                          |             |                          |                          | Agujeros |                      |         | Peso<br>p<br>kp/m |
|---------|-------------|---------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------|----------------------|---------|-------------------|
|         | h<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | e <sub>1</sub><br>mm | r<br>mm | h <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup>   | $S_x$<br>cm <sup>3</sup> | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x$<br>m <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_y$<br>cm | $I_t$<br>cm <sup>4</sup> | $I_a$<br>cm <sup>6</sup> | w<br>mm  | w <sub>1</sub><br>mm | a<br>mm |                   |
| HEB 100 | 100         | 100     | 6,0     | 10                   | 12      | 56                   | 567     | 26,0                   | 52,1                     | 450                      | 90                      | 4,16        | 167                      | 33                       | 2,53        | 9,34                     | 3375                     | 55       | -                    | 13      | 20,4              |

|         |     |     |      |      |    |     |      |       |      |        |      |      |       |     |      |      |          |     |    |    |      |
|---------|-----|-----|------|------|----|-----|------|-------|------|--------|------|------|-------|-----|------|------|----------|-----|----|----|------|
| HEB 120 | 120 | 120 | 6,5  | 11   | 12 | 74  | 686  | 34,0  | 82,6 | 864    | 144  | 5,04 | 318   | 53  | 3,06 | 14,9 | 9410     | 65  | -  | 17 | 26,7 |
| HEB 140 | 140 | 140 | 7,0  | 12   | 12 | 92  | 805  | 43,0  | 123  | 1509   | 216  | 5,93 | 550   | 79  | 3,58 | 22,5 | 22480    | 75  | -  | 21 | 33,7 |
| HEB 160 | 160 | 160 | 8,0  | 13   | 15 | 104 | 918  | 54,3  | 177  | 2492   | 311  | 6,78 | 889   | 111 | 4,05 | 33,2 | 47940    | 85  | -  | 23 | 42,6 |
| HEB 180 | 180 | 180 | 8,5  | 14   | 15 | 122 | 1040 | 65,3  | 241  | 3831   | 426  | 7,66 | 1363  | 151 | 4,57 | 46,5 | 93750    | 100 | -  | 25 | 51,2 |
|         |     |     |      |      |    |     |      |       |      |        |      |      |       |     |      |      |          |     |    |    |      |
| HEB 200 | 200 | 200 | 9,0  | 15   | 18 | 134 | 1150 | 78,1  | 321  | 5696   | 570  | 8,54 | 2003  | 200 | 5,07 | 63,4 | 171100   | 110 | -  | 25 | 61,3 |
| HEB 220 | 220 | 220 | 9,5  | 16   | 18 | 152 | 1270 | 91,0  | 414  | 8091   | 736  | 9,43 | 2843  | 258 | 5,59 | 84,4 | 295400   | 120 | -  | 25 | 71,5 |
| HEB 240 | 240 | 240 | 10,0 | 17   | 21 | 164 | 1380 | 106,0 | 527  | 11259  | 938  | 10,3 | 3923  | 327 | 6,08 | 110  | 486900   | 90  | 35 | 25 | 83,2 |
| HEB 260 | 260 | 260 | 10,0 | 17,5 | 24 | 177 | 1500 | 118,4 | 641  | 14919  | 1150 | 11,2 | 5135  | 395 | 6,58 | 130  | 753700   | 100 | 40 | 25 | 93   |
| HEB 280 | 280 | 280 | 10,5 | 18   | 24 | 196 | 1620 | 131,4 | 767  | 19270  | 1380 | 12,1 | 6595  | 471 | 7,09 | 153  | 1130000  | 110 | 45 | 25 | 103  |
|         |     |     |      |      |    |     |      |       |      |        |      |      |       |     |      |      |          |     |    |    |      |
| HEB 300 | 300 | 300 | 11,0 | 19   | 27 | 208 | 1730 | 149,1 | 934  | 25166  | 1680 | 13,0 | 8563  | 571 | 7,58 | 192  | 1688000  | 120 | 50 | 25 | 117  |
| HEB 320 | 320 | 300 | 11,5 | 20,5 | 27 | 225 | 1770 | 161,3 | 1070 | 30823  | 1930 | 13,8 | 9239  | 616 | 7,57 | 241  | 2069000  | 120 | 50 | 25 | 127  |
| HEB 340 | 340 | 300 | 12,0 | 21,5 | 27 | 243 | 1810 | 170,9 | 1200 | 36656  | 2160 | 14,6 | 9690  | 646 | 7,53 | 278  | 2454000  | 120 | 50 | 25 | 134  |
| HEB 360 | 360 | 300 | 12,5 | 22,5 | 27 | 261 | 1850 | 180,6 | 1340 | 43193  | 2400 | 15,5 | 10140 | 676 | 7,49 | 320  | 2883000  | 120 | 50 | 25 | 142  |
|         |     |     |      |      |    |     |      |       |      |        |      |      |       |     |      |      |          |     |    |    |      |
| HEB 400 | 400 | 300 | 13,5 | 24   | 27 | 298 | 1930 | 197,8 | 1620 | 57680  | 2880 | 17,1 | 10819 | 721 | 7,4  | 394  | 3817000  | 120 | 50 | 25 | 155  |
| HEB 450 | 450 | 300 | 14,0 | 26   | 27 | 344 | 2030 | 218   | 1990 | 79887  | 3550 | 19,1 | 11721 | 781 | 7,33 | 500  | 5258000  | 120 | 50 | 25 | 171  |
| HEB 500 | 500 | 300 | 14,5 | 28   | 27 | 390 | 2120 | 238,6 | 2410 | 107176 | 4290 | 21,2 | 12624 | 842 | 7,27 | 625  | 7018000  | 120 | 45 | 28 | 187  |
| HEB 550 | 550 | 300 | 15,0 | 29   | 27 | 438 | 2220 | 254,1 | 2800 | 136691 | 4970 | 23,2 | 13077 | 872 | 7,17 | 701  | 8856000  | 120 | 45 | 28 | 199  |
| HEB 600 | 600 | 300 | 15,5 | 30   | 27 | 486 | 2320 | 270,0 | 3210 | 171041 | 5700 | 25,2 | 13530 | 902 | 7,08 | 783  | 10965000 | 120 | 45 | 28 | 212  |
|         |     |     |      |      |    |     |      |       |      |        |      |      |       |     |      |      |          |     |    |    |      |
| HEA 100 | 96  | 100 | 5,0  | 8    | 12 | 56  | 561  | 21,2  | 41,5 | 349    | 73   | 4,06 | 134   | 27  | 2,51 | 4,83 | 2581     | 55  | -  | 13 | 16,7 |
| HEA 120 | 114 | 120 | 5,0  | 8    | 12 | 74  | 677  | 25,3  | 59,7 | 606    | 106  | 4,89 | 231   | 38  | 3,02 | 5,81 | 6472     | 65  | -  | 17 | 19,9 |
| HEA 140 | 133 | 140 | 5,5  | 8,5  | 12 | 92  | 794  | 31,4  | 86,7 | 1033   | 155  | 5,73 | 389   | 56  | 3,52 | 8,22 | 15060    | 75  | -  | 21 | 24,7 |
| HEA 160 | 152 | 160 | 6,0  | 9    | 15 | 104 | 906  | 38,8  | 123  | 1673   | 220  | 6,57 | 616   | 77  | 3,98 | 11,3 | 31410    | 85  | -  | 23 | 30,4 |



|         |     |     |      |      |    |     |      |       |      |        |      |      |       |     |      |      |         |     |    |    |      |
|---------|-----|-----|------|------|----|-----|------|-------|------|--------|------|------|-------|-----|------|------|---------|-----|----|----|------|
| HEA 180 | 171 | 180 | 6,0  | 9,5  | 15 | 122 | 1020 | 45,3  | 162  | 2510   | 294  | 7,45 | 925   | 103 | 4,52 | 14,7 | 60210   | 100 | -  | 25 | 35,5 |
| HEA 200 | 190 | 200 | 6,5  | 10   | 18 | 134 | 1140 | 53,8  | 215  | 3692   | 389  | 8,28 | 1336  | 134 | 4,98 | 19,2 | 108000  | 110 | -  | 25 | 42,3 |
| HEA 220 | 210 | 220 | 7,0  | 11   | 18 | 152 | 1260 | 64,3  | 284  | 5410   | 515  | 9,17 | 1955  | 178 | 5,51 | 28   | 193300  | 120 | -  | 25 | 50,5 |
| HEA 240 | 230 | 240 | 7,5  | 12   | 21 | 164 | 1370 | 76,8  | 372  | 7763   | 675  | 10,1 | 2769  | 231 | 6,0  | 39,4 | 328500  | 90  | 35 | 25 | 60,3 |
| HEA 260 | 250 | 260 | 7,5  | 12,5 | 24 | 177 | 1480 | 86,8  | 460  | 10455  | 836  | 11,0 | 3668  | 282 | 6,5  | 47,8 | 516400  | 100 | 40 | 25 | 68,2 |
| HEA 280 | 270 | 280 | 8,0  | 13   | 24 | 196 | 1600 | 97,3  | 556  | 13673  | 1010 | 11,9 | 4763  | 340 | 7,0  | 58,3 | 785400  | 110 | 45 | 25 | 76,4 |
| HEA 300 | 290 | 300 | 8,5  | 14   | 27 | 208 | 1720 | 112,5 | 692  | 18263  | 1260 | 12,7 | 6310  | 421 | 7,49 | 77,7 | 1200000 | 120 | 50 | 25 | 88,3 |
| HEA 320 | 310 | 300 | 9,0  | 15,5 | 27 | 225 | 1760 | 124,4 | 814  | 22928  | 1480 | 13,6 | 6985  | 466 | 7,49 | 105  | 1512000 | 120 | 50 | 25 | 97,6 |
| HEA 340 | 330 | 300 | 9,5  | 16,5 | 27 | 243 | 1790 | 133,5 | 925  | 27693  | 1680 | 14,4 | 7436  | 496 | 7,46 | 127  | 1824000 | 120 | 50 | 25 | 105  |
| HEA 360 | 350 | 300 | 10,0 | 17,5 | 27 | 261 | 1830 | 142,8 | 1040 | 33090  | 1890 | 15,2 | 7887  | 526 | 7,43 | 152  | 2177000 | 120 | 50 | 25 | 112  |
| HEA 400 | 390 | 300 | 11,0 | 19   | 27 | 298 | 1910 | 159   | 1280 | 45069  | 2310 | 16,8 | 8564  | 571 | 7,34 | 197  | 2942000 | 120 | 50 | 25 | 125  |
| HEA 450 | 440 | 300 | 11,5 | 21   | 27 | 344 | 2010 | 178   | 1610 | 63722  | 2900 | 18,9 | 9465  | 631 | 7,29 | 265  | 4148000 | 120 | 50 | 25 | 140  |
| HEA 500 | 490 | 300 | 12,0 | 23   | 27 | 390 | 2110 | 197,5 | 1970 | 86975  | 3550 | 21,0 | 10367 | 691 | 7,24 | 347  | 5643000 | 120 | 45 | 28 | 155  |
| HEA 550 | 540 | 300 | 12,5 | 24   | 27 | 438 | 2210 | 211,8 | 2310 | 111932 | 4150 | 23,0 | 10819 | 721 | 7,15 | 398  | 7189000 | 120 | 45 | 28 | 166  |
| HEA 600 | 590 | 300 | 13,0 | 25   | 27 | 486 | 2310 | 226,5 | 2680 | 141208 | 4790 | 25,0 | 11271 | 751 | 7,05 | 454  | 8978000 | 120 | 45 | 28 | 178  |

**Tabla 2.A1.3.- Perfiles HEM**



A = Área de la de la sección

$S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

$W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

$W_y = 2I_y : b$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

$i_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

$I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.

u = Perímetro de la sección.

a = Diámetro del agujero del roblón normal.

w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.

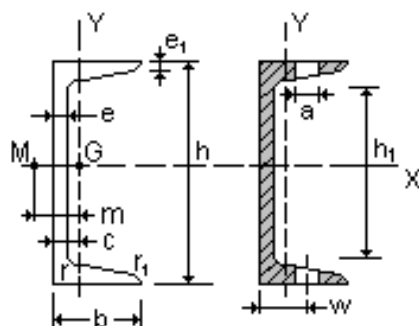
$h_1$  = Altura de la parte plana del alma.

p = Peso por metro.

| Perfil  | Dimensiones |         |         |                      |         |                      |         | Términos de la sección |                                   |                                   |                                   |                      |                                   |                                   |                      |                                   |                                   | Agujeros |                      |         | Peso<br>p<br>kp/m |
|---------|-------------|---------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|----------------------|---------|-------------------|
|         | h<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | e <sub>1</sub><br>mm | r<br>mm | h <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup>   | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>a</sub><br>cm <sup>6</sup> | w<br>mm  | w <sub>1</sub><br>mm | A<br>mm |                   |
| HEM-100 | 120         | 106     | 12      | 20                   | 12      | 56                   | 619     | 53,2                   | 118                               | 1143                              | 190                               | 4,63                 | 399                               | 75                                | 2,74                 | 78,9                              | 9925                              | 55       | -                    | 13      | 41,8              |
| HEM-120 | 140         | 126     | 12,5    | 21                   | 12      | 74                   | 738     | 66,4                   | 175                               | 2018                              | 288                               | 5,51                 | 703                               | 112                               | 3,25                 | 109                               | 24790                             | 65       | -                    | 17      | 52,1              |
| HEM-140 | 160         | 146     | 13      | 22                   | 12      | 92                   | 835     | 80,6                   | 247                               | 3291                              | 411                               | 6,39                 | 1144                              | 157                               | 3,77                 | 145                               | 54330                             | 73       | -                    | 21      | 63,2              |
| HEM-160 | 180         | 166     | 14      | 23                   | 15      | 104                  | 970     | 97,1                   | 337                               | 5098                              | 566                               | 7,25                 | 1759                              | 212                               | 4,26                 | 190                               | 108100                            | 85       | -                    | 23      | 76,2              |
| HEM-180 | 200         | 186     | 14,5    | 24                   | 15      | 122                  | 1090    | 113,3                  | 442                               | 7483                              | 748                               | 8,13                 | 2580                              | 277                               | 4,77                 | 241                               | 199300                            | 95       | -                    | 25      | 88,9              |
| HEM-200 | 220         | 206     | 15      | 25                   | 18      | 134                  | 1200    | 131,3                  | 568                               | 10620                             | 967                               | 9,00                 | 3651                              | 354                               | 5,27                 | 301                               | 346300                            | 105      | -                    | 25      | 103               |
| HEM-220 | 240         | 226     | 15,5    | 26                   | 18      | 152                  | 1320    | 149,4                  | 710                               | 14605                             | 1220                              | 9,89                 | 5012                              | 444                               | 5,79                 | 372                               | 572700                            | 115      | -                    | 25      | 117               |
| HEM-240 | 270         | 248     | 18      | 32                   | 21      | 164                  | 1460    | 199,6                  | 1060                              | 24289                             | 1800                              | 11,0                 | 8153                              | 657                               | 6,39                 | 751                               | 1152000                           | 90       | 35                   | 25      | 157               |
| HEM-260 | 290         | 268     | 18      | 32,5                 | 24      | 177                  | 1570    | 219,6                  | 1260                              | 31307                             | 2160                              | 11,9                 | 10449                             | 780                               | 6,90                 | 848                               | 1728000                           | 100      | 40                   | 25      | 172               |
| HEM-280 | 310         | 288     | 18,5    | 33                   | 24      | 196                  | 1690    | 240,2                  | 1480                              | 39547                             | 2550                              | 12,8                 | 13163                             | 914                               | 7,40                 | 957                               | 2520000                           | 110      | 45                   | 25      | 189               |
| HEM-300 | 320         | 305     | 16      | 29                   | 27      | 208                  | 1780    | 225,1                  | 1460                              | 40951                             | 2560                              | 13,5                 | 13736                             | 901                               | 7,81                 | 686                               | 2903000                           | 120      | 50                   | 25      | 177               |
| HEM-300 | 340         | 310     | 21      | 39                   | 27      | 208                  | 1830    | 303,1                  | 2040                              | 59201                             | 3480                              | 14,0                 | 19403                             | 1252                              | 8,00                 | 1690                              | 4386000                           | 120      | 50                   | 25      | 238               |

|         |     |     |    |    |    |     |      |       |      |        |      |      |       |      |      |      |          |     |    |    |     |
|---------|-----|-----|----|----|----|-----|------|-------|------|--------|------|------|-------|------|------|------|----------|-----|----|----|-----|
| HEM-320 | 359 | 309 | 21 | 40 | 27 | 225 | 1870 | 312,0 | 2220 | 68135  | 3800 | 14,8 | 19709 | 1280 | 7,95 | 1810 | 5004000  | 120 | 50 | 25 | 245 |
| HEM-340 | 377 | 309 | 21 | 40 | 27 | 243 | 1900 | 315,8 | 2360 | 76372  | 4050 | 15,6 | 19711 | 1280 | 7,9  | 1820 | 5585000  | 120 | 50 | 25 | 248 |
| HEM-360 | 395 | 308 | 21 | 40 | 27 | 261 | 1930 | 318,8 | 2490 | 84867  | 4300 | 16,3 | 19522 | 1270 | 7,83 | 1820 | 6137000  | 120 | 50 | 25 | 250 |
| HEM-400 | 432 | 307 | 21 | 40 | 27 | 298 | 2000 | 325,8 | 2790 | 104119 | 4820 | 17,9 | 19335 | 1260 | 7,70 | 1830 | 7410000  | 120 | 50 | 25 | 256 |
| HEM-450 | 478 | 307 | 21 | 40 | 27 | 344 | 2100 | 335,4 | 3170 | 131484 | 5500 | 19,8 | 19339 | 1260 | 7,59 | 1850 | 9252000  | 120 | 50 | 25 | 263 |
| HEM-500 | 524 | 306 | 21 | 40 | 27 | 390 | 2180 | 344,3 | 3550 | 161929 | 6180 | 21,7 | 19155 | 1250 | 7,46 | 1860 | 11187000 | 120 | 50 | 28 | 270 |
| HEM-550 | 572 | 306 | 21 | 40 | 27 | 438 | 2280 | 354,4 | 3970 | 197984 | 6920 | 23,6 | 19158 | 1250 | 7,35 | 1880 | 13516000 | 120 | 50 | 28 | 278 |
| HEM-600 | 620 | 305 | 21 | 40 | 27 | 486 | 2370 | 363,7 | 4390 | 237447 | 7660 | 25,6 | 18975 | 1240 | 7,22 | 1890 | 15908000 | 120 | 50 | 28 | 285 |

**Tabla 2.A1.4.- Perfiles UPN**



A = Área de la de la sección

$S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

$W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

$W_y = 2I_y : (b-c)$ . Mínimo módulo resistente de la sección, respecto a Y.

$I_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

c = Posición del eje Y.

u = Perímetro de la sección.

a = Diámetro del agujero del roblón normal.

w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.

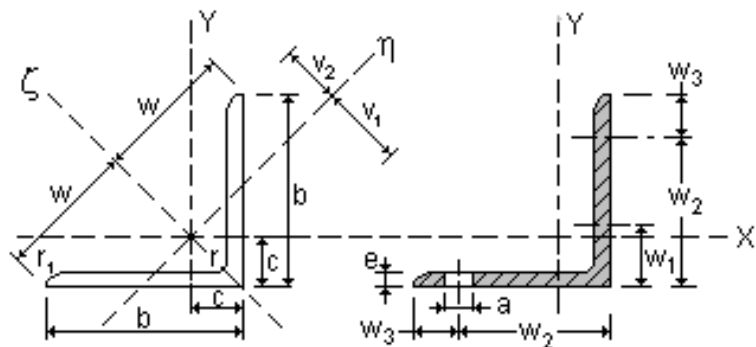
$h_1$  = Altura de la parte plana del alma.

p = Peso por metro.

| Perfil | Dimensiones | Términos de la sección | Agujeros | Peso<br>p<br>kp/m |
|--------|-------------|------------------------|----------|-------------------|
|--------|-------------|------------------------|----------|-------------------|

|         | h<br>mm | b<br>mm | e<br>mm | e <sub>1</sub> =r<br>mm | r <sub>1</sub><br>mm | h <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | A<br>cm | S <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | c<br>cm | m<br>cm | w<br>mm | a<br>mm |       |
|---------|---------|---------|---------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|
| UPN 80  | 80      | 45      | 6,0     | 8,0                     | 4,0                  | 46                   | 312     | 11,0    | 15,9                              | 106                               | 26,5                              | 3,10                 | 19,4                              | 6,36                              | 1,33                 | 2,24                              | 1,45    | 2,67    | 25      | 13      | 8,64  |
| UPN 100 | 100     | 50      | 6,0     | 8,5                     | 4,5                  | 64                   | 372     | 13,5    | 24,5                              | 206                               | 41,2                              | 3,91                 | 29,3                              | 8,49                              | 1,47                 | 2,96                              | 1,55    | 2,93    | 30      | 13      | 10,60 |
| UPN 120 | 120     | 55      | 7,0     | 9,0                     | 4,5                  | 82                   | 434     | 17,0    | 36,3                              | 364                               | 60,7                              | 4,62                 | 43,2                              | 11,1                              | 1,59                 | 4,3                               | 1,60    | 3,03    | 30      | 17      | 13,40 |
| UPN 140 | 140     | 60      | 7,0     | 10,0                    | 5,0                  | 98                   | 489     | 20,4    | 51,4                              | 605                               | 86,4                              | 5,45                 | 62,7                              | 14,8                              | 1,75                 | 6,02                              | 1,75    | 3,37    | 35      | 17      | 16,00 |
| UPN 160 | 160     | 65      | 7,5     | 10,5                    | 5,5                  | 115                  | 546     | 24,0    | 68,8                              | 925                               | 116                               | 6,21                 | 85,3                              | 18,3                              | 1,89                 | 7,81                              | 1,84    | 3,56    | 35      | 21      | 18,80 |
| UPN 180 | 180     | 70      | 8,0     | 11,0                    | 5,5                  | 133                  | 611     | 28,0    | 89,6                              | 1350                              | 150                               | 6,95                 | 114                               | 22,4                              | 2,02                 | 9,98                              | 1,92    | 3,75    | 40      | 21      | 22,00 |
| UPN 200 | 200     | 75      | 8,5     | 11,5                    | 6,0                  | 151                  | 661     | 32,2    | 114                               | 1910                              | 191                               | 7,70                 | 148                               | 27,0                              | 2,14                 | 12,6                              | 2,01    | 3,94    | 40      | 23      | 25,30 |
| UPN 220 | 220     | 80      | 9,0     | 12,5                    | 6,5                  | 167                  | 718     | 37,4    | 146                               | 2690                              | 245                               | 8,48                 | 197                               | 33,6                              | 2,30                 | 17,0                              | 2,14    | 4,20    | 45      | 23      | 29,40 |
| UPN 240 | 240     | 85      | 9,5     | 13,0                    | 6,5                  | 184                  | 775     | 42,3    | 179                               | 3600                              | 300                               | 9,22                 | 248                               | 39,6                              | 2,42                 | 20,8                              | 2,23    | 4,39    | 45      | 25      | 33,20 |
| UPN 260 | 260     | 90      | 10      | 14,0                    | 7,0                  | 200                  | 834     | 48,3    | 221                               | 4820                              | 371                               | 9,99                 | 317                               | 47,7                              | 2,56                 | 23,7                              | 2,36    | 4,66    | 50      | 25      | 37,90 |
| UPN 280 | 280     | 95      | 10      | 15,0                    | 7,5                  | 216                  | 890     | 53,3    | 266                               | 6280                              | 448                               | 10,9                 | 399                               | 57,2                              | 2,74                 | 33,2                              | 2,53    | 5,02    | 50      | 25      | 41,80 |
| UPN 300 | 300     | 100     | 10      | 16,0                    | 8,0                  | 232                  | 950     | 58,8    | 316                               | 8030                              | 535                               | 11,7                 | 495                               | 67,8                              | 2,90                 | 40,6                              | 2,70    | 5,41    | 55      | 25      | 46,20 |

**Tabla 2.A1.5.- Perfiles L**



A = Área de la de la sección

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X .

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y .

$I_\zeta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\zeta$  .

$I_\eta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\eta$  .

$W_x = I_x : (b-c)$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$W_\eta = I_\eta : V_1$ . Módulo resistente de la sección, respecto a  $\eta$

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$  . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$i_\zeta = (I_\zeta : A)^{1/2}$  . Radio de giro de la sección, respecto a  $\zeta$

$i_\eta = (I_\eta : A)^{1/2}$  . Radio de giro de la sección, respecto a  $\eta$

u = Perímetro de la sección.

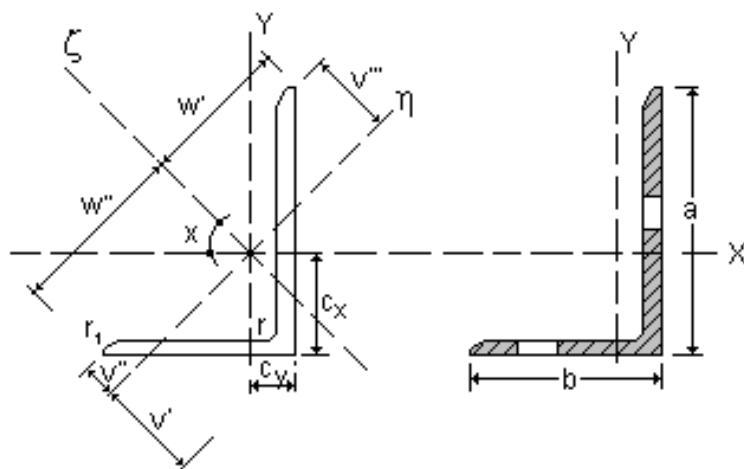
p= Peso por metro.

| Perfil | Dimensiones |         |         |                      |         | Posición de centro |                      |                      |         | Términos de la sección |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      |                      | Agujeros             |                      |                      |         | Peso<br>P<br>kp/m |
|--------|-------------|---------|---------|----------------------|---------|--------------------|----------------------|----------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|-------------------|
|        | b<br>mm     | e<br>mm | r<br>mm | r <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | c<br>cm            | v <sub>1</sub><br>cm | v <sub>2</sub><br>cm | w<br>cm | A<br>cm                | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>ζ</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>η</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>η</sub><br>cm <sup>3</sup> | I <sub>x</sub><br>cm | i <sub>ζ</sub><br>cm | i <sub>η</sub><br>cm | w <sub>1</sub><br>mm | w <sub>2</sub><br>mm | w <sub>3</sub><br>mm | a<br>mm |                   |
| L 40.4 | 40          | 4       | 6       | 3,0                  | 155     | 1,12               | 1,58                 | 1,4                  | 2,83    | 3,08                   | 4,47                              | 7,09                              | 1,86                              | 1,55                              | 1,17                              | 1,21                 | 1,52                 | 0,78                 | 22                   | -                    | 18                   | 11      | 2,42              |
| L 40.5 | 40          | 5       | 6       | 3,0                  | 155     | 1,16               | 1,64                 | 1,42                 | 2,83    | 3,79                   | 5,43                              | 8,60                              | 2,26                              | 1,91                              | 1,37                              | 1,20                 | 1,51                 | 0,77                 | 22                   | -                    | 18                   | 11      | 2,97              |
| L 40.6 | 40          | 6       | 6       | 3,0                  | 155     | 1,20               | 1,70                 | 1,43                 | 2,83    | 4,48                   | 6,31                              | 9,98                              | 2,65                              | 2,26                              | 1,56                              | 1,19                 | 1,49                 | 0,77                 | 22                   | -                    | 18                   | 11      | 3,52              |
|        |             |         |         |                      |         |                    |                      |                      |         |                        |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |         |                   |
| L 45.4 | 45          | 4       | 7       | 3,5                  | 174     | 1,23               | 1,75                 | 1,57                 | 3,18    | 3,49                   | 6,43                              | 10,2                              | 2,67                              | 1,97                              | 1,53                              | 1,36                 | 1,71                 | 0,88                 | 25                   | -                    | 20                   | 13      | 2,74              |
| L 45.5 | 45          | 5       | 7       | 3,5                  | 174     | 1,28               | 1,81                 | 1,58                 | 3,18    | 4,3                    | 7,84                              | 12,4                              | 3,26                              | 2,43                              | 1,80                              | 1,35                 | 1,7                  | 0,87                 | 25                   | -                    | 20                   | 13      | 3,38              |
| L 45.6 | 45          | 6       | 7       | 3,5                  | 174     | 1,32               | 1,87                 | 1,59                 | 3,18    | 5,09                   | 9,16                              | 14,5                              | 3,82                              | 2,88                              | 2,05                              | 1,34                 | 1,69                 | 0,87                 | 25                   | -                    | 20                   | 13      | 4,00              |
|        |             |         |         |                      |         |                    |                      |                      |         |                        |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |         |                   |
| L 50.4 | 50          | 4       | 7       | 3,5                  | 194     | 1,36               | 1,92                 | 1,75                 | 3,54    | 3,89                   | 8,97                              | 14,2                              | 3,72                              | 2,46                              | 1,94                              | 1,52                 | 1,91                 | 0,98                 | 30                   | -                    | 20                   | 13      | 3,06              |
| L 50.5 | 50          | 5       | 7       | 3,5                  | 194     | 1,40               | 1,99                 | 1,76                 | 3,54    | 4,8                    | 11,0                              | 17,4                              | 4,54                              | 3,05                              | 2,29                              | 1,51                 | 1,90                 | 0,97                 | 30                   | -                    | 20                   | 13      | 3,77              |

|          |     |    |    |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |       |
|----------|-----|----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|-------|
| L 50.6   | 50  | 6  | 7  | 3,5 | 194 | 1,45 | 2,04 | 1,77 | 3,54 | 5,69 | 12,8 | 20,3 | 5,33 | 3,61 | 2,61 | 1,50 | 1,89 | 0,97 | 30 | -  | 20 | 13 | 4,47  |
| L 50.7   | 50  | 7  | 7  | 3,5 | 194 | 1,49 | 2,10 | 1,78 | 3,54 | 6,56 | 14,6 | 23,1 | 6,11 | 4,16 | 2,91 | 1,49 | 1,88 | 0,96 | 30 | -  | 20 | 13 | 5,15  |
| L 50.8   | 50  | 8  | 7  | 3,5 | 194 | 1,52 | 2,16 | 1,8  | 3,54 | 7,41 | 16,3 | 25,7 | 6,87 | 4,68 | 3,19 | 1,48 | 1,86 | 0,96 | 30 | -  | 20 | 13 | 5,82  |
| L 60.5   | 60  | 5  | 8  | 4,0 | 233 | 1,64 | 2,32 | 2,11 | 4,24 | 5,82 | 19,4 | 30,7 | 8,02 | 4,45 | 3,45 | 1,82 | 2,30 | 1,17 | 35 | -  | 25 | 17 | 4,57  |
| L 60.6   | 60  | 6  | 8  | 4,0 | 233 | 1,69 | 2,39 | 2,11 | 4,24 | 6,91 | 22,8 | 36,2 | 9,43 | 5,29 | 3,95 | 1,82 | 2,29 | 1,17 | 35 | -  | 25 | 17 | 5,42  |
| L 60.8   | 60  | 8  | 8  | 4,0 | 233 | 1,77 | 2,50 | 2,14 | 4,24 | 9,03 | 29,2 | 46,2 | 12,2 | 6,89 | 4,66 | 1,80 | 2,26 | 1,16 | 35 | -  | 25 | 17 | 7,09  |
| L 60.10  | 60  | 10 | 8  | 4,0 | 233 | 1,85 | 2,61 | 2,17 | 4,24 | 11,1 | 34,9 | 55,1 | 14,8 | 8,41 | 5,67 | 1,78 | 2,23 | 1,16 | 35 | -  | 25 | 17 | 8,69  |
| L 70.6   | 70  | 6  | 9  | 4,5 | 272 | 1,93 | 2,73 | 2,46 | 4,95 | 8,13 | 36,9 | 58,5 | 15,3 | 7,27 | 5,59 | 2,13 | 2,68 | 1,37 | 40 | -  | 30 | 21 | 6,38  |
| L 70.7   | 70  | 7  | 9  | 4,5 | 272 | 1,97 | 2,79 | 2,47 | 4,95 | 9,40 | 42,3 | 67,1 | 17,5 | 8,41 | 6,27 | 2,12 | 2,67 | 1,36 | 40 | -  | 30 | 21 | 7,38  |
| L 70.8   | 70  | 8  | 9  | 4,5 | 272 | 2,01 | 2,85 | 2,47 | 4,95 | 10,6 | 47,5 | 75,3 | 19,7 | 9,52 | 6,91 | 2,11 | 2,66 | 1,36 | 40 | -  | 30 | 21 | 8,36  |
| L 70.10  | 70  | 10 | 9  | 4,5 | 272 | 2,09 | 2,96 | 2,50 | 4,95 | 13,1 | 57,2 | 90,5 | 23,9 | 11,7 | 8,10 | 2,09 | 2,63 | 1,35 | 40 | -  | 30 | 21 | 10,3  |
| L 80.8   | 80  | 8  | 10 | 5,0 | 311 | 2,26 | 3,19 | 2,82 | 5,66 | 12,3 | 72,2 | 115  | 29,9 | 12,6 | 9,36 | 2,43 | 3,06 | 1,56 | 45 | -  | 35 | 23 | 9,63  |
| L 80.10  | 80  | 10 | 10 | 5,0 | 311 | 2,34 | 3,30 | 2,85 | 5,66 | 15,1 | 87,5 | 139  | 36,3 | 13,4 | 11,0 | 2,41 | 3,03 | 1,55 | 45 | -  | 35 | 23 | 11,9  |
| L 80.12  | 80  | 12 | 10 | 5,0 | 311 | 2,41 | 3,41 | 2,89 | 5,66 | 17,9 | 102  | 161  | 42,7 | 18,2 | 12,5 | 2,39 | 3,00 | 1,55 | 45 | -  | 35 | 23 | 14,00 |
| L 90.8   | 90  | 8  | 11 | 5,5 | 351 | 2,50 | 3,53 | 3,17 | 6,36 | 13,9 | 104  | 166  | 43,1 | 16,1 | 12,2 | 2,74 | 3,45 | 1,76 | 50 | -  | 40 | 25 | 10,9  |
| L 90.10  | 90  | 10 | 11 | 5,5 | 351 | 2,58 | 3,65 | 3,19 | 6,36 | 17,1 | 127  | 201  | 52,5 | 19,8 | 14,4 | 2,72 | 3,43 | 1,75 | 50 | -  | 40 | 25 | 13,4  |
| L 90.12  | 90  | 12 | 11 | 5,5 | 351 | 2,66 | 3,76 | 3,22 | 6,36 | 20,3 | 148  | 234  | 61,7 | 23,3 | 16,4 | 2,70 | 3,40 | 1,74 | 50 | -  | 40 | 25 | 15,9  |
| L 100.8  | 100 | 8  | 12 | 6,0 | 390 | 2,74 | 3,87 | 3,52 | 7,07 | 15,5 | 145  | 230  | 59,8 | 19,9 | 15,5 | 3,06 | 3,85 | 1,96 | 45 | 60 | 40 | 25 | 12,2  |
| L 100.10 | 100 | 10 | 12 | 6,0 | 390 | 2,82 | 3,99 | 3,54 | 7,07 | 19,2 | 177  | 280  | 72,9 | 24,6 | 18,3 | 3,04 | 3,83 | 1,95 | 45 | 60 | 40 | 25 | 15,0  |
| L 100.12 | 100 | 12 | 12 | 6,0 | 390 | 2,90 | 4,11 | 3,57 | 7,07 | 22,7 | 207  | 328  | 85,7 | 29,1 | 20,9 | 3,02 | 3,8  | 1,94 | 45 | 60 | 40 | 25 | 17,8  |
| L 100.15 | 100 | 15 | 12 | 6,0 | 390 | 3,02 | 4,27 | 3,61 | 7,07 | 27,9 | 249  | 393  | 104  | 35,6 | 24,4 | 2,98 | 3,75 | 1,93 | 45 | 60 | 40 | 25 | 21,9  |

|          |     |    |    |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |     |    |    |      |
|----------|-----|----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|-----|----|----|------|
| L 120.10 | 120 | 10 | 13 | 6,5 | 469 | 3,31 | 4,69 | 4,23 | 8,49 | 23,2 | 313  | 497  | 129  | 36,0 | 27,5 | 3,67 | 4,63 | 2,36 | 50 | 80  | 40 | 25 | 18,2 |
| L 120.12 | 120 | 12 | 13 | 6,5 | 469 | 3,40 | 4,80 | 4,28 | 8,49 | 27,5 | 368  | 584  | 152  | 42,7 | 31,5 | 3,65 | 4,60 | 2,35 | 50 | 80  | 40 | 25 | 21,6 |
| L 120.15 | 120 | 15 | 13 | 6,5 | 469 | 3,51 | 4,97 | 4,31 | 8,49 | 33,9 | 445  | 705  | 185  | 52,4 | 37,1 | 3,62 | 4,56 | 2,33 | 50 | 80  | 40 | 25 | 26,6 |
| L 150.12 | 150 | 12 | 16 | 8,0 | 586 | 4,12 | 5,83 | 5,29 | 10,6 | 34,8 | 737  | 1170 | 303  | 67,7 | 52,0 | 4,60 | 5,80 | 2,95 | 50 | 105 | 45 | 28 | 27,3 |
| L 150.15 | 150 | 15 | 16 | 8,0 | 586 | 4,25 | 6,01 | 5,33 | 10,6 | 43,0 | 898  | 1430 | 370  | 83,5 | 61,6 | 4,57 | 5,76 | 2,93 | 50 | 105 | 45 | 28 | 33,8 |
| L 150.18 | 150 | 18 | 16 | 8,0 | 586 | 4,37 | 6,17 | 5,38 | 10,6 | 51,0 | 1050 | 1670 | 435  | 98,7 | 70,4 | 4,54 | 5,71 | 2,92 | 50 | 105 | 45 | 28 | 40,1 |
| L 180.15 | 180 | 15 | 18 | 9,0 | 705 | 4,98 | 7,05 | 6,36 | 12,7 | 52,1 | 1590 | 2520 | 653  | 122  | 92,6 | 5,52 | 6,96 | 3,54 | 60 | 135 | 45 | 28 | 40,9 |
| L 180.18 | 180 | 18 | 18 | 9,0 | 705 | 5,10 | 7,22 | 6,41 | 12,7 | 61,9 | 1870 | 2960 | 768  | 145  | 106  | 5,49 | 6,92 | 3,52 | 60 | 135 | 45 | 28 | 48,6 |
| L 180.20 | 180 | 20 | 18 | 9,0 | 705 | 5,18 | 7,33 | 6,44 | 12,7 | 68,3 | 2040 | 3240 | 843  | 159  | 115  | 5,47 | 6,89 | 3,51 | 60 | 135 | 45 | 28 | 53,7 |
| L 200.16 | 200 | 16 | 18 | 9,0 | 785 | 5,52 | 7,81 | 7,09 | 14,1 | 61,8 | 2340 | 3720 | 960  | 162  | 123  | 6,16 | 7,76 | 3,94 | 60 | 150 | 50 | 28 | 48,5 |
| L 200.18 | 200 | 18 | 18 | 9,0 | 785 | 5,6  | 7,93 | 7,12 | 14,1 | 69,1 | 2600 | 4130 | 1070 | 181  | 135  | 6,13 | 7,73 | 3,93 | 60 | 150 | 50 | 28 | 54,2 |
| L 200.20 | 200 | 20 | 18 | 9,0 | 785 | 5,68 | 8,04 | 7,15 | 14,1 | 76,3 | 2850 | 4530 | 1170 | 199  | 146  | 6,11 | 7,7  | 3,92 | 60 | 150 | 50 | 28 | 59,9 |
| L 200.24 | 200 | 24 | 18 | 9,0 | 785 | 5,84 | 8,26 | 7,21 | 14,1 | 90,6 | 3330 | 5280 | 1380 | 235  | 167  | 6,06 | 7,64 | 3,9  | 60 | 150 | 50 | 28 | 71,1 |

**Tabla 2.A1.6.- Perfiles LD**



A = Área de la de la sección

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

$I_\zeta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\zeta$ .

$I_\eta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\eta$ .

$W_x = I_x : (a - c_x)$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$W_y = I_y : (b - c_y)$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

$W_\eta = I_\eta : V'$ . Módulo resistente de la sección, respecto a  $\eta$

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$i_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y.

$i_\zeta = (I_\zeta : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a  $\zeta$

$i_\eta = (I_\eta : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a  $\eta$

u = Perímetro de la sección.

p= Peso por metro

| Perfil    | Dimensiones |         |         |         |                      |         | Posición del centro  |                      |          |           |          |           | Términos de la sección |                      |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      |                      |                      | Peso<br>P<br>kp/m |
|-----------|-------------|---------|---------|---------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|----------|-----------|----------|-----------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|           | a<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | r <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | c <sub>x</sub><br>cm | c <sub>y</sub><br>cm | w'<br>cm | w''<br>cm | V'<br>cm | V''<br>cm | V'''<br>cm             | A<br>cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>ζ</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>η</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | i <sub>y</sub><br>cm | i <sub>ζ</sub><br>cm | i <sub>η</sub><br>cm |                   |
| L 40.25.4 | 40          | 25      | 4       | 4       | 2,0                  | 127     | 1,3                  | 0,6                  | 2,6      | 1,9       | 1,0      | 1,3       | 0,6                    | 2,46                 | 3,89                              | 1,16                              | 4,35                              | 0,70                              | 1,47                              | 0,62                              | 1,26                 | 0,69                 | 1,33                 | 0,53                 | 1,93              |
| L 40.25.5 | 40          | 25      | 5       | 4       | 2,0                  | 127     | 1,4                  | 0,6                  | 2,6      | 1,9       | 1,1      | 1,3       | 0,7                    | 3,02                 | 4,69                              | 1,39                              | 5,23                              | 0,85                              | 1,81                              | 0,76                              | 1,25                 | 0,68                 | 1,32                 | 0,53                 | 2,37              |
| L 45.30.4 | 45          | 30      | 4       | 4       | 2,0                  | 147     | 1,4                  | 0,7                  | 3,0      | 2,3       | 1,2      | 1,5       | 0,8                    | 2,86                 | 5,77                              | 2,05                              | 6,63                              | 1,19                              | 1,91                              | 0,91                              | 1,42                 | 0,85                 | 1,52                 | 0,65                 | 2,24              |
| L 45.30.5 | 45          | 30      | 5       | 4       | 2,0                  | 147     | 1,5                  | 0,7                  | 3,0      | 2,3       | 1,3      | 1,5       | 0,8                    | 3,52                 | 6,98                              | 2,47                              | 8,00                              | 1,45                              | 2,35                              | 1,11                              | 1,41                 | 0,84                 | 1,51                 | 0,64                 | 2,76              |
| L 60.30.5 | 60          | 30      | 5       | 6       | 3,0                  | 175     | 2,1                  | 0,6                  | 3,8      | 2,7       | 1,2      | 1,7       | 0,7                    | 4,29                 | 15,6                              | 2,60                              | 16,5                              | 1,70                              | 4,04                              | 1,12                              | 1,90                 | 0,78                 | 1,96                 | 0,63                 | 3,37              |
| L 60.30.6 | 60          | 30      | 6       | 6       | 3,0                  | 175     | 2,2                  | 0,7                  | 3,8      | 2,7       | 1,2      | 1,7       | 0,7                    | 5,08                 | 18,2                              | 3,02                              | 19,2                              | 1,99                              | 4,78                              | 1,32                              | 1,89                 | 0,77                 | 1,95                 | 0,63                 | 3,99              |

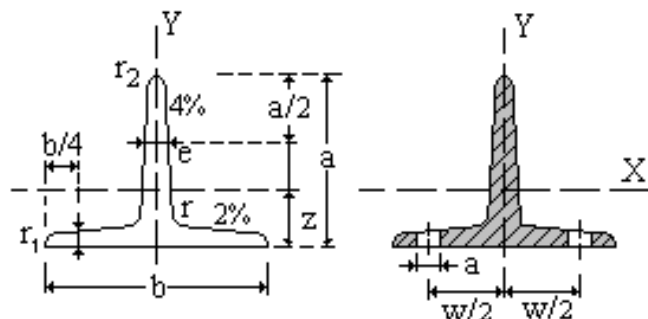


|             |     |    |    |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L 60.40.5   | 60  | 40 | 5  | 6 | 3,0 | 195 | 1,9 | 0,9 | 4,1 | 3,0 | 1,6 | 2,1 | 1,1 | 4,79 | 17,2 | 6,11 | 19,8 | 3,54 | 4,25 | 2,02 | 1,89 | 1,13 | 2,03 | 0,86 | 3,76 |
| L 60.40.6   | 60  | 40 | 6  | 6 | 3,0 | 195 | 2,0 | 1,0 | 4,0 | 3,0 | 1,7 | 2,1 | 1,1 | 5,68 | 20,1 | 7,12 | 23,1 | 4,15 | 5,03 | 2,38 | 1,88 | 1,12 | 2,02 | 0,86 | 4,46 |
| L 60.40.7   | 60  | 40 | 7  | 6 | 3,0 | 195 | 2,0 | 1,0 | 4,0 | 3,0 | 1,7 | 2,0 | 1,1 | 6,55 | 22,9 | 8,07 | 26,3 | 4,75 | 5,79 | 2,74 | 1,87 | 1,11 | 2,00 | 0,85 | 5,14 |
| L 65.50.5   | 65  | 50 | 5  | 6 | 3,0 | 225 | 1,9 | 1,2 | 4,5 | 3,6 | 2,0 | 2,3 | 1,5 | 5,54 | 23,2 | 11,9 | 28,8 | 6,32 | 5,14 | 3,19 | 2,05 | 1,47 | 2,28 | 1,07 | 4,35 |
| L 65.50.6   | 65  | 50 | 6  | 6 | 3,0 | 225 | 2,0 | 1,2 | 4,5 | 3,6 | 2,1 | 2,3 | 1,5 | 6,58 | 27,2 | 14,0 | 33,8 | 7,43 | 6,10 | 3,77 | 2,03 | 1,46 | 2,27 | 1,06 | 5,16 |
| L 65.50.7   | 65  | 50 | 7  | 6 | 3,0 | 225 | 2,0 | 1,3 | 4,5 | 3,6 | 2,1 | 2,3 | 1,5 | 7,6  | 31,1 | 15,9 | 38,5 | 8,51 | 7,03 | 4,34 | 2,02 | 1,45 | 2,25 | 1,06 | 5,96 |
| L 65.50.8   | 65  | 50 | 8  | 6 | 3,0 | 225 | 2,1 | 1,3 | 4,4 | 3,7 | 2,2 | 2,3 | 1,5 | 8,6  | 34,8 | 17,7 | 43,0 | 9,56 | 7,93 | 4,89 | 2,01 | 1,44 | 2,24 | 1,05 | 6,75 |
| L 75.50.5   | 75  | 50 | 5  | 7 | 3,5 | 244 | 2,3 | 1,1 | 5,1 | 3,8 | 2,0 | 2,6 | 1,3 | 6,05 | 34,4 | 12,3 | 39,6 | 7,11 | 6,74 | 3,21 | 2,38 | 1,43 | 2,56 | 1,08 | 4,75 |
| L 75.50.6   | 75  | 50 | 6  | 7 | 3,5 | 244 | 2,4 | 1,2 | 5,1 | 3,8 | 2,0 | 2,6 | 1,3 | 7,19 | 40,5 | 14,4 | 46,6 | 8,36 | 8,01 | 3,81 | 2,37 | 1,42 | 2,55 | 1,08 | 5,65 |
| L 75.50.7   | 75  | 50 | 7  | 7 | 3,5 | 244 | 2,4 | 1,2 | 5,1 | 3,8 | 2,1 | 2,6 | 1,3 | 8,31 | 46,4 | 16,5 | 53,3 | 9,57 | 9,24 | 4,39 | 2,36 | 1,41 | 2,53 | 1,07 | 6,53 |
| L 75.50.8   | 75  | 50 | 8  | 7 | 3,5 | 244 | 2,5 | 1,2 | 5,0 | 3,8 | 2,1 | 2,6 | 1,4 | 9,41 | 52,0 | 18,4 | 59,7 | 10,8 | 10,4 | 4,95 | 2,35 | 1,40 | 2,52 | 1,07 | 7,39 |
| L 80.40.5   | 80  | 40 | 5  | 7 | 3,5 | 234 | 2,8 | 0,8 | 5,2 | 3,5 | 1,5 | 2,4 | 0,9 | 5,8  | 38,2 | 6,49 | 40,5 | 4,19 | 7,35 | 2,06 | 2,56 | 1,06 | 2,64 | 0,85 | 4,56 |
| L 80.40.6   | 80  | 40 | 6  | 7 | 3,5 | 234 | 2,8 | 0,8 | 5,2 | 3,5 | 1,5 | 2,3 | 0,8 | 6,89 | 44,9 | 7,59 | 47,6 | 4,92 | 8,73 | 2,44 | 2,55 | 1,08 | 2,63 | 0,85 | 5,41 |
| L 80.40.7   | 80  | 40 | 7  | 7 | 3,5 | 234 | 2,9 | 0,9 | 5,1 | 3,6 | 1,6 | 2,3 | 0,9 | 7,96 | 51,4 | 8,63 | 54,4 | 5,64 | 10,1 | 2,81 | 2,54 | 1,04 | 2,61 | 0,84 | 6,25 |
| L 80.40.8   | 80  | 40 | 8  | 7 | 3,5 | 234 | 2,9 | 0,9 | 5,1 | 3,6 | 1,6 | 2,3 | 1,0 | 9,01 | 57,6 | 9,61 | 60,9 | 6,33 | 11,4 | 3,16 | 2,53 | 1,03 | 2,60 | 0,84 | 7,07 |
| L 80.60.6   | 80  | 60 | 6  | 8 | 4,0 | 273 | 2,4 | 1,4 | 5,5 | 3,8 | 2,5 | 2,9 | 1,7 | 8,11 | 51,4 | 24,8 | 62,8 | 13,4 | 9,29 | 5,49 | 2,52 | 1,75 | 2,78 | 1,29 | 6,37 |
| L 80.60.7   | 80  | 60 | 7  | 8 | 4,0 | 273 | 2,5 | 1,5 | 5,5 | 3,8 | 2,5 | 2,9 | 1,7 | 9,38 | 59,0 | 28,4 | 72,0 | 15,4 | 10,7 | 6,34 | 2,51 | 1,74 | 2,77 | 1,28 | 7,36 |
| L 80.60.8   | 80  | 60 | 8  | 8 | 4,0 | 273 | 2,5 | 1,5 | 5,5 | 3,8 | 2,5 | 2,9 | 1,8 | 10,6 | 66,3 | 31,8 | 80,8 | 17,3 | 12,2 | 7,16 | 2,5  | 1,73 | 2,76 | 1,27 | 8,34 |
| L 100.50.6  | 100 | 50 | 6  | 9 | 4,5 | 292 | 3,4 | 1,0 | 6,5 | 4,4 | 1,9 | 3,0 | 1,1 | 8,73 | 89,7 | 15,3 | 95,1 | 9,85 | 13,8 | 3,85 | 3,21 | 1,32 | 3,3  | 1,06 | 6,85 |
| L 100.50.7  | 100 | 50 | 7  | 9 | 4,5 | 292 | 3,5 | 1,0 | 6,5 | 4,4 | 1,9 | 2,9 | 1,1 | 10,1 | 103  | 17,4 | 109  | 11,3 | 16,0 | 4,46 | 3,2  | 1,31 | 3,29 | 1,06 | 7,93 |
| L 100.50.8  | 100 | 50 | 8  | 9 | 4,5 | 292 | 3,5 | 1,1 | 6,4 | 4,4 | 2,0 | 2,9 | 1,1 | 11,4 | 116  | 19,5 | 123  | 12,7 | 18,1 | 5,04 | 3,18 | 1,31 | 3,28 | 1,05 | 8,99 |
| L 100.50.10 | 100 | 50 | 10 | 9 | 4,5 | 292 | 3,6 | 1,2 | 6,4 | 4,5 | 2,0 | 2,9 | 1,2 | 14,1 | 141  | 23,4 | 149  | 15,4 | 22,2 | 6,17 | 3,16 | 1,29 | 3,25 | 1,05 | 11,1 |

|              |     |     |    |    |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L 100.65.7   | 100 | 65  | 7  | 10 | 5,0 | 321 | 3,2 | 1,5 | 6,8  | 4,9 | 2,6 | 3,4 | 1,7 | 11,2 | 113  | 57,6 | 128  | 22,0 | 16,6 | 7,53 | 3,17 | 1,83 | 3,39 | 1,40 | 8,77 |
| L 100.65.8   | 100 | 65  | 8  | 10 | 5,0 | 321 | 3,2 | 1,5 | 6,8  | 4,9 | 2,6 | 3,4 | 1,7 | 12,7 | 127  | 42,2 | 144  | 24,8 | 18,9 | 8,54 | 3,16 | 1,83 | 3,37 | 1,40 | 9,94 |
| L 100.65.10  | 100 | 65  | 10 | 10 | 5,0 | 321 | 3,3 | 1,6 | 6,7  | 5,0 | 2,7 | 3,4 | 1,7 | 15,6 | 154  | 51,0 | 175  | 30,1 | 23,2 | 10,5 | 3,14 | 1,81 | 3,35 | 1,39 | 12,3 |
| L 100.75.8   | 100 | 75  | 8  | 10 | 5,0 | 341 | 3,1 | 1,8 | 6,9  | 5,4 | 3,1 | 3,6 | 2,1 | 13,5 | 133  | 64,1 | 163  | 34,6 | 19,3 | 11,4 | 3,14 | 2,18 | 3,47 | 1,60 | 10,6 |
| L 100.75.10  | 100 | 75  | 10 | 10 | 5,0 | 341 | 3,1 | 1,9 | 6,9  | 5,4 | 3,2 | 3,6 | 2,2 | 16,6 | 162  | 77,6 | 197  | 42,2 | 23,8 | 14,0 | 3,12 | 2,16 | 3,45 | 1,59 | 13,0 |
| L 100.75.12  | 100 | 75  | 12 | 10 | 5,0 | 341 | 3,2 | 2,0 | 6,8  | 5,5 | 3,3 | 3,6 | 2,2 | 19,7 | 189  | 90,2 | 230  | 49,5 | 28,0 | 16,5 | 3,10 | 2,14 | 3,42 | 1,59 | 15,4 |
|              |     |     |    |    |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| L 120.80.8   | 120 | 80  | 8  | 11 | 5,5 | 391 | 3,8 | 1,8 | 8,2  | 6,0 | 3,2 | 4,2 | 2,1 | 15,5 | 226  | 80,8 | 260  | 46,6 | 27,6 | 13,2 | 3,82 | 2,28 | 4,10 | 1,73 | 12,2 |
| L 120.80.10  | 120 | 80  | 10 | 11 | 5,5 | 391 | 3,9 | 1,9 | 8,1  | 6,0 | 3,3 | 4,2 | 2,1 | 19,1 | 276  | 98,1 | 317  | 56,8 | 34,1 | 16,2 | 3,80 | 2,26 | 4,07 | 1,72 | 15,0 |
| L 120.80.12  | 120 | 80  | 12 | 11 | 5,5 | 391 | 4,0 | 2,0 | 8,1  | 6,0 | 3,4 | 4,2 | 2,2 | 22,7 | 323  | 114  | 371  | 66,6 | 40,4 | 19,1 | 3,77 | 2,24 | 4,04 | 1,71 | 17,8 |
|              |     |     |    |    |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| L 130.65.8   | 130 | 65  | 8  | 11 | 5,5 | 381 | 4,5 | 1,3 | 8,5  | 5,8 | 2,4 | 3,9 | 1,4 | 15,1 | 263  | 44,8 | 278  | 28,9 | 31,1 | 8,2  | 4,17 | 1,72 | 4,30 | 1,38 | 11,8 |
| L 130.65.10  | 130 | 65  | 10 | 11 | 5,5 | 381 | 4,6 | 1,4 | 8,4  | 5,8 | 2,5 | 3,8 | 1,5 | 18,6 | 320  | 54,2 | 339  | 35,2 | 38,4 | 10,7 | 4,15 | 1,71 | 4,27 | 1,37 | 14,6 |
| L 130.65.12  | 130 | 65  | 12 | 11 | 5,5 | 381 | 4,7 | 1,5 | 8,3  | 5,9 | 2,6 | 3,8 | 1,6 | 22,1 | 375  | 63,0 | 397  | 41,2 | 45,4 | 12,7 | 4,12 | 1,69 | 4,24 | 1,37 | 17,3 |
|              |     |     |    |    |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| L 150.75.9   | 150 | 75  | 9  | 11 | 5,5 | 441 | 5,2 | 1,5 | 9,8  | 6,6 | 2,9 | 4,5 | 1,7 | 19,6 | 456  | 78,3 | 484  | 50,4 | 46,9 | 13,2 | 4,83 | 2,00 | 4,97 | 1,60 | 15,4 |
| L 150.75.10  | 150 | 75  | 10 | 11 | 5,5 | 441 | 5,3 | 1,6 | 9,7  | 6,6 | 2,9 | 4,4 | 1,7 | 21,6 | 501  | 85,8 | 532  | 55,3 | 51,8 | 14,6 | 4,81 | 1,99 | 4,96 | 1,60 | 17,0 |
| L 150.75.12  | 150 | 75  | 12 | 11 | 5,5 | 441 | 5,4 | 1,6 | 9,7  | 6,6 | 2,9 | 4,4 | 1,8 | 25,7 | 589  | 99,9 | 624  | 64,9 | 61,4 | 17,2 | 4,79 | 1,97 | 4,93 | 1,59 | 20,2 |
| L 150.75.15  | 150 | 75  | 15 | 11 | 5,5 | 441 | 5,5 | 1,8 | 9,6  | 6,9 | 3,1 | 4,4 | 1,9 | 31,6 | 713  | 120  | 754  | 78,8 | 75,3 | 21,0 | 4,75 | 1,94 | 4,88 | 1,58 | 24,8 |
| L 150.90.10  | 150 | 90  | 10 | 12 | 6,0 | 470 | 5,0 | 2   | 10,1 | 7,1 | 3,6 | 5,0 | 2,2 | 23,2 | 533  | 146  | 591  | 88,2 | 53,3 | 21,0 | 4,80 | 2,51 | 5,05 | 1,95 | 18,2 |
| L 150.90.12  | 150 | 90  | 12 | 12 | 6,0 | 470 | 5,0 | 2,1 | 10,1 | 7,1 | 3,7 | 5,0 | 2,3 | 27,5 | 627  | 171  | 695  | 104  | 63,3 | 24,8 | 4,77 | 2,49 | 5,02 | 1,94 | 21,6 |
| L 150.90.15  | 150 | 90  | 15 | 12 | 6,0 | 470 | 5,2 | 2,2 | 9,9  | 7,2 | 3,8 | 4,9 | 2,4 | 33,9 | 761  | 205  | 841  | 126  | 77,7 | 30,4 | 4,74 | 2,46 | 4,98 | 1,93 | 26,6 |
|              |     |     |    |    |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| L 200.100.10 | 200 | 100 | 10 | 15 | 7,5 | 587 | 6,9 | 2   | 13,2 | 8,1 | 3,7 | 6,0 | 2,2 | 29,2 | 1220 | 210  | 1290 | 135  | 93,2 | 26,3 | 6,46 | 2,68 | 6,65 | 2,15 | 23,0 |
| L 200.100.12 | 200 | 100 | 12 | 15 | 7,5 | 587 | 7,0 | 2,1 | 13,1 | 8,1 | 3,8 | 6,0 | 2,2 | 34,8 | 1440 | 247  | 1530 | 159  | 111  | 31,3 | 6,43 | 2,67 | 6,63 | 2,14 | 27,3 |
| L 200.100.15 | 200 | 100 | 15 | 15 | 7,5 | 587 | 7,1 | 2,2 | 13   | 8,2 | 3,9 | 5,9 | 2,3 | 43   | 1760 | 299  | 1860 | 194  | 137  | 38,4 | 6,40 | 2,64 | 6,58 | 2,12 | 33,7 |

|              |     |     |    |    |     |     |     |     |      |      |     |     |     |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| L 200.150.10 | 200 | 150 | 10 | 15 | 7,5 | 687 | 5,9 | 3,5 | 14   | 10,8 | 5,9 | 7,3 | 4,5 | 34,2 | 1400 | 680  | 1710 | 364 | 99,6 | 59,2 | 6,38 | 4,46 | 7,07 | 3,26 | 26,9 |
| L 200.150.12 | 200 | 150 | 12 | 15 | 7,5 | 687 | 6,0 | 3,6 | 13,9 | 10,8 | 6,0 | 7,3 | 4,1 | 40,8 | 1650 | 803  | 2030 | 430 | 119  | 70,5 | 6,36 | 4,44 | 7,05 | 3,25 | 32,0 |
| L 200.150.15 | 200 | 150 | 15 | 15 | 7,5 | 687 | 6,2 | 3,7 | 13,9 | 10,8 | 6,2 | 7,3 | 3,9 | 50,5 | 2020 | 979  | 2480 | 526 | 147  | 86,9 | 6,33 | 4,4  | 7,00 | 3,23 | 39,6 |
| L 200.150.18 | 200 | 150 | 18 | 15 | 7,5 | 687 | 6,3 | 3,8 | 13,8 | 10,9 | 6,4 | 7,3 | 3,6 | 60   | 2380 | 1150 | 2900 | 618 | 174  | 103  | 6,29 | 4,37 | 9,96 | 3,21 | 47,1 |

**Tabla 2.A1.7.- Perfiles T**



A = Área de la de la sección

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

$W_x = I_x : (a-z)$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

$W_y = 2 I_y : b$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

$i_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y.

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección

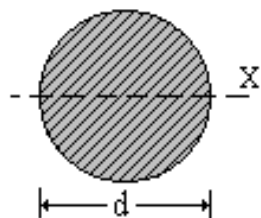
u = Perímetro de la sección.

p= Peso por metro.

|        | Dimensiones |           |                      |                      |         | Posición<br>del centro<br>z cm | Términos de la sección |                          |                          |             |                          |                          |             |                          | Agujeros |         | Peso<br>P<br>kp/m |
|--------|-------------|-----------|----------------------|----------------------|---------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|----------|---------|-------------------|
|        | a=b<br>mm   | e=r<br>mm | r <sub>1</sub><br>mm | r <sub>2</sub><br>mm | u<br>mm |                                | A<br>cm <sup>2</sup>   | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_y$<br>cm | $I_t$<br>cm <sup>4</sup> | w<br>mm  | a<br>mm |                   |
| T 40 5 | 40          | 5         | 2,5                  | 1,0                  | 153     | 1,12                           | 3,77                   | 5,28                     | 1,84                     | 1,18        | 2,58                     | 1,29                     | 0,83        | 0,350                    | 21       | 6,4     | 2,96              |
| T 50 6 | 50          | 6         | 3,0                  | 1,5                  | 191     | 1,39                           | 5,66                   | 12,1                     | 3,36                     | 1,46        | 6,06                     | 2,42                     | 1,03        | 0,757                    | 30       | 6,4     | 4,44              |
| T 60 7 | 60          | 7         | 3,5                  | 2,0                  | 229     | 1,66                           | 7,94                   | 23,8                     | 5,48                     | 1,73        | 12,20                    | 4,07                     | 1,24        | 1,450                    | 34       | 8,4     | 6,23              |

|          |     |    |     |     |     |      |      |      |      |      |       |       |      |       |    |      |       |
|----------|-----|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|----|------|-------|
| T 70 8   | 70  | 8  | 4,0 | 2,0 | 268 | 1,94 | 10,6 | 44,5 | 8,79 | 2,05 | 22,10 | 6,32  | 1,44 | 2,520 | 38 | 11,0 | 8,32  |
| T 80 9   | 80  | 9  | 4,5 | 2,0 | 307 | 2,22 | 13,6 | 73,7 | 12,8 | 2,33 | 37,00 | 9,25  | 1,65 | 4,110 | 45 | 11,0 | 10,70 |
| T 100 11 | 100 | 11 | 5,5 | 3,0 | 383 | 2,74 | 20,9 | 179  | 24,6 | 2,92 | 88,30 | 17,70 | 2,05 | 9,380 | 60 | 13,0 | 16,40 |

## Tabla 2.A1.8.- Redondos



A = Área de la de la sección

$I_x$  = Momento de inercia de la sección.

$W_x = 2 I_x : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección.

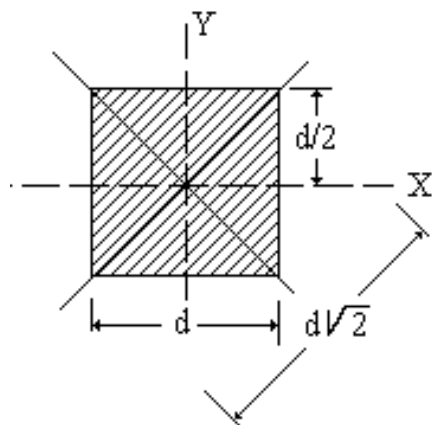
u = Perímetro de la sección.

p= Peso por metro.

| Producto | Dimensiones (mm) |         | Términos de la sección |                          |                          |             | Peso p<br>kp/m |
|----------|------------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|----------------|
|          | d<br>mm          | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup>   | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm |                |
| Ø 6      | 6                | 18,8    | 0,283                  | 0,006                    | 0,021                    | 0,150       | 0,222          |
| Ø 7      | 7                | 22,0    | 0,385                  | 0,012                    | 0,034                    | 0,175       | 0,302          |
| Ø 8      | 8                | 25,1    | 0,503                  | 0,020                    | 0,050                    | 0,200       | 0,395          |
| Ø 10     | 10               | 31,4    | 0,785                  | 0,049                    | 0,098                    | 0,250       | 0,617          |
| Ø 12     | 12               | 37,7    | 1,130                  | 0,102                    | 0,170                    | 0,300       | 0,888          |
| Ø 14     | 14               | 44,0    | 1,540                  | 0,189                    | 0,269                    | 0,350       | 1,210          |

|      |    |       |       |       |       |       |        |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Ø 16 | 16 | 50,3  | 2,010 | 0,322 | 0,402 | 0,400 | 1,580  |
| Ø 18 | 18 | 56,3  | 2,550 | 0,515 | 0,573 | 0,450 | 2,000  |
| Ø 20 | 20 | 62,8  | 3,140 | 0,785 | 0,785 | 0,500 | 2,470  |
| Ø 22 | 22 | 69,1  | 3,800 | 1,15  | 1,05  | 0,550 | 2,980  |
| Ø 25 | 25 | 78,5  | 4,910 | 1,92  | 1,53  | 0,625 | 3,850  |
| Ø 28 | 28 | 88,0  | 6,160 | 3,02  | 2,16  | 0,700 | 4,830  |
| Ø 30 | 30 | 94,2  | 7,070 | 3,98  | 2,65  | 0,750 | 5,550  |
| Ø 32 | 32 | 101,0 | 8,040 | 5,15  | 3,22  | 0,800 | 6,310  |
| Ø 36 | 36 | 113,0 | 10,20 | 8,24  | 4,58  | 0,900 | 7,990  |
| Ø 40 | 40 | 126,0 | 12,60 | 12,60 | 6,28  | 1,000 | 9,860  |
| Ø 45 | 45 | 141,0 | 15,90 | 20,20 | 8,95  | 1,120 | 12,500 |
| Ø 50 | 50 | 157,0 | 19,60 | 30,70 | 12,30 | 1,250 | 15,400 |

**Tabla 2.A1.9.- Cuadrados**



A = Area de la de la sección

$I_x = I_z$  Momento de inercia de la sección.

$W_x = 2 I_x : d$  : Módulo resistente de la sección, respecto a X.

$W_z = 2^{1/2} I_x : d$  : Módulo resistente de la sección, respecto a Z.

$i_x$  = Radio de giro de la sección.

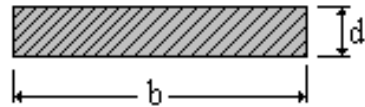
u = Perímetro de la sección.

p= Peso por metro.

| Perfil | Dimensiones (mm) |         | Términos de la sección |                                |                          |                          |             | Peso<br>p<br>kp/m |
|--------|------------------|---------|------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------------|
|        | d<br>mm          | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup>   | $I_x = I_z$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x$<br>cm <sup>3</sup> | $W_z$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm |                   |
| ≠ 6    | 6                | 24      | 0,36                   | 0,0108                         | 0,0360                   | 0,0255                   | 0,175       | 0,283             |
| ≠ 7    | 7                | 28      | 0,49                   | 0,0200                         | 0,0572                   | 0,0404                   | 0,202       | 0,385             |
| ≠ 8    | 8                | 32      | 0,64                   | 0,0341                         | 0,0853                   | 0,0603                   | 0,230       | 0,502             |
| ≠ 10   | 10               | 40      | 1,00                   | 0,0833                         | 0,167                    | 0,1180                   | 0,288       | 0,785             |
| ≠ 12   | 12               | 48      | 1,44                   | 0,1730                         | 0,288                    | 0,2040                   | 0,347       | 1,130             |
| ≠ 14   | 14               | 56      | 1,96                   | 0,3200                         | 0,457                    | 0,3230                   | 0,404       | 1,540             |
| ≠ 16   | 16               | 64      | 2,56                   | 0,5460                         | 0,683                    | 0,4830                   | 0,463       | 2,010             |
| ≠ 18   | 18               | 72      | 3,24                   | 0,8750                         | 0,972                    | 0,6870                   | 0,520       | 2,540             |
| ≠ 20   | 20               | 80      | 4,00                   | 1,3300                         | 1,3300                   | 0,9430                   | 0,577       | 3,140             |
| ≠ 22   | 22               | 88      | 4,84                   | 1,9500                         | 1,7700                   | 1,2500                   | 0,635       | 3,800             |

|      |    |     |       |        |        |        |       |       |
|------|----|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| ≠ 25 | 25 | 100 | 6,25  | 3,2600 | 2,6000 | 1,8400 | 0,722 | 4,910 |
| ≠ 28 | 28 | 112 | 7,84  | 5,1200 | 3,66   | 2,59   | 0,808 | 6,150 |
| ≠ 30 | 30 | 120 | 9,00  | 6,7500 | 4,50   | 3,18   | 0,866 | 7,070 |
| ≠ 32 | 32 | 128 | 10,20 | 8,7400 | 5,46   | 3,86   | 0,926 | 8,04  |
| ≠ 36 | 36 | 144 | 13,00 | 14,000 | 7,78   | 5,50   | 1,040 | 10,20 |
| ≠ 40 | 40 | 160 | 16,00 | 21,300 | 10,60  | 7,54   | 1,150 | 12,60 |
| ≠ 45 | 45 | 180 | 20,30 | 34,200 | 15,10  | 10,70  | 1,300 | 15,90 |
| ≠ 50 | 50 | 200 | 25,00 | 52,100 | 20,90  | 14,70  | 1,440 | 19,60 |

**Tabla 2.A1.10.- Rectangulares**



A = Área de la sección  
p = Peso por metro

| <b>b×d</b><br>mm <sup>2</sup> | <b>A</b><br>cm <sup>2</sup> | <b>p</b><br>Kp/m | <b>b×d</b><br>mm <sup>2</sup> | <b>A</b><br>cm <sup>2</sup> | <b>p</b><br>Kp/m | <b>b×d</b><br>mm | <b>A</b><br>cm <sup>2</sup> | <b>p</b><br>Kp/m | <b>b×d</b><br>mm <sup>2</sup> | <b>A</b><br>cm <sup>2</sup> | <b>p</b><br>Kp/m | <b>b×d</b><br>mm <sup>2</sup> | <b>A</b><br>cm <sup>2</sup> | <b>p</b><br>kp/m |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 20×40                         | 0.80                        | 0.628            | 45×40                         | 1.80                        | 1.41             | 70×4             | 2.8                         | 2.20             | 100×40                        | 4,0                         | 3.14             | 160×8                         | 12.8                        | 10               |
| 20×50                         | 1.00                        | 0.785            | 45×50                         | 2.25                        | 1.77             | 70×5             | 3.5                         | 2.75             | 100×50                        | 5,0                         | 3.93             | 160×10                        | 16.0                        | 12.6             |
| 20×60                         | 1.20                        | 0.942            | 45×60                         | 2.70                        | 2.12             | 70×6             | 4.2                         | 3.30             | 100×60                        | 6,0                         | 4.71             | 160×12                        | 19.2                        | 15.1             |

|       |      |       |       |       |      |       |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| 20×80 | 1.60 | 1.260 | 45×80 | 3.60  | 2.83 | 70×8  | 5.6  | 4.40 | 100×80  | 8,0  | 6.23 | 160×15  | 24.0 | 18.8 |
| 20×10 | 2.00 | 1.570 | 45×10 | 4.50  | 3.53 | 70×10 | 7.0  | 5.50 | 100×10  | 10.0 | 7.85 | 160×20  | 32.0 | 25.1 |
| 20×12 | 2.40 | 1.880 | 45×12 | 5.40  | 4.24 | 70×12 | 8.4  | 6.59 | 100×12  | 12.0 | 9.42 | 160×25  | 40.0 | 31.4 |
| 20×15 | 3.00 | 2.360 | 45×15 | 6.75  | 5.30 | 70×15 | 10.5 | 8.24 | 100×15  | 15.0 | 11.8 | 160×30  | 48.0 | 37.7 |
| 25×40 | 1.00 | 0.785 | 45×20 | 9.00  | 7.07 | 70×20 | 14.0 | 11.0 | 100×20  | 20.0 | 15.7 | 160×35  | 56.0 | 44.0 |
| 25×50 | 1.25 | 0.981 | 45×25 | 11.20 | 8.83 | 70×25 | 17.5 | 13.7 | 100×25  | 25.0 | 19.6 | 160×40  | 64.0 | 50.2 |
| 25×60 | 1.50 | 1.180 | 45×30 | 13.50 | 10.6 | 70×30 | 21.0 | 16.5 | 100×30  | 30.0 | 23.6 | 180×80  | 14.4 | 11.3 |
| 25×80 | 2.00 | 1.570 | 45×35 | 15.80 | 12.4 | 70×35 | 24.5 | 19.2 | 100×35  | 35.0 | 27.5 | 180×10  | 18.0 | 14.1 |
| 25×10 | 2.50 | 1.960 | 45×40 | 18.00 | 14.1 | 70×40 | 28.0 | 22.0 | 100×40  | 40.0 | 31.4 | 180×12  | 21.6 | 17.0 |
| 25×12 | 3.00 | 2.360 | 50×40 | 2.00  | 1.57 | 75×40 | 3.00 | 2.36 | 110×40  | 4.4  | 3.45 | 180×15  | 27.0 | 21.2 |
| 25×15 | 3.75 | 2.940 | 50×50 | 2.50  | 1.96 | 75×50 | 3.75 | 2.94 | 110×50  | 5.5  | 4.32 | 180×20  | 36.0 | 28.3 |
| 25×20 | 5.00 | 3.930 | 50×60 | 3.00  | 2.36 | 75×60 | 4.50 | 3.53 | 110×60  | 6.8  | 5.18 | 180×25  | 45.0 | 35.3 |
| 30×40 | 1.20 | 0.942 | 50×80 | 4.00  | 3.14 | 75×80 | 6.00 | 4.71 | 110×80  | 8.8  | 6.91 | 180×30  | 54.0 | 42.4 |
| 30×50 | 1.50 | 1.180 | 50×10 | 5.00  | 3.93 | 75×10 | 7.50 | 5.89 | 110×10  | 11.0 | 8.64 | 180×35  | 63.0 | 49.5 |
| 30×60 | 1.80 | 1.410 | 50×12 | 6.00  | 4.71 | 75×12 | 9.00 | 7.07 | 110×12  | 13.2 | 10.4 | 180×40  | 72.0 | 56.5 |
| 30×80 | 2.40 | 1.880 | 50×15 | 7.50  | 5.89 | 75×15 | 11.2 | 8.83 | 110× 15 | 16.5 | 13.0 | 200× 80 | 16.0 | 12.6 |
| 30×10 | 3.00 | 2.360 | 50×20 | 10.00 | 7.85 | 75×20 | 15.0 | 11.8 | 110×20  | 22.0 | 17.3 | 200×10  | 20.0 | 15.7 |
| 30×12 | 3.60 | 2.830 | 50×25 | 12.50 | 9.81 | 75×25 | 18.8 | 14.7 | 110×25  | 27.5 | 21.6 | 200×12  | 24.0 | 18.8 |



|       |       |       |       |       |      |       |      |      |        |      |      |        |       |      |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|--------|------|------|--------|-------|------|
| 30×15 | 4.50  | 3.530 | 50×30 | 15.00 | 11.8 | 75×30 | 22.5 | 17.7 | 110×30 | 33.0 | 25.9 | 200×15 | 30.0  | 23.6 |
| 30×20 | 6.00  | 4.710 | 50×35 | 17.50 | 13.7 | 75×35 | 26.2 | 20.6 | 110×35 | 38.5 | 30.2 | 200×20 | 40.0  | 31.4 |
| 30×25 | 7.50  | 5.890 | 50×40 | 20.00 | 15.7 | 75×40 | 30.0 | 23.6 | 110×40 | 44.0 | 34.5 | 200×25 | 50.0  | 39.2 |
| 35×40 | 1.40  | 1.100 | 55×40 | 2.20  | 1.73 | 80×4  | 3.2  | 2.51 | 120×40 | 4.8  | 3.77 | 200×30 | 60.0  | 47.1 |
| 35×50 | 1.75  | 1.370 | 55×50 | 2.75  | 2.16 | 80×5  | 4.0  | 3.14 | 120×50 | 6.0  | 4.71 | 200×35 | 70.0  | 55.0 |
| 35×60 | 2.10  | 1.650 | 55×60 | 3.30  | 2.59 | 80×6  | 4.8  | 3.77 | 120×60 | 7.2  | 5.65 | 200×40 | 80.0  | 62.8 |
| 35×80 | 2.80  | 2.200 | 55×80 | 4.40  | 3.45 | 80×8  | 6.4  | 5.02 | 120×8  | 9.6  | 7.54 | 250×80 | 20.0  | 15.7 |
| 35×10 | 3.50  | 2.750 | 55×10 | 5.50  | 4.32 | 80×10 | 8.0  | 6.28 | 120×10 | 12.0 | 9.42 | 250×10 | 25.0  | 19.6 |
| 35×12 | 4.20  | 3.300 | 55×12 | 6.60  | 5.18 | 80×12 | 9.6  | 7.54 | 120×12 | 14.4 | 11.3 | 250×12 | 30.0  | 23.6 |
| 35×15 | 5.25  | 4.120 | 55×15 | 8.25  | 6.48 | 80×15 | 12.0 | 9.42 | 120×15 | 18.8 | 14.1 | 250×15 | 37.5  | 29.4 |
| 35×20 | 7.00  | 5.500 | 55×20 | 11.0  | 8.64 | 80×20 | 16.0 | 12.6 | 120×20 | 24.0 | 18.8 | 250×20 | 50.0  | 39.2 |
| 35×25 | 8.75  | 6.870 | 55×25 | 13.8  | 10.8 | 80×25 | 20.0 | 15.7 | 120×25 | 30.0 | 23.6 | 250×25 | 62.5  | 49.1 |
| 35×30 | 10.50 | 8.240 | 55×30 | 16.5  | 13.0 | 80×30 | 24.0 | 18.8 | 120×30 | 36.0 | 28.5 | 250×30 | 75.0  | 58.9 |
| 40×40 | 1.60  | 1.260 | 55×35 | 19.3  | 15.1 | 80×35 | 28.0 | 22.0 | 120×35 | 42.0 | 33.0 | 250×35 | 87.5  | 68.7 |
| 40×50 | 2.00  | 1.570 | 55×40 | 22.0  | 17.3 | 80×40 | 32.0 | 25.1 | 120×40 | 48.0 | 37.7 | 250×40 | 100.0 | 78.5 |
| 40×60 | 2.40  | 1.880 | 60×40 | 2.40  | 1.88 | 90×40 | 3.6  | 2.85 | 140×8  | 11.2 | 8.79 | 300×80 | 24.0  | 18.8 |
| 40×80 | 3.20  | 2.510 | 60×50 | 3.00  | 2.36 | 90×50 | 4.5  | 3.53 | 140×10 | 14.0 | 11.0 | 300×10 | 30.0  | 23.6 |
| 40×10 | 4.00  | 3.140 | 60×60 | 3.60  | 2.83 | 90×60 | 5.4  | 4.24 | 140×12 | 16.8 | 13.2 | 300×12 | 36.0  | 28.3 |

|       |      |       |       |      |       |       |      |      |        |      |      |        |       |      |
|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|--------|------|------|--------|-------|------|
| 40×12 | 4.80 | 3.770 | 60×80 | 4.80 | 3.77  | 90×80 | 7.2  | 5.85 | 140×15 | 21.0 | 16.5 | 300×15 | 45.0  | 35.3 |
| 40×15 | 6.00 | 4.710 | 60×10 | 6.00 | 4.71  | 90×10 | 9.0  | 7.07 | 140×20 | 28.0 | 22.0 | 300×20 | 60.0  | 47.1 |
| 40×20 | 8.00 | 6.280 | 60×12 | 7.20 | 5.65  | 90×12 | 10.8 | 8.48 | 140×25 | 35.0 | 27.5 | 300×25 | 75.0  | 58.9 |
| 40×25 | 10   | 7.850 | 60×15 | 9.00 | 7.07  | 90×15 | 13.5 | 10.6 | 140×30 | 42.0 | 33.0 | 300×30 | 90.0  | 70.6 |
| 40×30 | 12   | 9.420 | 60×20 | 12.0 | 9.42  | 90×20 | 18.0 | 12.1 | 140×35 | 49.0 | 38.5 | 300×35 | 105.0 | 82.4 |
| 40×35 | 14   | 11,00 | 60×25 | 15.0 | 11.80 | 90×25 | 22.5 | 17.7 | 140×40 | 56.0 | 44.0 | 300×40 | 120.0 | 94.2 |
| -     | -    | -     | 60×30 | 18.0 | 14.10 | 90×30 | 27.0 | 21.2 | 150×80 | 12.0 | 9.42 | 400×80 | 32.0  | 25.1 |
| -     | -    | -     | 60×35 | 21.0 | 16.50 | 90×35 | 31.5 | 24.7 | 150×10 | 15.0 | 11.8 | 400×10 | 40.0  | 31.4 |
| -     | -    | -     | 60×40 | 24.0 | 18.80 | 90×40 | 36.0 | 28.3 | 150×12 | 18.0 | 14.1 | 400×12 | 48.0  | 37.7 |
| -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -    | 150×15 | 22.5 | 17.7 | 400×15 | 60.0  | 47.1 |
| -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -    | 150×20 | 30.0 | 23.6 | 400×20 | 80.0  | 62.8 |
| -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -    | 150×25 | 37.5 | 29.4 | 400×25 | 100   | 78.5 |
| -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -    | 150×30 | 45   | 35.3 | 400×30 | 120   | 94.2 |
| -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -    | 150×35 | 52.5 | 41.2 | 400×35 | 140   | 110  |
| -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -    | 150×40 | 60   | 17.1 | 400×40 | 160   | 126  |

## ANEJO 2.A3 Perfiles y placas conformados

**Perfiles conformados utilizados:** Con carácter indicativo se describen los perfiles y placas conformados de acero que se fabrican usualmente para su empleo en estructuras de edificación. En la columna de suministro de tablas, las indicaciones P existencia permanente, o C consulta previa corresponden a las condiciones normales de mercado.

**Perfil conformado L:** Su sección tiene forma de ángulo recto con alas de igual longitud y vértice redondeado. Las dimensiones y los términos de sección se detallan en la tabla 2.A3.1.

**Perfil conformado LD:** Su sección tiene forma de ángulo recto con las alas de distinta longitud y vértice redondeado. Las dimensiones y los términos de la sección se detallan en la tabla 2.A3.2.

**Perfil conformado U:** Su sección tiene forma de U con alas de igual longitud y vértices redondeados. Las dimensiones y los términos de la sección se detallan en la tabla 2.A3.3.

**Perfil conformado C:** Su sección es un rectángulo con uno de sus lados más largos parcialmente abierto y vértices redondeados. Las dimensiones y los términos de la sección se detallan en la tabla 2.A3.4.

**Perfil conformado  $\Omega$  (omega):** Su sección tiene forma de U con alas hacia fuera y vértices redondeados, con cierta semejanza a la letra griega omega mayúscula. Las dimensiones y los términos de la sección se detallan en la tabla 2.A3.5.

**Perfil conformado Z:** Su sección consta de un alma y en sus extremos alas perpendiculares en sentidos opuestos, con labios rigidizadores en sus lados y vértices redondeados. Las dimensiones y los términos de la sección se detallan en la tabla 2.A3.6.

**Placa ondulada:** Su sección está constituida por ondas de perfil curvilíneo. Las dimensiones más usuales y sus términos de sección se detallan en la tabla 2.A3.7.

**Placa grecada:** Su sección está constituida por ondas de perfil trapecial con bordes redondeados. Las dimensiones más usuales y sus términos se detallan en la tabla 2.A3.8.

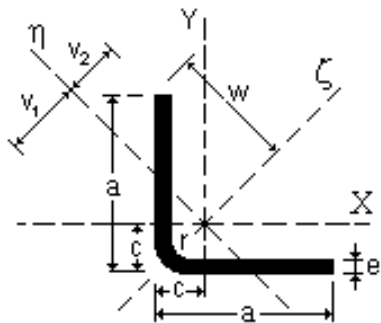
**Placa nervada:** Su sección está formada por trapecios desiguales con bordes redondeados y a veces con acanaladuras en los lados largos. No constituyen series por la variedad de formas y dimensiones con que se fabrican, que figuran junto con sus términos de sección en los catálogos de los fabricantes.

**Placa agrafada:** Es una placa nervada, uno de cuyos bordes tiene una grafa, pliegue que se introduce en el borde liso de la placa contigua y se

aplasta para mejorar la estanquidad. Los datos de las placas figuran en los catálogos de los fabricantes.

**Panel:** Es un elemento constituido por chapas conformadas de acero, enlazadas en fábrica o en obra, con material aislante intermedio. Los datos de los paneles figuran en los catálogos de los fabricantes.

Tabla 2.A3.1.- Perfiles conformados L



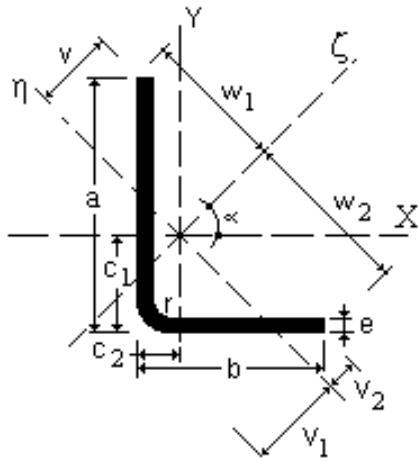
A = Área de la de la sección.  
 $I_x = I_y$  Momento de inercia de la sección, respecto a x ó y.  
 $I_{xy}$  = Momento centrífugo de la sección, respecto a x , y.  
 $I_\zeta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\zeta$ .  
 $I_\eta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\eta$ .  
 $W_x = W_y$  Módulo resistente de la sección, respecto a x ó y.  
 $W_\eta$  = Módulo resistente de la sección, respecto a  $\eta$ .  
 $W_\zeta$  = Módulo resistente de la sección, respecto a  $\zeta$ .

$i_x = i_y$ . Radio de giro respecto a x ó y.  
 $i_\zeta$  = Radio de giro respecto a  $\zeta$ .  
 $i_\eta$  = Radio de giro respecto a  $\eta$ .  
u = Perímetro.

| Perfil  | Dimensiones |         |         |         | Posición de los ejes |          |          |         | Términos de sección  |                                   |                                    |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      |                      | Peso<br>p<br>kg/m |
|---------|-------------|---------|---------|---------|----------------------|----------|----------|---------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|         | a<br>mm     | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm | c<br>cm              | v1<br>cm | v2<br>cm | w<br>cm | A<br>cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>xy</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>ζ</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>η</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>ζ</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>η</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | i <sub>ζ</sub><br>cm | i <sub>η</sub><br>cm |                   |
| LF 40.2 | 40          | 2       | 2.5     | 157     | 1.10                 | 1.36     | 1.42     | 2.83    | 1.53                 | 2.44                              | 1.51                               | 3.96                              | 0.928                             | 0.841                             | 1.40                              | 0.653                             | 1.26                 | 1.61                 | 0.779                | 1.20              |
| LF 40.3 | 40          | 3       | 3.0     | 156     | 1.14                 | 1.36     | 1.43     | 2.83    | 2.25                 | 3.51                              | 2.20                               | 5.71                              | 1.320                             | 1.230                             | 2.02                              | 0.920                             | 1.25                 | 1.59                 | 0.765                | 1.77              |

|          |     |   |      |     |      |      |      |      |       |        |        |        |        |        |       |        |      |      |       |       |
|----------|-----|---|------|-----|------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|
| LF 40.4  | 40  | 4 | 6.0  | 153 | 1.20 | 1.28 | 1.41 | 2.83 | 2.90  | 4.43   | 2.89   | 7.32   | 1.550  | 1.580  | 2.59  | 1.090  | 1.24 | 1.59 | 0.730 | 2.28  |
| LF 50.2  | 50  | 2 | 3.0  | 197 | 1.35 | 1.70 | 1.77 | 3.54 | 1.93  | 4.85   | 3.00   | 7.85   | 1.850  | 1.330  | 2.22  | 1.050  | 1.59 | 2.02 | 0.980 | 1.51  |
| LF 50.3  | 50  | 3 | 6.0  | 194 | 1.41 | 1.62 | 1.76 | 3.54 | 2.81  | 6.97   | 4.44   | 11.40  | 2.520  | 1.940  | 2.23  | 1.440  | 1.57 | 2.01 | 0.947 | 2.21  |
| LF 50.4  | 50  | 4 | 8.0  | 191 | 1.46 | 1.57 | 1.75 | 3.54 | 3.67  | 8.92   | 5.82   | 14.70  | 3.090  | 2.520  | 4.17  | 1.770  | 1.56 | 2.01 | 0.919 | 2.88  |
| LF 60.3  | 60  | 3 | 6.0  | 234 | 1.66 | 1.97 | 2.11 | 4.24 | 3.41  | 12.30  | 7.74   | 20.00  | 4.540  | 2.830  | 4.72  | 2.150  | 1.90 | 2.42 | 1.150 | 2.68  |
| LF 60.4  | 60  | 4 | 8.0  | 231 | 1.71 | 1.92 | 2.10 | 4.24 | 4.47  | 15.80  | 10.20  | 26.00  | 5.660  | 3.690  | 6.13  | 2.690  | 1.88 | 2.41 | 1.130 | 3.51  |
| LF 60.5  | 60  | 5 | 10.0 | 229 | 1.77 | 1.88 | 2.10 | 4.24 | 5.48  | 19.10  | 12.50  | 31.70  | 6.590  | 4.520  | 7.47  | 3.140  | 1.87 | 2.40 | 1.100 | 4.30  |
| LF 80.4  | 80  | 4 | 8.0  | 311 | 2.21 | 2.63 | 2.81 | 5.66 | 6.07  | 38.80  | 24.50  | 63.30  | 14.300 | 6.700  | 11.20 | 5.090  | 2.53 | 3.23 | 1.540 | 4.76  |
| LF 80.5  | 80  | 5 | 10.0 | 309 | 2.26 | 2.58 | 2.81 | 5.66 | 7.48  | 47.30  | 30.30  | 77.60  | 17.100 | 8.250  | 13.70 | 6.070  | 2.51 | 3.22 | 1.510 | 5.87  |
| LF 80.6  | 80  | 6 | 12.0 | 307 | 2.32 | 2.53 | 2.80 | 5.66 | 8.85  | 55.40  | 35.90  | 91.30  | 19.400 | 9.750  | 16.10 | 6.940  | 2.50 | 3.21 | 1.480 | 6.95  |
| LF 100.5 | 100 | 5 | 6.0  | 391 | 2.75 | 3.35 | 3.54 | 7.07 | 9.52  | 95.10  | 59.40  | 155.00 | 35.700 | 13.100 | 21.90 | 10.100 | 3.16 | 4.03 | 1.940 | 7.48  |
| LF 100.6 | 100 | 6 | 10.0 | 389 | 2.80 | 3.30 | 3.53 | 7.07 | 11.30 | 112.00 | 70.70  | 183.00 | 41.200 | 15.600 | 25.80 | 11.700 | 3.15 | 4.02 | 1.910 | 8.87  |
| LF 100.7 | 100 | 7 | 12.0 | 387 | 2.86 | 3.25 | 3.53 | 7.07 | 13.00 | 128.00 | 81.80  | 210.00 | 46.200 | 17.900 | 29.70 | 13.100 | 3.13 | 4.01 | 1.880 | 10.20 |
| LF 120.5 | 120 | 5 | 8.0  | 471 | 3.25 | 4.05 | 4.25 | 8.49 | 11.50 | 167.00 | 104.00 | 270.00 | 63.400 | 19.100 | 31.90 | 14.900 | 3.61 | 4.84 | 2.350 | 9.05  |
| LF 120.6 | 120 | 6 | 10.0 | 469 | 3.30 | 4.01 | 4.24 | 8.49 | 13.70 | 197.00 | 123.00 | 320.00 | 73.800 | 22.700 | 37.80 | 17.400 | 3.79 | 4.84 | 2.320 | 10.80 |
| LF 120.7 | 120 | 7 | 12.0 | 467 | 3.36 | 3.96 | 4.24 | 8.49 | 15.80 | 226.00 | 143.00 | 369.00 | 83.400 | 26.200 | 43.50 | 19.700 | 3.78 | 4.83 | 2.290 | 12.40 |

**Tabla 2.A3.2.- Perfiles conformados LD**



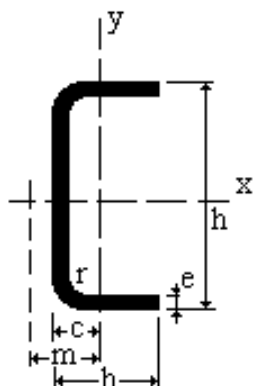
$A$  = Área de la de la sección.  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $x$ .  
 $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $y$ .  
 $I_{xy}$  = Momento de centrífugo de la sección, respecto a  $x$  ,  $y$ .  
 $I_\zeta$  = Momento de inercia de la sección , respecto a  $\zeta$ .  
 $I_\eta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\eta$ .  
 $W_x$  = Módulo resistente de la sección, respecto a  $x$ .  
 $W_y$  = Módulo resistente de la sección, respecto a  $y$ .  
 $W_\eta$  = Módulo resistente de la sección, respecto a  $\eta$ .  
 $W_\zeta$  = Módulo resistente de la sección, respecto a  $\zeta$ .

$i_x$  = Radio de giro respecto a  $x$ .  
 $i_y$  = Radio de giro respecto a  $y$ .  
 $i_\zeta$  = Radio de giro respecto a  $\zeta$ .  
 $i_\eta$  = Radio de giro respecto a  $\eta$ .  
 $u$  = Perímetro.

| Perfil        | Dimensiones |         |         |         |         | Posición de los ejes |          |          |          |          |          |          |       | Términos de la selección |                       |                       |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                      |                      |                      | Peso<br>P<br>kg/m |
|---------------|-------------|---------|---------|---------|---------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|               | a<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm | c1<br>cm             | c2<br>cm | v1<br>cm | v2<br>cm | v3<br>cm | w1<br>cm | w2<br>cm | tgα   | A<br>cm²                 | I <sub>X</sub><br>cm⁴ | I <sub>y</sub><br>cm⁴ | I <sub>xy</sub><br>cm⁴ | I <sub>ζ</sub><br>cm⁴ | I <sub>η</sub><br>cm³ | W <sub>x</sub><br>cm³ | W <sub>y</sub><br>cm³ | W <sub>ζ</sub><br>cm³ | W <sub>η</sub><br>cm³ | i <sub>x</sub><br>cm | i <sub>y</sub><br>cm | i <sub>ζ</sub><br>cm | i <sub>η</sub><br>cm |                   |
| LF<br>40.20.2 | 40          | 20      | 2       | 2.5     | 117     | 1.45                 | 0.421    | 0.697    | 1.18     | 0.491    | 2.57     | 1.83     | 0.287 | 1.13                     | 1.90                  | 0.344                 | 0.487                  | 2.05                  | 0.204                 | 0.746                 | 0.218                 | 0.796                 | 0.174                 | 1.30                 | 0.552                | 1.35                 | 0.425                | 0.887             |
| LF<br>40.20.3 | 40          | 20      | 3       | 3.0     | 116     | 1.50                 | 0.462    | 0.714    | 1.15     | 0.531    | 2.53     | 1.86     | 0.288 | 1.65                     | 2.71                  | 0.480                 | 0.693                  | 2.91                  | 0.282                 | 1.080                 | 0.312                 | 1.150                 | 0.246                 | 1.28                 | 0.539                | 1.33                 | 0.413                | 1.300             |
| LF<br>50.25.2 | 50          | 25      | 2       | 2.5     | 147     | 1.78                 | 0.504    | 0.867    | 1.49     | 0.592    | 3.23     | 2.26     | 0.286 | 1.43                     | 3.81                  | 0.692                 | 0.969                  | 4.09                  | 0.415                 | 1.180                 | 0.347                 | 1.260                 | 0.279                 | 1.63                 | 0.696                | 1.69                 | 0.559                | 1.120             |
| LF<br>50.25.3 | 50          | 25      | 3       | 3.0     | 146     | 1.83                 | 0.545    | 0.884    | 1.45     | 0.632    | 3.20     | 2.30     | 0.285 | 2.10                     | 5.48                  | 0.980                 | 1.390                  | 5.88                  | 0.583                 | 1.730                 | 0.501                 | 1.840                 | 0.399                 | 1.61                 | 0.683                | 1.67                 | 0.527                | 1.650             |
| LF<br>60.30.3 | 60          | 30      | 3       | 3.0     | 176     | 2.16                 | 0.629    | 1.050    | 1.77     | 0.733    | 3.86     | 2.73     | 0.284 | 2.55                     | 9.69                  | 1.740                 | 2.460                  | 10.40                 | 1.050                 | 2.530                 | 0.735                 | 2.690                 | 0.590                 | 1.35                 | 0.827                | 2.02                 | 0.640                | 2.000             |
| LF<br>60.30.4 | 60          | 30      | 4       | 6.0     | 173     | 2.24                 | 0.679    | 1.040    | 1.71     | 0.786    | 3.80     | 2.80     | 0.292 | 3.30                     | 12.30                 | 2.200                 | 3.220                  | 13.20                 | 1.260                 | 3.260                 | 0.948                 | 3.480                 | 0.736                 | 1.93                 | 0.816                | 2.00                 | 0.617                | 2.590             |

|                |     |    |   |      |     |      |       |       |      |       |      |      |       |       |        |        |        |        |        |        |       |        |       |      |       |      |       |       |
|----------------|-----|----|---|------|-----|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| LF<br>80.40.4  | 80  | 40 | 4 | 6.0  | 233 | 2.91 | 0.845 | 1.380 | 2.34 | 0.988 | 5.13 | 3.67 | 0.289 | 4.50  | 30.30  | 5.490  | 7.840  | 32.60  | 3.220  | 5.950  | 1.740 | 6.360  | 1.380 | 2.60 | 1.100 | 2.69 | 0.848 | 3.530 |
| LF<br>80.40.5  | 80  | 40 | 5 | 8.0  | 231 | 2.97 | 0.893 | 1.380 | 2.20 | 1.040 | 5.07 | 3.73 | 0.293 | 5.52  | 36.60  | 6.590  | 9.620  | 39.40  | 3.770  | 7.290  | 2.120 | 7.770  | 1.650 | 2.57 | 1.090 | 2.67 | 0.828 | 4.340 |
| LF<br>100.50.5 | 100 | 50 | 5 | 8.0  | 291 | 3.64 | 1.060 | 1.720 | 2.91 | 1.240 | 6.40 | 4.59 | 0.290 | 7.02  | 73.90  | 13.400 | 19.200 | 79.50  | 7.810  | 11.600 | 3.390 | 12.400 | 2.680 | 3.24 | 1.380 | 3.36 | 1.060 | 5.510 |
| LF<br>100.50.6 | 100 | 50 | 6 | 10.0 | 289 | 3.71 | 1.110 | 1.720 | 2.86 | 1.290 | 6.35 | 4.65 | 0.293 | 8.30  | 86.20  | 15.600 | 22.700 | 92.90  | 8.900  | 13.700 | 3.990 | 14.600 | 3.110 | 3.22 | 1.370 | 3.35 | 1.040 | 6.520 |
| LF<br>120.60.5 | 120 | 60 | 5 | 8.0  | 351 | 4.30 | 1.220 | 2.060 | 3.53 | 1.440 | 7.73 | 5.46 | 0.299 | 8.52  | 130.00 | 23.700 | 33.600 | 140.00 | 14.000 | 16.900 | 4.970 | 18.100 | 3.970 | 3.91 | 1.670 | 4.05 | 1.280 | 6.690 |
| LF<br>120.60.6 | 120 | 60 | 6 | 10.0 | 349 | 4.37 | 1.270 | 2.060 | 3.49 | 1.490 | 7.68 | 5.52 | 0.291 | 10.10 | 153.00 | 27.700 | 39.800 | 165.00 | 16.100 | 20.000 | 5.860 | 21.400 | 4.630 | 3.89 | 1.660 | 4.04 | 1.260 | 7.930 |

**Tabla 2.A3.3.- Perfiles conformados U**



$A$  = Área de la de la sección.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $x$ .

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $y$ .

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

$I_\alpha$  = Módulo de torsión de la sección.

$W_x$  = Módulo resistente respecto a  $x$ .

$W_y$  = Módulo resistente respecto a  $y$ .

$i_x$  = Radio de giro respecto a  $x$ .

$i_y$  = Radio de giro respecto a  $y$ .

$i_\zeta$  = Radio de giro respecto a  $\zeta$ .

$i_\eta$  = Radio de giro respecto a  $\eta$ .

$c$  = Posición del eje  $y$ .

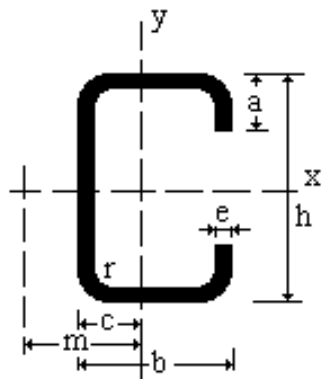
$u$  = Perímetro.

$m$  = Distancia al centro de esfuerzos cortantes.



| Perfil   | Dimensiones |         |         |         |         | Términos de sección |         |                      |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      | Peso<br>p |
|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|---------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-----------|
|          | h<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm | c<br>cm             | m<br>cm | A<br>cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>a</sub><br>cm <sup>6</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | i <sub>y</sub><br>cm | kp/m      |
| UF 60.3  | 60          | 30      | 3       | 3       | 226     | 0.890               | 1.85    | 3.30                 | 17.5                              | 2.85                              | 0.0991                            | 14.8                              | 5.85                              | 1.35                              | 2.31                 | 0.93                 | 2.59      |
| UF 60.4  | 60          | 30      | 4       | 6       | 218     | 0.954               | 1.85    | 4.20                 | 21.1                              | 3.51                              | 0.2240                            | 15.8                              | 7.03                              | 1.72                              | 2.24                 | 0.91                 | 3.30      |
| UF 80.3  | 80          | 40      | 3       | 3       | 306     | 1.140               | 2.48    | 4.50                 | 43.9                              | 7.03                              | 0.1350                            | 69.0                              | 11.00                             | 2.46                              | 3.12                 | 1.25                 | 3.53      |
| UF 80.4  | 80          | 40      | 4       | 6       | 298     | 1.200               | 2.49    | 5.80                 | 54.3                              | 8.88                              | 0.3100                            | 79.3                              | 13.60                             | 3.17                              | 3.06                 | 1.24                 | 4.55      |
| UF 80.5  | 80          | 40      | 5       | 8       | 292     | 1.260               | 2.48    | 7.04                 | 63.4                              | 10.50                             | 0.5870                            | 85.7                              | 15.90                             | 3.84                              | 3.00                 | 1.22                 | 5.52      |
| UF 100.3 | 100         | 50      | 3       | 3       | 386     | 1.390               | 3.10    | 5.70                 | 88.4                              | 14.10                             | 0.1710                            | 223.0                             | 17.70                             | 3.90                              | 3.94                 | 1.57                 | 4.48      |
| UF 100.4 | 100         | 50      | 4       | 6       | 378     | 1.450               | 3.12    | 7.40                 | 111.0                             | 18.00                             | 0.3950                            | 226.0                             | 22.20                             | 5.07                              | 3.88                 | 1.56                 | 5.81      |
| UF 100.5 | 100         | 50      | 5       | 8       | 372     | 1.510               | 3.12    | 9.04                 | 132.0                             | 21.60                             | 0.7540                            | 299.0                             | 26.40                             | 6.19                              | 3.82                 | 1.55                 | 7.09      |
| UF 120.4 | 120         | 60      | 4       | 6       | 458     | 1.700               | 3.75    | 9.00                 | 198.0                             | 31.90                             | 0.4800                            | 702.0                             | 33.10                             | 7.42                              | 4.70                 | 1.88                 | 7.06      |
| UF 120.5 | 120         | 60      | 5       | 8       | 452     | 1.750               | 3.75    | 11.00                | 238.0                             | 38.60                             | 0.9210                            | 808.0                             | 39.60                             | 9.08                              | 4.64                 | 1.87                 | 8.66      |
| UF 120.6 | 120         | 60      | 6       | 10      | 446     | 1.810               | 3.75    | 13.00                | 273.0                             | 44.80                             | 1.5600                            | 886.0                             | 45.50                             | 10.70                             | 4.58                 | 1.86                 | 10.20     |
| UF 140.4 | 140         | 70      | 4       | 6       | 538     | 1.950               | 4.38    | 10.60                | 322.0                             | 51.60                             | 0.5660                            | 1580.0                            | 46.00                             | 10.20                             | 5.51                 | 2.21                 | 8.32      |
| UF 140.5 | 140         | 70      | 5       | 8       | 532     | 2.000               | 4.38    | 13.00                | 388.0                             | 62.70                             | 1.0900                            | 1850.0                            | 55.50                             | 12.50                             | 5.46                 | 2.19                 | 10.20     |
| UF 140.6 | 140         | 70      | 6       | 10      | 526     | 2.060               | 4.38    | 15.40                | 449.0                             | 73.10                             | 1.8500                            | 2060.0                            | 64.20                             | 14.80                             | 5.40                 | 2.18                 | 12.10     |

**Tabla 2.A3.4.- Perfiles conformados C**



A = Área de la de la sección.

c = Posición del eje y.

m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a x.

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a y.

$I_t$  = Módulo de torsión de la sección.

$I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.

$W_x$  = Módulo resistente respecto a x.

$W_y$  = Módulo resistente respecto a y

$i_x$  = Radio de giro respecto a x.

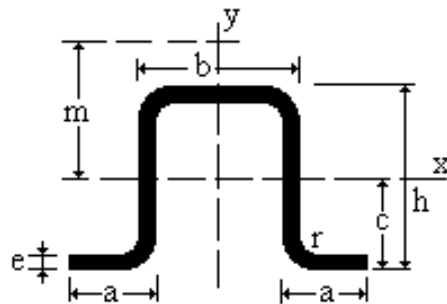
$i_y$  = Radio de giro respecto a y.

u = Perímetro.

| Perfil     | Dimensiones |         |         |         |         |         |         | Términos de sección |                      |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |                      |                      | Peso<br>P<br>kp/m |
|------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|            | h<br>mm     | b<br>mm | a<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm | c<br>cm | m<br>cm             | A<br>cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>t</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>a</sub><br>cm <sup>6</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>y</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm | i <sub>y</sub><br>cm |                   |
| CF 60.2.0  | 60          | 40      | 15      | 2.0     | 2.5     | 316     | 1.63    | 3.72                | 3.12                 | 17.8                              | 7.16                              | 0.0416                            | 74.9                              | 5.93                              | 3.03                              | 2.39                 | 1.52                 | 2.45              |
| CF 60.2.5  | 60          | 40      | 15      | 2.5     | 2.5     | 312     | 1.63    | 3.62                | 3.84                 | 21.5                              | 8.56                              | 0.0800                            | 90.4                              | 7.16                              | 3.62                              | 2.37                 | 1.49                 | 3.01              |
| CF 60.3.0  | 60          | 40      | 15      | 3.0     | 3.0     | 307     | 1.63    | 3.45                | 4.50                 | 24.6                              | 9.71                              | 0.1350                            | 109.0                             | 8.22                              | 4.10                              | 2.34                 | 1.47                 | 3.53              |
| CF 80.2.0  | 80          | 40      | 15      | 2.0     | 2.5     | 356     | 1.46    | 3.40                | 3.52                 | 34.9                              | 8.00                              | 0.0469                            | 122.0                             | 8.74                              | 3.15                              | 3.15                 | 1.51                 | 2.76              |
| CF 80.2.5  | 80          | 40      | 15      | 2.5     | 2.5     | 352     | 1.46    | 3.31                | 4.34                 | 42.4                              | 9.57                              | 0.0904                            | 148.0                             | 10.60                             | 3.77                              | 3.13                 | 1.49                 | 3.40              |
| CF 80.3.0  | 80          | 40      | 15      | 3.0     | 3.0     | 347     | 1.46    | 3.17                | 5.10                 | 49.0                              | 10.90                             | 0.1530                            | 179.0                             | 12.30                             | 4.28                              | 3.10                 | 1.46                 | 4.00              |
| CF 100.2.0 | 100         | 40      | 15      | 2.0     | 2.5     | 396     | 1.32    | 3.14                | 3.92                 | 59.2                              | 8.67                              | 0.0523                            | 189.0                             | 11.80                             | 3.24                              | 3.89                 | 1.49                 | 3.08              |
| CF 100.2.5 | 100         | 40      | 15      | 2.5     | 2.5     | 392     | 1.32    | 3.06                | 4.84                 | 72.1                              | 10.40                             | 0.1010                            | 228.0                             | 14.40                             | 3.87                              | 3.86                 | 1.46                 | 3.80              |
| CF 100.3.0 | 100         | 40      | 15      | 3.0     | 3.0     | 387     | 1.32    | 2.94                | 5.70                 | 83.6                              | 11.80                             | 0.1710                            | 275.0                             | 16.70                             | 4.40                              | 3.83                 | 1.44                 | 4.48              |
| CF 120.2.0 | 120         | 50      | 20      | 2.0     | 2.5     | 496     | 1.72    | 4.22                | 4.92                 | 109.0                             | 17.90                             | 0.0656                            | 547.0                             | 18.10                             | 6.47                              | 4.70                 | 1.91                 | 3.86              |
| CF 120.2.5 | 120         | 50      | 20      | 2.5     | 2.5     | 492     | 1.72    | 4.14                | 6.09                 | 133.0                             | 21.70                             | 0.1270                            | 668.0                             | 22.20                             | 6.61                              | 4.68                 | 1.89                 | 4.78              |

|            |     |    |    |     |     |     |      |      |       |        |        |        |         |        |       |       |      |       |
|------------|-----|----|----|-----|-----|-----|------|------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|-------|------|-------|
| CF 120.3.0 | 120 | 50 | 20 | 3.0 | 3.0 | 487 | 1.72 | 4.02 | 7.20  | 156.0  | 25.00  | 0.2160 | 808.0   | 25.90  | 7.61  | 4.65  | 1.86 | 5.65  |
| CF 140.2.0 | 140 | 50 | 20 | 2.0 | 2.5 | 536 | 1.60 | 3.97 | 5.32  | 156.0  | 18.90  | 0.0709 | 751.0   | 22.30  | 5.56  | 5.42  | 1.89 | 4.17  |
| CF 140.2.5 | 140 | 50 | 20 | 2.5 | 2.5 | 532 | 1.60 | 3.89 | 6.59  | 192.0  | 22.90  | 0.1370 | 917.0   | 27.40  | 6.72  | 5.40  | 1.86 | 5.17  |
| CF 140.3.0 | 140 | 50 | 20 | 3.0 | 3.0 | 527 | 1.60 | 3.78 | 7.80  | 225.0  | 26.30  | 0.2340 | 1105.0  | 32.10  | 7.74  | 5.37  | 1.84 | 6.13  |
| CF 160.2.0 | 160 | 60 | 20 | 2.0 | 2.5 | 616 | 1.86 | 4.62 | 6.12  | 240.0  | 30.50  | 0.0816 | 1493.0  | 30.00  | 7.37  | 6.26  | 2.23 | 4.80  |
| CF 160.2.5 | 160 | 60 | 20 | 2.5 | 2.5 | 612 | 1.86 | 4.54 | 7.59  | 295.0  | 37.00  | 0.1580 | 1627.0  | 36.80  | 8.95  | 6.23  | 2.21 | 5.95  |
| CF 160.3.0 | 160 | 60 | 20 | 3.0 | 3.0 | 607 | 1.86 | 4.43 | 9.00  | 346.0  | 42.90  | 0.2700 | 2192.0  | 43.30  | 10.40 | 6.20  | 2.18 | 7.07  |
| CF 180.2.0 | 180 | 60 | 20 | 2.0 | 2.5 | 656 | 1.75 | 4.40 | 6.52  | 316.0  | 31.7   | 0.0869 | 1930.0  | 35.1   | 7.46  | 6.97  | 2.20 | 5.12  |
| CF 180.2.5 | 180 | 60 | 20 | 2.5 | 2.5 | 652 | 1.75 | 4.35 | 8.09  | 389.0  | 38.5   | 0.1690 | 2360.0  | 43.2   | 9.06  | 6.94  | 2.18 | 6.35  |
| CF 180.3.0 | 180 | 60 | 20 | 3.0 | 3.0 | 647 | 1.75 | 4.22 | 9.60  | 458.0  | 44.50  | 0.2880 | 2825.0  | 50.90  | 10.50 | 6.91  | 2.15 | 7.54  |
| CF 200.2.0 | 200 | 60 | 20 | 2.0 | 2.5 | 696 | 1.66 | 4.20 | 6.92  | 406.0  | 32.70  | 0.0923 | 2438.0  | 40.60  | 7.53  | 7.66  | 2.17 | 5.43  |
| CF 200.2.5 | 200 | 60 | 20 | 2.5 | 2.5 | 692 | 1.66 | 4.13 | 8.59  | 500.0  | 39.70  | 0.1790 | 2981.0  | 50.00  | 9.15  | 7.63  | 2.15 | 6.74  |
| CF 200.3.0 | 200 | 60 | 20 | 3.0 | 3.0 | 687 | 1.66 | 4.04 | 10.20 | 588.0  | 46.00  | 0.3060 | 3561.0  | 58.80  | 10.60 | 7.60  | 2.12 | 8.01  |
| CF 225.2.5 | 225 | 80 | 25 | 2.5 | 2.5 | 842 | 2.38 | 5.96 | 10.50 | 806.0  | 90.80  | 0.2180 | 8320.0  | 71.70  | 16.20 | 8.78  | 2.95 | 8.21  |
| CF 225.3.0 | 225 | 80 | 25 | 3.0 | 3.0 | 837 | 2.38 | 5.86 | 12.50 | 953.0  | 106.00 | 0.3740 | 9970.0  | 84.70  | 18.90 | 8.75  | 2.92 | 9.78  |
| CF 225.4.0 | 225 | 80 | 25 | 4.0 | 6.0 | 819 | 2.36 | 5.53 | 16.20 | 1213.0 | 131.00 | 0.8650 | 14057.0 | 108.00 | 23.30 | 8.66  | 2.85 | 12.70 |
| CF 250.2.5 | 250 | 80 | 25 | 2.5 | 2.5 | 892 | 2.25 | 5.70 | 11.10 | 1083.0 | 93.80  | 0.2310 | 15028.0 | 82.60  | 16.30 | 9.65  | 2.91 | 8.70  |
| CF 250.3.0 | 250 | 80 | 25 | 3.0 | 3.0 | 887 | 2.25 | 5.60 | 13.20 | 1222.0 | 110.00 | 0.3960 | 12601.0 | 97.70  | 19.10 | 9.62  | 2.88 | 10.40 |
| CF 250.4.0 | 250 | 80 | 25 | 4.0 | 6.0 | 869 | 2.23 | 5.30 | 17.20 | 1559.0 | 136.00 | 0.9180 | 17607.0 | 125.00 | 23.50 | 9.52  | 2.81 | 13.50 |
| CF 275.2.5 | 275 | 80 | 25 | 2.5 | 2.5 | 942 | 2.14 | 6.47 | 11.70 | 1259.0 | 96.50  | 0.2440 | 13061.0 | 94.10  | 16.50 | 10.50 | 2.87 | 9.19  |
| CF 275.3.0 | 275 | 80 | 25 | 3.0 | 3.0 | 937 | 2.14 | 5.37 | 14.00 | 1532.0 | 113.00 | 0.4290 | 15611.0 | 111.00 | 19.20 | 10.50 | 2.84 | 11.00 |
| CF 275.4.0 | 275 | 80 | 25 | 4.0 | 6.0 | 912 | 2.12 | 5.09 | 18.20 | 1959.0 | 140.00 | 0.9710 | 21655.0 | 142.00 | 23.80 | 10.40 | 2.77 | 14.30 |
| CF 300.2.5 | 300 | 80 | 25 | 2.5 | 2.5 | 992 | 2.04 | 5.25 | 12.30 | 1592.0 | 98.90  | 0.2571 | 15931.0 | 106.00 | 16.60 | 11.40 | 2.83 | 9.68  |
| CF 300.3.0 | 300 | 80 | 25 | 3.0 | 3.0 | 987 | 2.04 | 5.16 | 14.70 | 1885.0 | 116.00 | 0.4410 | 19017.0 | 126.00 | 19.40 | 11.30 | 2.80 | 11.50 |
| CF 300.4.0 | 300 | 80 | 25 | 4.0 | 6.0 | 969 | 2.02 | 4.89 | 19.20 | 2415.0 | 143.00 | 1.0200 | 26216.0 | 161.00 | 24.00 | 11.20 | 2.73 | 15.10 |

Tabla 2.A3.5.- Perfiles conformados  $\Omega$  (omega)

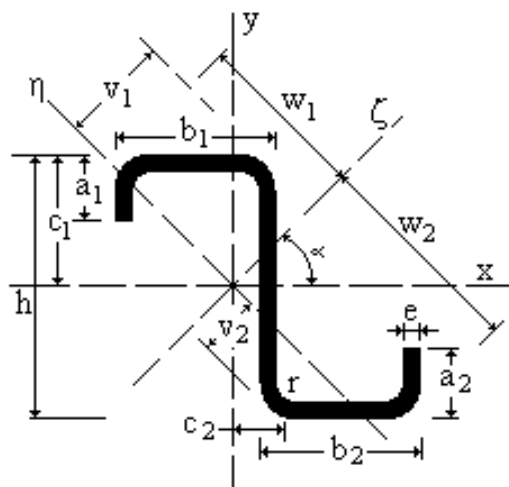


- A = Área de la sección.
- c = Posición del eje y.
- m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes.
- $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a x.
- $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a y.
- $I_t$  = Módulo de torsión de la sección.
- $I_a$  = Módulo de alabeo de la sección.
- $W_x$  = Módulo resistente respecto a x.
- $W_y$  = Módulo resistente respecto a y.
- $i_x$  = Radio de giro respecto a x.
- $i_y$  = Radio de giro respecto a y.
- u = Perímetro.

| Perfil    | Dimensiones |         |         |         |         |         | Términos de sección |         |                      |                          |                          |                          |                          |                          |                          |             |             | Peso<br>p<br>kp/m |
|-----------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------|---------|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------------|
|           | h<br>mm     | b<br>mm | a<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm | c<br>cm             | m<br>cm | A<br>cm <sup>2</sup> | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $I_t$<br>cm <sup>4</sup> | $I_a$<br>cm <sup>6</sup> | $W_x$<br>cm <sup>3</sup> | $W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm | $i_y$<br>cm |                   |
| OF 40.2.0 | 40          | 40      | 15      | 2.0     | 2.5     | 272     | 2.14                | 3.46    | 2.72                 | 6.08                     | 9.84                     | 0.0363                   | 10.5                     | 2.84                     | 2.98                     | 1.50        | 1.90        | 2.13              |
| OF 40.2.5 | 40          | 40      | 15      | 2.5     | 2.5     | 267     | 2.14                | 3.42    | 3.34                 | 7.24                     | 11.70                    | 0.0696                   | 12.0                     | 3.38                     | 3.61                     | 1.47        | 1.88        | 2.62              |
| OF 40.3.0 | 40          | 40      | 15      | 3.0     | 3.0     | 261     | 2.14                | 3.39    | 3.91                 | 8.17                     | 13.30                    | 0.1170                   | 12.9                     | 3.81                     | 4.17                     | 1.45        | 1.85        | 3.07              |
| OF 50.2.0 | 50          | 50      | 17      | 2.0     | 2.5     | 340     | 2.73                | 4.38    | 3.40                 | 12.00                    | 18.90                    | 0.0453                   | 33.2                     | 4.40                     | 4.72                     | 1.88        | 2.36        | 2.67              |
| OF 50.2.5 | 50          | 50      | 17      | 2.5     | 2.5     | 335     | 2.73                | 4.34    | 4.19                 | 14.40                    | 22.80                    | 0.0873                   | 38.8                     | 5.29                     | 5.76                     | 1.86        | 2.33        | 3.29              |
| OF 50.3.0 | 50          | 50      | 17      | 3.0     | 3.0     | 329     | 2.73                | 4.31    | 4.93                 | 16.50                    | 26.10                    | 0.1480                   | 42.7                     | 6.04                     | 6.70                     | 1.83        | 2.30        | 3.87              |
| OF 60.2.0 | 60          | 40      | 20      | 2.0     | 2.5     | 372     | 3.00                | 5.19    | 3.72                 | 18.20                    | 15.30                    | 0.0496                   | 43.0                     | 6.08                     | 4.01                     | 2.21        | 2.03        | 2.92              |

|            |     |    |    |     |     |     |      |      |      |        |       |        |       |       |       |      |      |      |
|------------|-----|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|
| OF 60.2.5  | 60  | 40 | 20 | 2.5 | 2.5 | 367 | 3.00 | 5.15 | 4.59 | 22.00  | 18.30 | 0.0956 | 50.6  | 7.34  | 4.89  | 2.19 | 2.00 | 3.60 |
| OF 60.3.0  | 60  | 40 | 20 | 3.0 | 3.0 | 361 | 3.00 | 5.12 | 5.41 | 25.30  | 21.00 | 0.1620 | 56.1  | 8.44  | 5.68  | 2.16 | 1.97 | 4.25 |
| OF 80.2.5  | 80  | 50 | 25 | 2.5 | 2.5 | 487 | 4.00 | 6.95 | 6.09 | 52.60  | 38.80 | 0.1268 | 198.0 | 13.10 | 8.17  | 2.94 | 2.52 | 4.78 |
| OF 80.3.0  | 80  | 50 | 25 | 3.0 | 3.0 | 481 | 4.00 | 6.92 | 7.21 | 61.00  | 45.00 | 0.2160 | 225.0 | 15.30 | 9.57  | 2.91 | 2.50 | 5.66 |
| OF 100.2.5 | 100 | 50 | 30 | 2.5 | 2.5 | 587 | 4.83 | 8.48 | 7.34 | 96.90  | 50.70 | 0.1529 | 471.0 | 18.80 | 9.66  | 3.63 | 2.63 | 5.76 |
| OF 100.3.0 | 100 | 50 | 30 | 3.0 | 3.0 | 581 | 4.83 | 8.45 | 8.71 | 113.00 | 59.00 | 0.2610 | 539.0 | 21.90 | 11.30 | 3.61 | 2.60 | 6.94 |

**Tabla 2.A3.6.- Perfiles conformados Z**



$A$  = Área de la sección.

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $x$ .

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $y$ .

$I_{xy}$  = Momento centrífugo de la sección, respec. a  $x, y$ .

$I_\zeta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\zeta$ .

$I_\eta$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\eta$ .

$W_x$  = Módulo resistente respecto a  $x$ .

$W_y$  = Módulo resistente respecto a  $y$ .

$W_\eta$  = Módulo resistente respecto a  $\eta$ .

$W_\zeta$  = Módulo resistente respecto a  $\zeta$ .

$i_x$  = Radio de giro respecto a  $x$ .

$i_y$  = Radio de giro respecto a  $y$ .

$i_\zeta$  = Radio de giro respecto a  $\zeta$ .

$i_\eta$  = Radio de giro respecto a  $\eta$ .

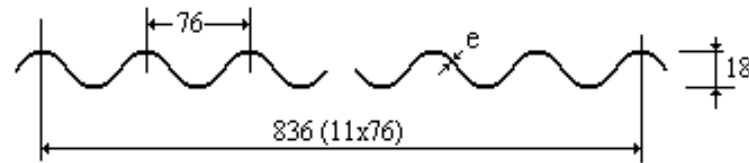
$u$  = Perímetro.

| Pefil | Dimensiones | Posición de los ejes | Términos de sección | Peso<br>p<br>kp/m |
|-------|-------------|----------------------|---------------------|-------------------|
|-------|-------------|----------------------|---------------------|-------------------|

|               | h<br>mm | b1<br>mm | b2<br>mm | a1<br>mm | a2<br>mm | e<br>mm | r<br>mm | u<br>mm | c1<br>cm | c2<br>cm | v1<br>cm | v2<br>cm | w1<br>cm | w2<br>cm | tgα   | A<br>cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>xy</sub><br>cm | I <sub>ζ</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>η</sub><br>cm <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>y</sub><br>m <sup>3</sup> | W <sub>ζ</sub><br>cm <sup>3</sup> | W <sub>η</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>x</sub><br>cm <sup>3</sup> | i <sub>y</sub><br>cm | i <sub>ζ</sub><br>cm | I <sub>η</sub><br>cm |      |  |
|---------------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|--|
| ZF<br>100.2.0 | 100     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.0     | 2.5     | 476     | 4.81     | 0.18     | 2.81     | 2.55     | 6.95     | 7.18     | 0.867 | 4.72                 | 76.4                              | 40.8                              | 42.8                  | 105                               | 12.3                              | 14.7                              | 7.25                             | 14.6                              | 3.94                              | 4.02                              | 2.94                 | 4.72                 | 1.61                 | 3.70 |  |
| ZF<br>100.2.5 | 100     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.5     | 2.5     | 472     | 4.81     | 0.15     | 2.80     | 2.54     | 6.91     | 7.14     | 0.662 | 5.84                 | 93.5                              | 49.3                              | 52.0                  | 128                               | 14.9                              | 18.0                              | 8.81                             | 17.9                              | 4.78                              | 4.00                              | 2.91                 | 4.68                 | 1.60                 | 4.58 |  |
| ZF<br>100.3.0 | 100     | 60       | 53       | 20       | 17       | 3.0     | 3.0     | 467     | 4.81     | 0.13     | 2.77     | 2.51     | 6.85     | 7.09     | 0.657 | 6.91                 | 109.0                             | 56.8                              | 60.3                  | 149                               | 17.2                              | 21.0                              | 10.20                            | 21.0                              | 5.51                              | 3.97                              | 2.87                 | 4.64                 | 1.58                 | 5.42 |  |
| ZF<br>120.2.0 | 120     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.0     | 2.5     | 516     | 5.79     | 0.16     | 2.79     | 2.53     | 7.57     | 7.86     | 0.510 | 5.12                 | 117.0                             | 40.8                              | 52.2                  | 143                               | 14.2                              | 18.8                              | 7.23                             | 18.2                              | 4.29                              | 4.77                              | 2.82                 | 5.29                 | 1.67                 | 4.02 |  |
| ZF<br>120.2.5 | 120     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.5     | 2.5     | 512     | 5.79     | 0.13     | 2.78     | 2.51     | 7.53     | 7.82     | 0.505 | 6.34                 | 143.0                             | 49.3                              | 63.5                  | 175                               | 17.2                              | 23.0                              | 8.78                             | 22.4                              | 5.21                              | 4.75                              | 2.79                 | 5.25                 | 1.65                 | 4.98 |  |
| ZF<br>120.3.0 | 120     | 60       | 53       | 20       | 17       | 3.0     | 3.0     | 507     | 5.79     | 0.11     | 2.75     | 2.48     | 7.47     | 7.77     | 0.501 | 7.51                 | 167.0                             | 56.8                              | 73.8                  | 204                               | 19.9                              | 26.9                              | 10.20                            | 26.3                              | 6.01                              | 4.72                              | 2.75                 | 5.21                 | 1.63                 | 5.89 |  |
| ZF<br>140.2.0 | 140     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.0     | 2.5     | 556     | 6.77     | 0.14     | 2.73     | 2.46     | 8.27     | 8.61     | 0.407 | 5.52                 | 167.0                             | 40.8                              | 61.7                  | 192                               | 15.7                              | 23.1                              | 7.21                             | 22.3                              | 4.56                              | 5.50                              | 2.72                 | 5.90                 | 1.69                 | 4.33 |  |
| ZF<br>140.2.5 | 140     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.5     | 2.5     | 552     | 6.77     | 0.11     | 2.72     | 2.45     | 8.23     | 8.58     | 0.404 | 6.84                 | 205.0                             | 49.4                              | 75.1                  | 235                               | 19.1                              | 28.4                              | 8.76                             | 27.4                              | 5.54                              | 5.48                              | 2.69                 | 5.87                 | 1.67                 | 5.37 |  |
| ZF<br>140.3.0 | 140     | 60       | 53       | 20       | 17       | 3.0     | 3.0     | 547     | 6.77     | 0.09     | 2.69     | 2.42     | 8.19     | 8.54     | 0.400 | 8.11                 | 240.0                             | 56.9                              | 87.2                  | 275                               | 22.0                              | 33.2                              | 10.10                            | 32.2                              | 6.39                              | 5.44                              | 2.65                 | 5.83                 | 1.65                 | 6.36 |  |
| ZF<br>160.2.0 | 160     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.0     | 2.5     | 596     | 7.75     | 0.12     | 2.65     | 2.39     | 9.04     | 9.43     | 0.336 | 5.92                 | 229.0                             | 40.9                              | 71.1                  | 252                               | 17.0                              | 27.7                              | 7.20                             | 26.8                              | 4.78                              | 6.21                              | 2.63                 | 6.53                 | 1.69                 | 4.65 |  |
| ZF<br>160.2.5 | 160     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.5     | 2.5     | 592     | 7.75     | 0.10     | 2.64     | 2.38     | 9.40     | 9.40     | 0.333 | 7.34                 | 281.0                             | 49.4                              | 86.6                  | 310                               | 20.6                              | 34.0                              | 8.74                             | 32.9                              | 5.80                              | 6.19                              | 2.59                 | 6.50                 | 1.67                 | 5.76 |  |
| ZF<br>160.3.0 | 160     | 60       | 53       | 20       | 17       | 3.0     | 3.0     | 587     | 7.75     | 0.07     | 2.62     | 2.36     | 8.96     | 9.36     | 0.329 | 8.71                 | 330.0                             | 56.9                              | 101.0                 | 363                               | 23.8                              | 40.0                              | 10.10                            | 38.8                              | 6.70                              | 6.15                              | 2.56                 | 6.45                 | 1.65                 | 6.84 |  |
| ZF<br>180.2.0 | 180     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.0     | 2.5     | 636     | 8.73     | 0.11     | 2.58     | 2.32     | 9.85     | 10.30    | 0.284 | 6.32                 | 302.0                             | 40.9                              | 80.6                  | 325                               | 18.0                              | 32.6                              | 7.18                             | 31.6                              | 4.95                              | 6.91                              | 2.54                 | 7.17                 | 1.69                 | 4.96 |  |
| ZF<br>180.2.5 | 180     | 60       | 53       | 20       | 17       | 2.5     | 2.5     | 632     | 8.73     | 0.08     | 2.56     | 2.31     | 9.82     | 10.30    | 0.281 | 7.84                 | 371.0                             | 49.4                              | 98.1                  | 399                               | 21.9                              | 40.1                              | 8.72                             | 38.9                              | 6.01                              | 6.88                              | 2.51                 | 7.13                 | 1.67                 | 6.15 |  |
| ZF<br>180.3.0 | 180     | 60       | 53       | 20       | 17       | 3.0     | 3.0     | 627     | 8.73     | 0.06     | 2.54     | 2.29     | 9.78     | 10.20    | 0.278 | 9.31                 | 436.0                             | 56.9                              | 114.0                 | 468                               | 25.3                              | 47.1                              | 10.10                            | 45.8                              | 6.94                              | 6.85                              | 2.47                 | 7.09                 | 1.65                 | 7.31 |  |

|               |     |    |    |    |    |     |     |     |       |      |      |      |       |       |       |       |        |       |       |      |      |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
|---------------|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| ZF<br>200.2.0 | 200 | 80 | 70 | 25 | 22 | 2.0 | 2.5 | 770 | 9.68  | 0.20 | 3.58 | 3.23 | 11.60 | 12.00 | 0.366 | 7.66  | 473.0  | 97.3  | 159.0 | 531  | 39.1 | 45.8  | 12.80 | 44.1  | 8.39  | 7.85  | 3.56 | 8.32  | 2.26 | 6.01  |
| ZF<br>200.2.5 | 200 | 80 | 70 | 25 | 22 | 2.5 | 2.5 | 766 | 9.68  | 0.18 | 3.57 | 3.22 | 11.50 | 12.00 | 0.364 | 9.51  | 583.0  | 119.0 | 195.0 | 654  | 47.8 | 56.5  | 15.70 | 54.4  | 10.30 | 7.83  | 3.53 | 8.29  | 2.24 | 7.47  |
| ZF<br>200.3.0 | 200 | 80 | 70 | 25 | 22 | 3.0 | 3.0 | 761 | 9.68  | 0.15 | 3.54 | 3.19 | 11.50 | 12.00 | 0.361 | 11.30 | 688.0  | 138.0 | 228.0 | 770  | 55.8 | 66.6  | 18.30 | 64.4  | 12.00 | 7.80  | 3.49 | 8.25  | 2.22 | 8.88  |
| ZF<br>225.2.5 | 225 | 80 | 70 | 25 | 22 | 2.5 | 2.5 | 816 | 10.90 | 0.16 | 3.47 | 3.13 | 12.50 | 13.10 | 0.307 | 10.10 | 769.0  | 119.0 | 220.0 | 836  | 50.9 | 66.3  | 15.60 | 64.1  | 10.60 | 8.71  | 3.42 | 9.08  | 2.24 | 7.96  |
| ZF<br>225.3.0 | 225 | 80 | 70 | 25 | 22 | 3.0 | 3.0 | 811 | 10.90 | 0.13 | 3.44 | 3.10 | 12.50 | 13.00 | 0.304 | 12.10 | 908.0  | 138.0 | 258.0 | 987  | 59.4 | 78.3  | 18.30 | 75.8  | 12.40 | 8.67  | 3.38 | 9.04  | 2.22 | 9.47  |
| ZF<br>225.4.0 | 225 | 80 | 70 | 25 | 22 | 4.0 | 6.0 | 792 | 10.90 | 0.08 | 3.34 | 3.00 | 12.40 | 12.90 | 0.299 | 15.70 | 1155.0 | 169.0 | 323.0 | 1251 | 73.0 | 99.5  | 22.50 | 97.0  | 15.20 | 8.58  | 3.29 | 8.93  | 2.16 | 12.30 |
| ZF<br>250.2.5 | 250 | 80 | 70 | 25 | 22 | 2.5 | 2.5 | 866 | 12.10 | 0.14 | 3.37 | 3.03 | 13.60 | 14.10 | 0.264 | 10.80 | 986.0  | 119.0 | 246.0 | 1051 | 53.6 | 76.7  | 15.60 | 74.3  | 11.00 | 9.57  | 3.32 | 9.88  | 2.23 | 8.45  |
| ZF<br>250.3.0 | 250 | 80 | 70 | 25 | 22 | 3.0 | 3.0 | 861 | 12.10 | 0.12 | 3.34 | 3.01 | 13.50 | 14.10 | 0.262 | 12.80 | 1166.0 | 138.0 | 289.0 | 1241 | 62.6 | 90.7  | 18.20 | 88.0  | 12.80 | 9.54  | 3.28 | 9.84  | 2.21 | 10.10 |
| ZF<br>250.4.0 | 250 | 80 | 70 | 25 | 22 | 4.0 | 6.0 | 842 | 12.10 | 0.06 | 3.25 | 2.92 | 13.40 | 14.00 | 0.256 | 16.70 | 1486.0 | 169.0 | 361.0 | 1579 | 76.9 | 115.0 | 22.50 | 113.0 | 15.70 | 9.44  | 3.19 | 9.72  | 2.15 | 13.10 |
| ZF<br>275.2.5 | 275 | 80 | 70 | 25 | 22 | 2.5 | 2.5 | 916 | 13.40 | 0.13 | 3.27 | 2.95 | 14.70 | 15.30 | 0.230 | 11.40 | 1237.0 | 119.0 | 272.0 | 1300 | 56.0 | 87.6  | 15.60 | 85.2  | 11.20 | 10.40 | 3.23 | 10.70 | 2.22 | 8.94  |
| ZF<br>275.3.0 | 275 | 80 | 70 | 25 | 22 | 3.0 | 3.0 | 911 | 13.40 | 0.10 | 3.25 | 2.93 | 14.60 | 15.20 | 0.228 | 13.60 | 1464.0 | 138.0 | 319.0 | 1536 | 65.4 | 104.0 | 18.20 | 101.0 | 13.10 | 10.40 | 3.19 | 10.60 | 2.20 | 10.70 |
| ZF<br>275.4.0 | 275 | 80 | 70 | 25 | 22 | 4.0 | 6.0 | 892 | 13.40 | 0.05 | 3.16 | 2.84 | 14.50 | 15.10 | 0.223 | 17.70 | 1869.0 | 170.0 | 399.0 | 1958 | 80.4 | 132.0 | 22.50 | 129.0 | 16.10 | 10.30 | 3.10 | 10.50 | 2.13 | 13.90 |
| ZF<br>300.2.5 | 300 | 80 | 70 | 25 | 22 | 2.5 | 2.5 | 966 | 14.60 | 0.11 | 3.18 | 2.86 | 15.80 | 16.40 | 0.208 | 12.00 | 1524.0 | 119.0 | 298.0 | 1585 | 58.2 | 99.0  | 15.60 | 96.8  | 11.50 | 11.30 | 3.14 | 11.50 | 2.20 | 9.43  |
| ZF<br>300.3.0 | 300 | 80 | 70 | 25 | 22 | 3.0 | 3.0 | 961 | 14.60 | 0.09 | 3.16 | 2.84 | 15.70 | 16.40 | 0.201 | 14.30 | 1804.0 | 138.0 | 349.0 | 1874 | 67.9 | 117.0 | 18.20 | 114.0 | 13.40 | 11.20 | 3.11 | 11.40 | 2.48 | 11.20 |
| ZF<br>300.4.0 | 300 | 80 | 70 | 25 | 22 | 4.0 | 6.0 | 942 | 14.60 | 0.04 | 3.07 | 2.76 | 15.60 | 16.30 | 0.197 | 18.70 | 2306.0 | 170.0 | 437.0 | 2394 | 83.6 | 150.0 | 22.40 | 147.0 | 16.40 | 11.10 | 3.01 | 11.30 | 2.12 | 14.70 |

**Tabla 2.A3.7.- Placa ondulada**

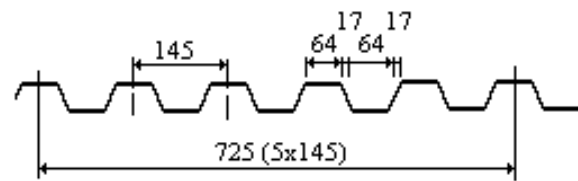


$u$  = Perímetro de la sección.  
 $A$  = Área de la sección.  
 $I$  = Momento de inercia.  
 $W$  = Módulo resistente.  
 $i = 1:A$ . Radio de giro

| Placa | Dimensiones |         | Términos de sección  |                      |                      |         | Peso<br>P<br>kp/m <sup>2</sup> |
|-------|-------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|--------------------------------|
|       | e<br>mm     | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup> | I<br>cm <sup>4</sup> | W<br>cm <sup>3</sup> | i<br>cm |                                |
| 0.0.5 | 0.5         | 2000    | 5.00                 | 2.00                 | 2.22                 | 0.63    | 4.38                           |
| 0.0.6 | 0.6         | 2000    | 6.00                 | 2.38                 | 2.64                 | 0.63    | 5.20                           |
| 0.0.8 | 0.8         | 2000    | 8.00                 | 3.70                 | 4.11                 | 0.68    | 7.00                           |
| 0.1.0 | 1.0         | 2000    | 10.00                | 4.65                 | 5.16                 | 0.68    | 8.77                           |
| 0.1.2 | 1.2         | 2000    | 12.00                | 5.60                 | 6.22                 | 0.68    | 10.50                          |

**Tabla 2.A3.8.- Placa grecada**





$u$  = Perímetro de la sección.  
 $A$  = Área de la sección.  
 $I$  = Momento de inercia.  
 $W$  = Módulo resistente.  
 $i = 1/A$ . Radio de giro.

| Placa | Dimensiones |      | Términos de sección  |      |       |      | Peso<br>p<br>kp/m <sup>2</sup> |
|-------|-------------|------|----------------------|------|-------|------|--------------------------------|
|       | e<br>mm     |      | A<br>cm <sup>2</sup> |      |       |      |                                |
| G.0.5 | 0.5         | 2300 | 5.25                 | 11.9 | 6.28  | 1.51 | 5.89                           |
| G.0.6 | 0.6         | 2300 | 6.30                 | 14.3 | 7.53  | 1.51 | 7.07                           |
| G.0.8 | 0.8         | 2300 | 8.40                 | 19.0 | 9.94  | 1.51 | 9.42                           |
| G.1.0 | 1.0         | 2300 | 10.50                | 23.7 | 12.30 | 1.50 | 11.80                          |
| G.1.2 | 1.2         | 2300 | 12.60                | 28.4 | 14.70 | 1.50 | 14.10                          |

## **3.1 Bases de cálculo**

Los criterios de cálculo utilizados para las estructuras de acero laminado figuran a continuación.

### **3.1.1 Condiciones de seguridad**

Se admite que la seguridad de una estructura es aceptable cuando, mediante cálculos realizados por los métodos definidos en 3.1.3 y sometiendo la estructura a las acciones ponderadas establecidas en 3.1.5, en la combinación que resulte más desfavorable, se comprueba que la estructura en su conjunto y cada uno de sus elementos son estáticamente estables y que las tensiones calculadas no sobrepasan la correspondiente condición de agotamiento.

#### **3.1.1.1 Arriostramientos**

Toda estructura de edificación tiene que proyectarse para que sea estable a los esfuerzos horizontales que actúen sobre ella. Si está constituida por vigas y pilares y los nudos no son rígidos, es decir, no pueden transmitir momentos flectores, para resistir los esfuerzos horizontales hay que disponer los necesarios recuadros arriostrados, por triangulaciones o por macizado con muros, y dimensionar todos los elementos considerando el efecto de aquellos esfuerzos. Un muro puede considerarse como macizado de arriostramiento si carece de huecos de puertas y ventanas; su grueso no es menor que 11,5 cm, excluidos los revestimientos; está enlazado convenientemente en todo su perímetro a las vigas y pilares de recuadro, y su resistencia al esfuerzo cortante es suficiente. Si falta alguna de las condiciones no puede considerarse como macizado de arriostramiento.

### **3.1.2 Condiciones de deformación**

Se admite que la deformación de una estructura es aceptable cuando, mediante cálculos realizados por los métodos definidos en 3.1.3 y sometiendo la estructura a las acciones características establecidas en 3.1.4, en la combinación que resulte más favorable, se comprueba que las deformaciones calculadas no sobrepasan en ningún punto los límites de deformación prescritos.

### **3.1.3 Métodos de cálculo**

La comprobación de la estabilidad estática y de la estabilidad elástica, el cálculo de las tensiones y el cálculo de las deformaciones se realizarán por los métodos establecidos en la norma, basados en la mecánica y, en general, en la teoría de la elasticidad, que en alguna ocasión admiten de modo implícito la existencia de estados tensionales plásticos locales.

Estos métodos de cálculo pueden complementarse o sustituirse por otros métodos científicos de base experimental fundados asimismo en la teoría de la elasticidad. Cuando el método utilizado no sea de uso común, se justificarán sus fundamentos teóricos y

experimentales en la Memoria del Proyecto.

Pueden emplearse además métodos que explícitamente tengan en cuenta la plasticidad del acero, admitiendo la formación de rótulas plásticas en puntos determinados de la estructura, en los casos y bajo las condiciones que se prescriban para ellos.

Los cálculos podrán sustituirse parcial o totalmente por ensayos sobre modelos a tamaño natural o reducido, dirigidos por especialistas, para verificar las condiciones de deformación bajo las acciones características y que se llevarán hasta la rotura o hasta sobrepasar las máximas acciones ponderadas para determinar la seguridad de la estructura.

#### **3.1.4 Acciones características**

Valor característico de una acción es el que tiene la probabilidad de 0,05 de ser sobrepasado durante la ejecución y la vida útil de la estructura o, eventualmente, en las pruebas de carga especificadas.

Las acciones características que se tendrán en cuenta en los cálculos serán las prescritas en la Norma NBE AE-88, Acciones en la edificación y, eventualmente, las especificadas en el proyecto para las pruebas de carga.

#### **3.1.5 Acciones ponderadas**

Una acción ponderada es el producto de una acción característica por el coeficiente de ponderación  $\gamma_s$ , que le corresponda, en la combinación de acciones que se esté considerando.

A efectos de aplicación de coeficientes de ponderación las acciones se clasifican en dos grupos: constantes y variables.

Se considerarán como acciones constantes, las que actúan o pueden actuar en todo momento o durante largo período de tiempo con valor fijo en posición y magnitud.

Se incluyen en este tipo:

- el peso propio;
- la carga permanente;
- el peso y empuje del terreno;
- las acciones térmicas;
- los asientos de las cimentaciones.

Como acciones variables se consideran:

- las sobrecargas de uso o explotación;
- las sobrecargas de ejecución que puedan presentarse durante el período

de montaje y construcción;

- las acciones del viento;
- la sobrecarga producida por la nieve;
- las acciones sísmicas.

Los coeficientes de ponderación según la hipótesis de carga, la clase de acción y el efecto favorable o desfavorable de la acción sobre la estabilidad o las tensiones se dan en la tabla 3.1.5.

Cuando se utilicen métodos anelásticos, véase 3.5, se utilizarán los coeficientes de ponderación definidos en la tabla 3.1.5 multiplicados por el factor 1.12.

**Tabla 3.1.5.- Coeficientes de ponderación**

| Hipótesis de carga  | Clase de acción                                    | Coeficiente de ponderación $\gamma_s$ si el efecto de la acción es: |      |           |
|---|--|---|------|-----------|
|   |  | Desfavorable  |      | Favorable |
| CASO I<br>Acciones constantes y combinación de dos acciones variables independientes                              | Acciones constantes<br>Ia(1) Sobrecargas<br>Viento | 1.33  | 1.33 | 1.00      |
|   |  | 1.33  | 1.50 | 0.00      |
|   |  | 1.50  | 1.33 | 0.00      |
|   | Acciones constantes<br>Ib Sobrecargas<br>Nieve     | 1.33  |      | 1.00      |
|   |  | 1.50  |      | 0.00      |
|   |  | 1.50  |      | 0.00      |
|   | Acciones constantes<br>Ic Viento<br>Nieve          | 1.33  |      | 1.00      |
|   |  | 1.50  |      | 0.00      |
|   |  | 1.50  |      | 0.00      |
| CASO II<br>Acciones constantes y combinación de tres acciones variables independientes                            | Acciones constantes                                | 1.33  |      | 1.00      |
|   | Sobrecargas  | 1.33  |      | 0.00      |
|   | Viento   | 1.33  |      | 0.00      |
|   | Nieve  | 1.33  |      | 0.00      |
| CASO III<br>Acciones constantes y combinación de acciones variables independientes, incluso las acciones sísmicas | Acciones constantes                                | 1.00  |      | 1.00      |
|   | Sobrecargas  | r(2)  |      | 0.00      |
|   | Viento   | 0.25(3)   |      | 0.00      |
|   | Nieve  | 0.50(4)   |      | 0.00      |
|   | Acciones sísmicas                                  | 1.00  |      | 0.00      |

(1) Para el efecto desfavorable se considerarán los valores de las dos columnas.

(2) r es el coeficiente reductor para las sobrecargas, de valor:

Azoteas, viviendas y hoteles (salvo locales de reunión):  $r = 0.50$ .

Oficinas, comercios, calzadas y garajes:  $r = 0.60$ .

Hospitales, cárceles, edificios docentes, templos, edificios de reunión y espectáculos y

salas de reunión de hoteles:  $r = 0.80$ .

Almacenes:  $r = 1$ .

(Tabla 4.5 de la norma sismorresistente PDS1-74 Parte A).

(3) Sólo se considerará en construcciones en situación topográfica expuesta o muy expuesta (Norma Básica NBE AE-88).

(4) Sólo se considerará en caso de lugares en los que la nieve permanece acumulada habitualmente más de treinta días seguidos, en el caso contrario el coeficiente será cero.

### 3.1.6 Condiciones de agotamiento

En un estado triple de tensión, definido por sus tensiones principales  $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$ , la condición de agotamiento viene definida por:

$$\sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2 \right]} = \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero, definida en 3.1.7.

Si el estado de tensión está definido en ejes cualesquiera, la condición de agotamiento se convierte en:

$$\sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) \right]} = \sigma_u$$

Si el estado es de tracción triple ( $\sigma_I \geq \sigma_{II} \geq \sigma_{III} > 0$ ), existe una segunda condición de agotamiento, que es

$$\sigma_I = 2\sigma_u$$

En un estado plano de tensión, o sea, con una tensión principal nula, definido en su plano XOY, la condición de agotamiento es:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_u$$

Si el estado plano está definido por sus tensiones principales, la condición de agotamiento viene definida por:

$$\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 - \sigma_I \sigma_{II}} = \sigma_u$$

En un estado simple, de tracción o compresión, la condición de agotamiento es:

$$\sigma = \sigma_u$$

En un estado de cortadura simple ( $\sigma_x = \sigma_y = 0$ ), la condición de agotamiento es:

$$\tau_u = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} = 0.576 \sigma_u$$

### 3.1.7. Resistencia de cálculo del acero

El límite elástico  $\sigma_e$  del acero que se tomará para establecer su resistencia de cálculo será el siguiente:

| Tipo de acero (1) | Límite elástico(2) $\sigma_e$ kg/cm <sup>2</sup> |
|-------------------|--|
| A37               | 2400   |
| A42               | 2600   |
| A52               | 3600   |

(1) Para los aceros contemplados en la norma UNE 36 080 (EN 10 025) se tomarán los valores de límite elástico indicados en la citada norma.

(2) Estos valores se aplicarán hasta espesores de 40 mm en acero A37 y acero A42, y de 35 mm en acero A52. Para espesores mayores se tomarán los valores correspondientes de la tabla 2.1.2.

Para otros tipos de acero se tomará el límite elástico garantizado por el fabricante. Si no existe esta garantía, el límite elástico  $\sigma_e$  se obtendrá mediante ensayos de acuerdo con los métodos estadísticos y se tomará:

$$\sigma_e = \sigma_m(1 - 2\delta)$$

donde:

$\sigma_m$  es el valor medio de los límites elásticos obtenidos, y

$\delta$  es la desviación cuadrática media relativa de los resultados de los ensayos.

La resistencia de cálculo del acero viene fijada por la expresión:

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e}{\gamma_a}$$

donde:

$\gamma_a$  es el coeficiente de minoración, con valores;

$\gamma_a = 1$  para los aceros con límite elástico mínimo garantizado, y

$\gamma_a = 1.1$  para aceros cuyo límite elástico sea determinado por métodos estadísticos.

### 3.1.8 Elección de la clase de acero

La elección entre los tres tipos de acero A37, A42 y A52, cuyas características se definen en la Parte 2 se basa, fundamentalmente, en razones económicas y en la facilidad

de obtención en el mercado de los productos requeridos.

Dentro del tipo de acero adoptado para estructuras soldadas, se elige el grado en función de la susceptibilidad a la rotura frágil y del grado de responsabilidad del elemento en la estructura. En el anejo 3.A1 se recogen algunas recomendaciones orientativas para la elección de la clase del acero para estructuras soldadas.

### **3.1.9 Constantes elásticas del acero**

En los cálculos, cualquiera que sea la clase de acero, se tomará:

|                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Módulo de elasticidad             | $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de elasticidad transversal | $G = 810000 \text{ kg/cm}^2$  |
| Coefficiente de Poisson           | $\nu = 0.30$                  |

### **3.1.10 Coeficiente de dilatación del acero**

Para el cálculo de esfuerzos, tensiones y deformaciones debidos a las acciones térmicas se tomará:

Coeficiente de dilatación térmica  $\alpha_t = 0.000012 \text{ m/m}^\circ\text{C}$  valor fijado en 6.4 de la NBE AE-88.

## 3.2 Piezas de directriz recta sometidas a compresión

### 3.2.1 Clases de piezas

Las piezas comprimidas de directriz recta se clasifican, según su constitución, en piezas simples y piezas compuestas.

#### 3.2.1.1 Piezas simples:

Son las piezas constituidas por:

a) Un solo perfil.

b) Perfiles o chapas yuxtapuestas (figura 3.2.1.1.A), unidos entre sí mediante roblones o tornillos cuyas separaciones cumplan las condiciones especificadas en 5.1.2 que son:

$$s \leq 8a ; s \leq 15e$$

donde:

a es el diámetro del agujero, y

e es el espesor mínimo de las piezas unidas.

Los perfiles o chapas también pueden ir unidos mediante soldadura continua o discontinua; cuyas separaciones cumplan las condiciones que se especifican en 5.2.3, y que son:

$$s \leq 15e ; s \leq 300\text{mm}$$

c) Perfiles con forro discontinuo de chapa (figura 3.2.1.1.B) con uniones mediante roblones, tornillos o soldadura, a distancias s que cumplan la condición:

$$s \leq 15 i$$

donde:

i es el radio de giro mínimo del perfil.

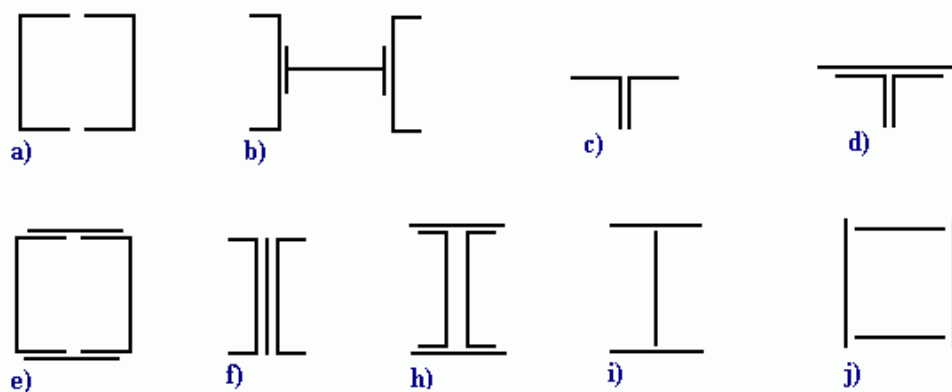
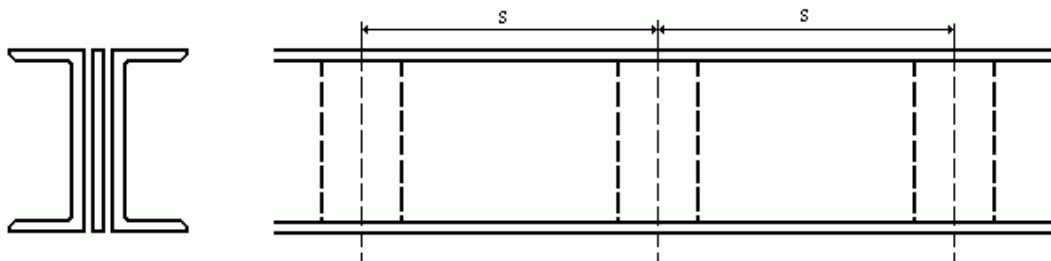


Figura 3.2.1.1.A.- Esquemas de piezas simples constituidas por perfiles o chapas yuxtapuestas



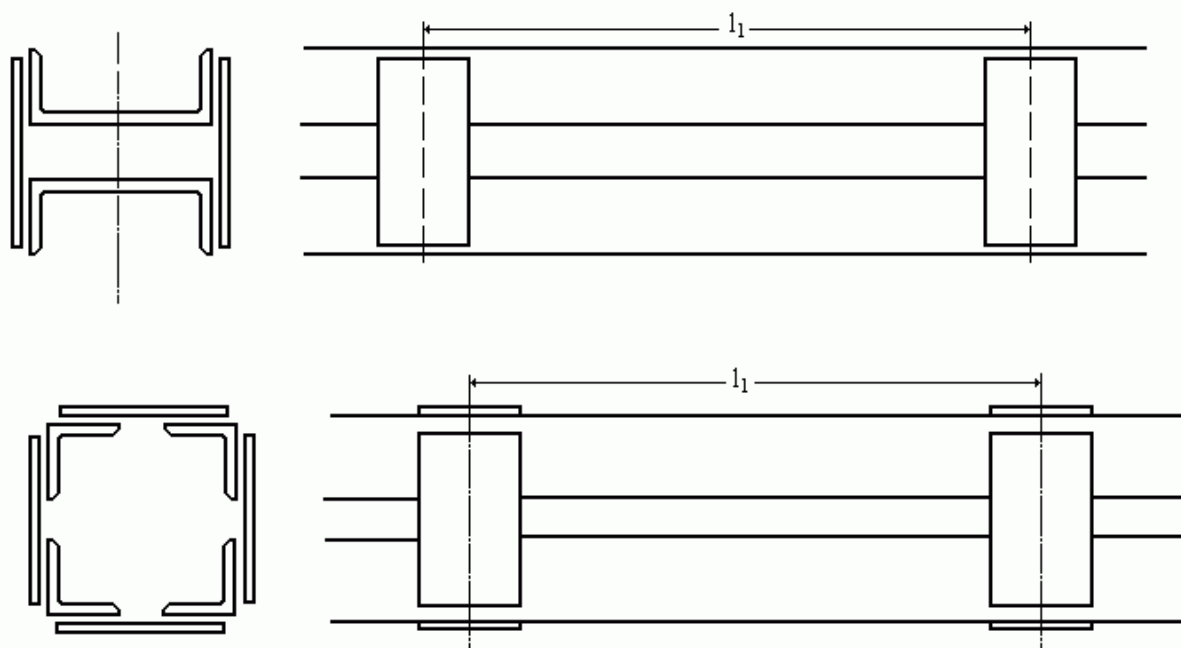


**Figura 3.2.1.B.- Esquema de una pieza simple constituida por perfiles y forro discontinuo de chapa**

### 3.2.1.2. Piezas compuestas:

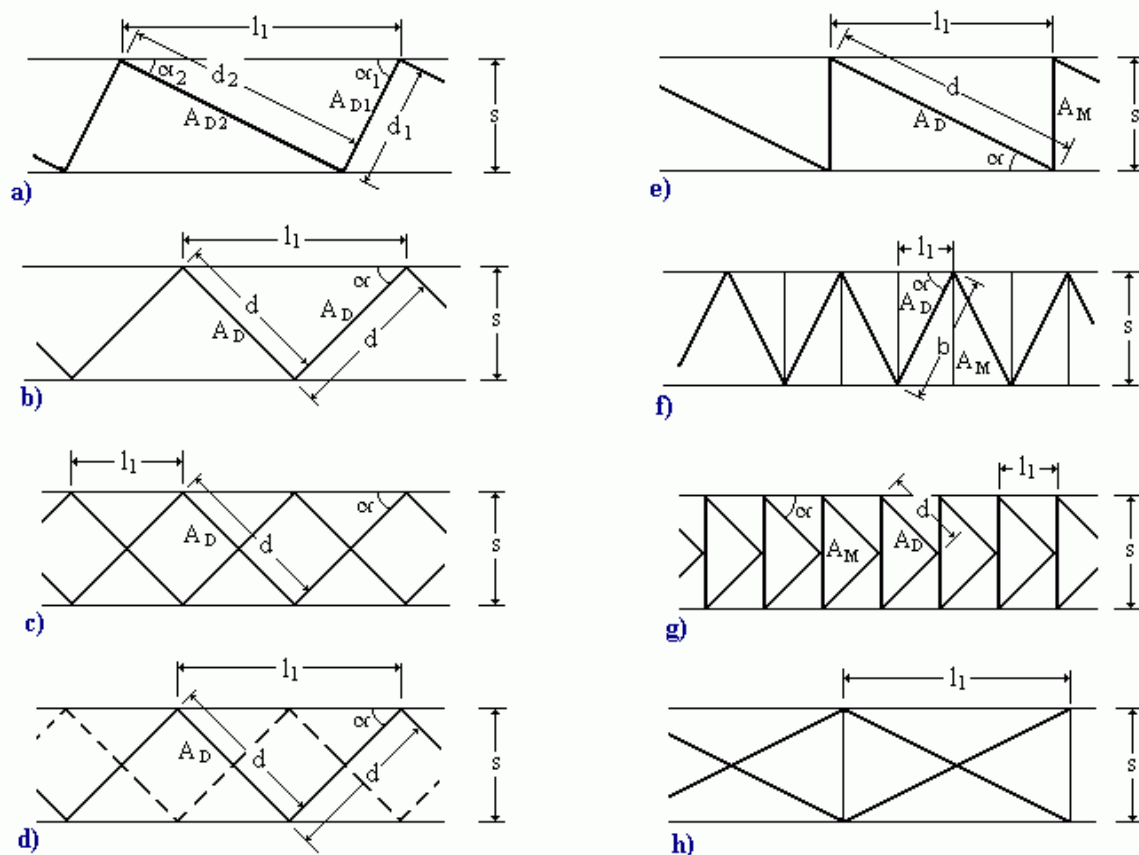
Son las piezas constituidas por dos o más piezas simples enlazadas entre sí. Los elementos de enlace pueden ser:

Presillas, constituidas por chapas o perfiles, resistentes a flexión y unidas rígidamente a las piezas simples (figura 3.2.1.2.A).



**Figura 3.2.1.2.A.- Esquemas de piezas compuestas con presillas**

Celosía, consistente en una red triangular formada por diagonales, o montantes y diagonales. Los principales esquemas de las piezas con celosía se describen en la figura 3.2.1.2.B.



**Figura 3.2.1.2.B.- Esquema de piezas compuestas en celosía**

### 3.2.1.3. Elementos de enlace de una pieza compuesta:

Los enlaces se dispondrán de tal modo que cumplan todas las condiciones de este apartado. En casos especiales, y justificándolo, puede no cumplirse alguna condición.

- a) El número de tramos en que se divida la pieza será igual o mayor que 3.

Siempre que sea posible, la longitud  $l_1$  de cada uno de los tramos será constante a lo largo de toda la pieza.

- b) La longitud de todo tramo cumplirá la condición:

$$l_1 \leq 50 i$$

donde:

$i$  es el radio de giro mínimo de la pieza simple considerada.

- c) La disposición y las dimensiones de los enlaces se mantendrán constantes en toda la pieza.

- d) En las piezas con celosía el ángulo que forman las diagonales con el eje de la pieza estará usualmente comprendido entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$ .

- e) En los extremos de toda pieza compuesta, con presilla o con celosía, se dispondrán presillas o carteles de nudo unidas rigidamente a cada pieza simple con tres roblones, o tornillos, del diámetro mínimo que permitan las separaciones autorizadas en 5.1.2 (tabla 5.1.2) o con soldadura de resistencia equivalente.

No se emplearán celosías con diagonales dobles y montantes tales como las que se representan en la figura 3.2.1.2.B.h, o con otras disposiciones internamente hiperestáticas, a menos que se determinen los esfuerzos en las barras de celosía estudiando la deformación a flexión de la pieza compuesta.

### 3.2.2. Solicitaciones consideradas

Se consideran en este artículo las solicitaciones de compresión centrada y de compresión excéntrica.

#### 3.2.2.1 Compresión centrada.

Se calcularán solamente con esfuerzo normal de compresión las piezas en que se considere esta única solicitación en las hipótesis de cálculo, habida cuenta de su vinculación efectiva y de la forma de aplicación de las cargas.

En las estructuras trianguladas cargadas sólo en los nudos puede considerarse en general que las barras comprimidas tienen solicitación de compresión centrada, es decir, que se prescinda de los momentos flectores debidos a la rigidez de las uniones de los nudos.

Se exceptúan las celosías muy irregulares, las que tengan barras que formen entre sí ángulos pequeños, las que tengan barras de gran rigidez y algunas retículas con hiperestaticidad interna. En ellas se estudiará la posible influencia de los momentos secundarios para introducirlos en el cálculo según 3.2.2.2.

En las estructuras de redes triangulares puede prescindirse siempre de la flexión debida a la acción directa del viento sobre las barras. La flexión debida al peso propio de cualquier barra sólo se considerará en aquellas cuya proyección horizontal exceda de 6 m. El cálculo a compresión centrada se realizará según 3.2.7.

#### 3.2.2.2. Compresión excéntrica:

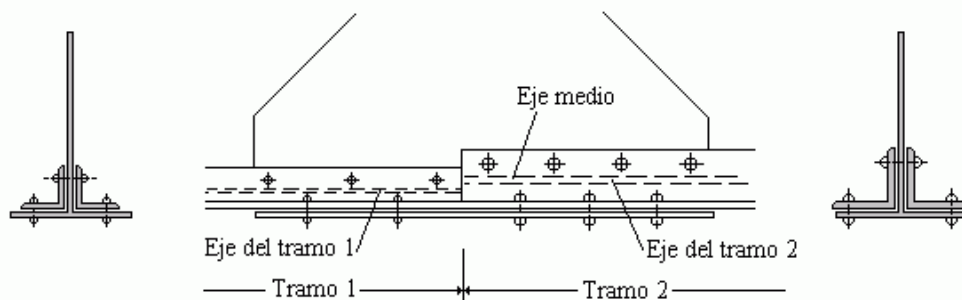
La solicitación en cada sección se compone de un esfuerzo normal de compresión y de un momento flector, que equivalen al esfuerzo normal actuando con excentricidad.

Se tendrán en cuenta los momentos flectores transmitidos, los que provengan de excentricidades geométricas en las vinculaciones de extremo, o los debidos a la aplicación excéntrica de cargas.

Puede prescindirse de la excentricidad debida a cambios de posición de la directriz en una pieza simple de sección variable (figura 3.2.2.2), si se toma como nudo el punto medio entre los baricentros de las dos secciones de la pieza simple a un lado y a otro de aquél.

En las barras de arriostramiento cuya directriz no esté en el plano de la unión puede prescindirse, en general, de esta excentricidad.

El cálculo a compresión excéntrica se realizará según 3.2.9.



**Figura 3.2.2.2.- Nudo en un cordón de sección variable**

#### 3.2.3 Términos de sección

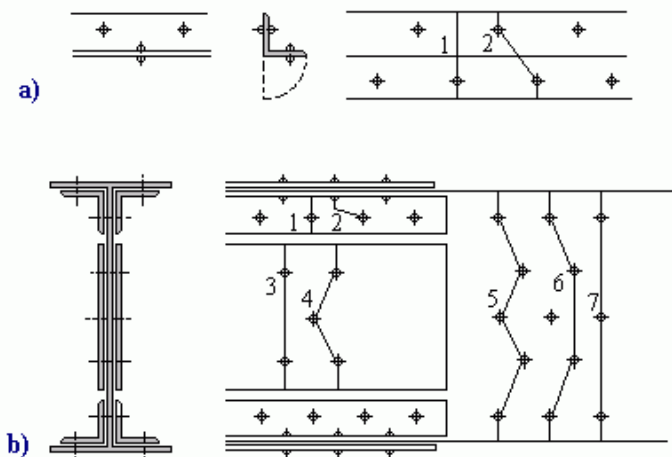
En una pieza que tenga uniones realizadas mediante roblones o tornillos se distinguen para el cálculo, según los casos, tres secciones:

- Sección bruta, es aquella en la que no se excluye el área de los agujeros que llevan roblón o tornillo.
- Sección neta, es aquella en la que se excluye el área de los agujeros, lleven o no roblón o tornillo.
- Sección semineta, es aquella en la que se excluye el área de los agujeros situados en la zona sometida a tracción, pero no la de los situados en la zona sometida a compresión.

Los términos de sección: área, momento de inercia, módulo resistente, radio de giro, etc,... se obtendrán para la sección bruta, neta o semineta, según los casos.

En la sección neta, o en la sección semineta, dichos términos de sección se referirán a los ejes de inercia de la sección bruta, sin tener en cuenta su posible variación de posición de éstos debida a la existencia de agujeros.

En las piezas sometidas a compresión centrada se considerará siempre la sección bruta, incluso cuando se trate de fenómenos de pandeo.



**Figura 3.2.3.- Líneas rectas o quebradas para elegir la sección neta de área mínima**

### 3.2.4 Longitud de pandeo

Se denomina longitud de pandeo  $l_K$  de una pieza sometida a un esfuerzo normal de compresión a la longitud de otra pieza ideal recta prismática, biarticulada y cargada en sus extremos, tal que tenga la misma carga crítica que la pieza real considerada.

La longitud de pandeo  $l_K$  viene dada por:

$$l_K = \beta l$$

donde:

$l$  es la longitud real de la pieza;

$\beta$  es un coeficiente cuyo valor se indica en 3.2.4.1 a 3.2.4.5.

#### 3.2.4.1 Piezas de sección sometidas a compresión uniforme:

El coeficiente de esbeltez  $\beta$  puede tomar los valores siguientes:

a) Pieza biarticulada en la que cada sección extrema tiene impedido el corrimiento de su baricentro con componente normal a la directriz, pero no el giro sin rozamiento de dicha sección alrededor de cualquier recta de ella que pase por su baricentro:

$$\beta = 1$$

b) Pieza biempotrada, sin posibilidad de corrimiento relativo de los extremos en dirección normal a la directriz:

$$\beta = 0.5$$

c) Pieza empotrada en un extremo y articulada en el otro, sin posibilidad de un corrimiento relativo de éstos, en dirección normal a la directriz:

$$\beta = 0.7$$

d) Pieza biempotrada, con posibilidad de un corrimiento relativo de los extremos en dirección normal a la directriz:

$$\beta = 1$$

e) Pieza empotrada en un extremo y libre en el otro:

$$\beta = 2$$

No se considerará que una vinculación es un empotramiento a menos que se adopten las medidas necesarias para que quede impedido efectivamente el giro después de construida.

Si no se tiene esta seguridad, la vinculación, a efecto de pandeo, se considerará como una articulación, aunque se prevea un empotramiento parcial.

#### 3.2.4.2 Barras de estructuras trianguladas:

En las estructuras trianguladas, mencionadas en el artículo 3.2.2.1, los coeficientes  $\beta$  son los que figuran a continuación:

a) Pandeo en el plano de la estructura:

Caso 1. Cordón comprimido

$$\beta = 1$$

Caso 2. Diagonales extremas de las vigas de contorno trapecial

$$\beta = 1$$

Caso 3. Montantes y diagonales

$$\beta = 0.8$$

Caso 4. Si la barra se cruza con otra y en el enlace entre ambas están situados por lo menos la cuarta parte de los roblones, tornillos o cordones de soldadura necesarios para la unión de dicha barra en su extremo, el punto de cruce podrá considerarse como inmovilizado en el plano del reticulado.

b) Pandeo perpendicular al plano de la estructura:

Caso 1. Cordón comprimido

$$\beta = 1$$

Caso 2. Si existe un nudo intermedio no inmovilizado y los esfuerzos normales a cada lado  $N_1$ ,  $N_2$  son diferentes ( $N_1 > N_2$ ).

$$\beta = 0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1}$$

Caso 3. Montantes y diagonales

$$\beta = 1$$

Caso 4. Cuando una diagonal de longitud  $d$ , comprimida con un esfuerzo  $N$ , se cruza sobre otra de longitud  $d_1$  comprimidos con un esfuerzo  $N_1$ , y se mantiene la continuidad de la barra comprimida cumpliendo el enlace de cruce las condiciones indicadas en el caso 4 para el pandeo en el plano de la estructura, se tomará:

$$\beta = \sqrt{1 - 0.75 \frac{N_1}{N} \frac{d}{d_1}} \not\leq 0.5$$

Caso 5. En un montante de una celosía de montantes y jabalcones

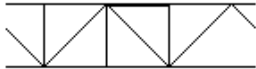

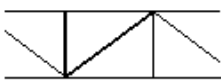
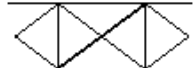
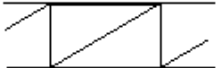
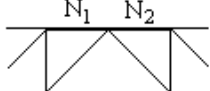
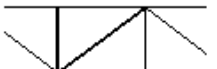
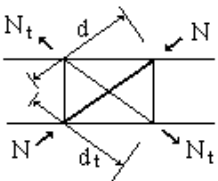
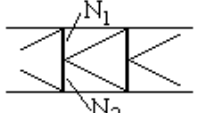
$$\beta = 0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1} \not\leq 0.5$$

donde:

$N_1$  y  $N_2$  son los esfuerzos normales a cada lado ( $N_1 > N_2$ ) y tomando  $N_2$  con signo menos si es de tracción.

En la tabla 3.2.4.2 se resumen los distintos casos considerados y los valores de  $\beta$  correspondientes.

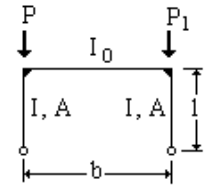
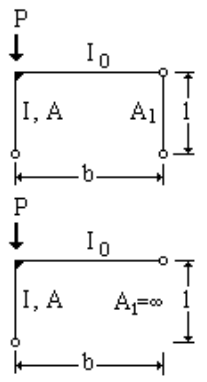
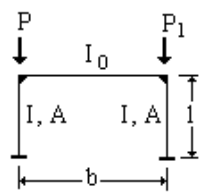
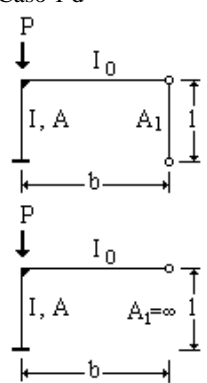
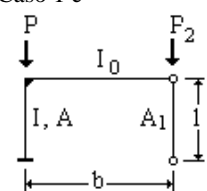
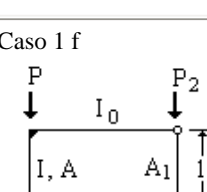
**Tabla 3.2.4.2.- Coeficientes de esbeltez  $\beta$  en barras de estructuras triangulares.**

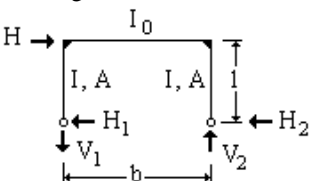
| Esquema   | Barra  | Coeficiente $\beta$  |
|---|--|--|
| <b>a) Pandeo en el plano de la estructura</b>   |  |  |
| Caso 1<br>   | Cordón comprimido  | 1.0  |
| Caso 2<br>   | Diagonales extremas  | 1.0  |
| Caso 3<br>   | Montantes y diagonales   | 0.8  |
| Caso 4<br>   | Barra que se cruza sobre otra con condiciones de unión                                   | Se considera el punto del cruce como inmovilizado          |
| <b>b) Pandeo perpendicular al plano de la estructura</b>                                      |  |  |
| Caso 1<br> | Cordón comprimido  | 1.0  |
| Caso 2<br> | Cordón con nudo intermedio inmovilizado con esfuerzos $N_1$ , $N_2$ y ( $N_1 > N_2$ )    | $0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1}$                              |
| Caso 3<br> | Montantes y diagonales   | 1.0  |
| Caso 4<br> | Diagonal que se cruza sobre otra sometida a tracción ( $N_t$ ) con condiciones de unión. | $\sqrt{1 - 0.75 \frac{N_t}{N} \frac{d}{d_t}} \not\leq 0.5$ |
| Caso 5<br> | Montantes con esfuerzos $N_1$ , $N_2$ y ( $N_1 > N_2$ )                                  | $0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1} \not\leq 0.5$                 |

### 3.2.4.3 Pilares de estructuras porticadas de una altura

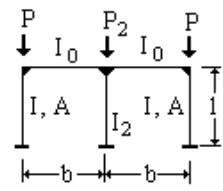
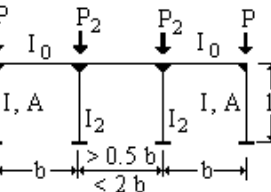
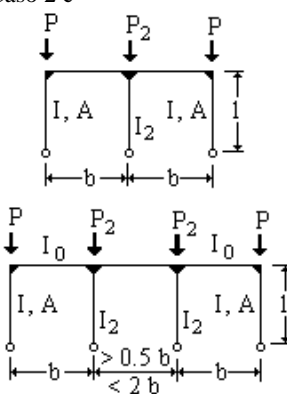
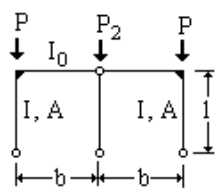
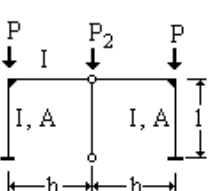
En la tabla 3.2.4.3 se resumen los valores del coeficiente de esbeltez  $\lambda$ , para los pilares de algunos tipos de estructuras porticadas de una altura. En todas ellas se supone que los nudos del pórtico tienen libertad de giros y corrimientos dentro del plano del pórtico y que están impedidos los corrimientos en dirección perpendicular a dicho plano.

**Tabla 3.2.4.3A.- Coeficientes de esbeltez  $\beta$  en soportes de estructuras porticadas de una altura.**

| Forma del pórtico   | Coeficiente $\beta$  | Magnitudes auxiliares   |
|---|--|---|
| <p>Caso 1 a</p>    | $\sqrt{0.51(1+m)} \cdot \sqrt{4 + 1.4(c+6s) + 0.02(c+6s)^2}$   | $m = \frac{P_1}{P} \leq 1$ $c = \frac{I_b}{I_o \cdot 1} \leq 10$ $s = \frac{4I}{b^2 A} \leq 0.2$  |
| <p>Caso 1 b</p>    | $\sqrt{4 + 1.4(c+6s) + 0.02(c+6s)^2}$                          | $c = \frac{2I_b}{I_o \cdot 1} \leq 10$ $s = \frac{I}{b^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_1} \right) \leq 0.2$                            |
| <p>Caso 1 c</p>   | $\sqrt{0.51(1+m)} \cdot \sqrt{1 + 0.35(c+6s) - 0.017(c+6s)^2}$ | $m = \frac{P_1}{P} \leq 1$ $c = \frac{I_b}{I_o \cdot 1} \leq 10$ $s = \frac{4I}{b^2 A} \leq 0.2$  |
| <p>Caso 1 d</p>  | $\sqrt{1 + 0.35(c+6s) + 0.017(c+6s)^2}$                        | $c = \frac{2I_b}{I_o \cdot 1} \leq 10$ $s = \frac{I}{b^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_1} \right) \leq 0.2$                            |
| <p>Caso 1 e</p>  | $\sqrt{1 + 0.96n} \cdot \sqrt{4 + 1.4(c+6s) + 0.02(c+6s)^2}$   | $n = \frac{P_2}{P} \leq 2$ $c = \frac{2I_b}{I_o \cdot 1} \leq 10$ $s = \frac{I}{b^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_1} \right) \leq 0.2$ |
| <p>Caso 1 f</p>  | $\sqrt{1 + 0.86n} \cdot \sqrt{1 + 0.35(c+6s) - 0.017(c+6s)^2}$ | $n = \frac{P_2}{P} \leq 2$ $c = \frac{2I_b}{I_o \cdot 1} \leq 10$ $s = \frac{I}{b^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_1} \right) \leq 0.2$ |

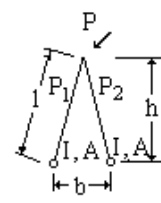
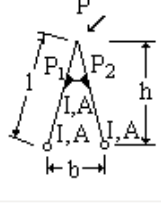
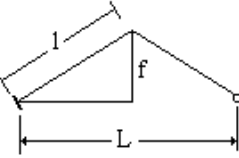
|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Caso 1 g</p>  | $\sqrt{0.5(1+m)} \cdot \sqrt{4 + 1.4(c + 6s) + 0.02(c + 6s)^2}$ | <p>Se tomará como esfuerzo de compresión el valor de <math>V_2</math>, <math>m = 1</math></p> |
|---|---|---|

**Tabla 3.2.4.3B.- Coeficientes de esbeltez  $\beta$  en soportes de estructuras porticadas de una altura.**

| Forma del pórtico   | Coeficiente $\beta$   | Magnitudes auxiliares  |
|---|---|--|
| <p>Caso 2 a</p>    | <p>En los soportes extremos:</p> $\frac{1 + 0.4c_n}{1 + 0.2c_n} \sqrt{\frac{2+p}{2+t}} \leq 3$ <p>En el soporte intermedio:</p> $\frac{1 + 0.4c_n}{1 + 0.2c_n} \sqrt{\frac{2+p}{2+t}} \sqrt{\frac{t}{p}} \leq 3$    | $c_n = c + \frac{9}{4}s$ $p = \frac{P_2}{P}$ $t = \frac{I_2}{I}$   |
| <p>Caso 2 b</p>    | <p>En los soportes extremos:</p> $\frac{1 + 0.4c_n}{1 + 0.2c_n} \sqrt{\frac{1+p}{1+t}} \leq 3$ <p>En los soportes intermedios:</p> $\frac{1 + 0.4c_n}{1 + 0.2c_n} \sqrt{\frac{1+p}{1+t}} \sqrt{\frac{t}{p}} \leq 3$ | $c = \frac{I \cdot b}{I_o \cdot l} \leq 10$ $s = \frac{4I}{b^2 A} \leq 0.2$  |
| <p>Caso 2 c</p>  | <p>Como en 2a y 2b</p> $\frac{1 + 0.4c_n}{1 + 0.2c_n} \text{ por } \frac{6 + 1.2c_n}{3 + 0.1c_n}$ <p>sustituyendo</p> <p>Límite de validez <math>\beta \leq 6</math></p>  | $c_n = c + \frac{9}{4}s$ $p = \frac{P_2}{P}$ $t = \frac{I_2}{I}$ $c = \frac{I \cdot b}{I_o \cdot l} \leq 10$ $s = \frac{4I}{b^2 A} \leq 0.2$ |
| <p>Caso 2 d</p>  | $\sqrt{0.51(1+m)} \times \sqrt{4 + 1.4(c + 6s) + 0.02(c + 6s)^2} \times \sqrt{1 + 0.48 \cdot n}$  | $m = \frac{P_1}{P} \leq 1$ $c = \frac{I \cdot b}{I_o \cdot l} \leq 10$ $s = \frac{4I}{b^2 A} \leq 0.2$ $n = \frac{P_2}{P} \leq 2$            |
| <p>Caso 2 e</p>  | $\sqrt{0.51(1+m)} \times \sqrt{1 + 0.35(c + 6s) - 0.017(c + 6s)^2} \times \sqrt{1 + 0.43 \cdot n}$  | $m = \frac{P_1}{P} \leq 1$ $c = \frac{I \cdot b}{I_o \cdot l} \leq 10$ $s = \frac{4I}{b^2 A} \leq 0.2$ $n = \frac{P_2}{P} \leq 2$            |



**Tabla 3.2.4.3C.- Coeficientes de esbeltez  $\beta$  en soportes de estructuras porticadas de una altura.**

| Forma del pórtico   | Coeficiente $\beta$   | Magnitudes auxiliares   |
|---|---|---|
| <p>Caso 3 a</p>  | $0.80 + 0.05 \left( 1 + \frac{P_2}{P_1} \right)^2$  | <p>Para P vertical<br/> <math>P_2/P_1 = +1</math><br/>                     Para P horizontal<br/> <math>P_2/P_1 = -1</math></p> |
| <p>Caso 3 b</p>  | $0.44 + 0.12 \left( 1 + \frac{P_2}{P_1} \right) + 0.03 \left( 1 + \frac{P_2}{P_1} \right)^2$        |   |
| <p>Caso 3 c</p>  | <p><math>\beta = 1</math><br/>                     Validez: <math>0.05 \leq f/L \leq 0.2</math></p> | <p>Se tomará como valor del esfuerzo de compresión el correspondiente al cuarto de la luz</p>                                   |

#### 3.2.4.4 Pilares de los edificios

En una estructura de edificación constituida por vigas y pilares se toma como longitud  $l$  de un pilar la distancia entre las caras superiores de dos forjados consecutivos, o la distancia entre el apoyo de la base en el cimiento y la cara superior del primer forjado.

En el extremo superior o en el inferior de un pilar, con unión rígida en el nudo, se define como grado de empotramiento  $k$  del pilar en el plano del pórtico el valor:

$$k = \frac{\frac{I_v}{l_v} + \frac{I_w}{l_w}}{\frac{I}{l} + \frac{I_p}{l_p} + \frac{I_v}{l_v} + \frac{I_w}{l_w}}$$

donde:

$I, l$  son el momento de inercia y la longitud del pilar, respectivamente;  
 $I_p, l_p$  los del pilar superior o inferior en el nudo;  
 $I_v, l_v$  los de la viga izquierda, si ésta está unida rígidamente;  
 $I_w, l_w$  los de la viga derecha, si ésta está unida rígidamente.

No se incluyen en la expresión de  $k$  los términos de las vigas o pilares que no existen, o no están rígidamente unidos. En un pilar es  $k = 0$  si la unión del extremo considerado al nudo no es rígida o si enlaza a una rótula en la cimentación, y  $k = 1$  si se empotra en la cimentación.

En una estructura de nudos no rígidos con recuadros arriostrados, por triangulaciones o por macizado con muros, según 3.1.1.1 se tomará para sus pilares:

$$\beta = 1$$

Si la estructura tiene algunos nudos rígidos, el coeficiente  $\beta$  de un pilar cuyo grado de empotramiento en el nudo superior sea  $k_1$ , y en el nudo inferior  $k_2$ , puede calcularse por la expresión:

$$\beta = \frac{3 - 1.6(k_1 + k_2) + 0.84k_1k_2}{3 - (k_1 + k_2) + 0.28k_1k_2}$$

cuyos valores vienen expresados en la tabla 3.2.4.4.A.

En una estructura sin recuadros arriostrados por triangulaciones o por macizos con muros, cuya estabilidad se confíe a pórticos con nudos rígidos, en estos pórticos el coeficiente  $\beta$  de un pilar, cuyo grado de empotramiento en el nudo superior sea  $k_1$ , y en el nudo inferior  $k_2$ , puede calcularse por la expresión:

$$\beta = \sqrt{\frac{1.6 + 2.4(k_1 + k_2) + 1.1k_1k_2}{(k_1 + k_2) + 5.5k_1k_2}}$$

cuyos resultados vienen expresados en la tabla 3.2.4.4.B.

Para los restantes pilares se tomará  $\beta=1$ .

**Tabla 3.2.4.4.A.- Coeficiente de esbeltez  $\beta$  para pilares de estructuras con recuadros arriostrados**

| Grado de empotramiento en el nudo inferior $k_1$ | Coeficiente $\beta$ , siendo el grado de empotramiento en el nudo superior $k_2$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 0.0  | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  |
| 0.0  | 1.00   | 0.97 | 0.95 | 0.93 | 0.90 | 0.88 | 0.85 | 0.81 | 0.78 | 0.74 | 0.70 |
| 0.1  | 0.97   | 0.95 | 0.93 | 0.91 | 0.88 | 0.86 | 0.83 | 0.80 | 0.76 | 0.72 | 0.69 |
| 0.2  | 0.95   | 0.93 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.84 | 0.81 | 0.78 | 0.75 | 0.71 | 0.67 |
| 0.3  | 0.93   | 0.91 | 0.89 | 0.87 | 0.84 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.69 | 0.66 |
| 0.4  | 0.90   | 0.88 | 0.86 | 0.84 | 0.82 | 0.80 | 0.77 | 0.74 | 0.71 | 0.67 | 0.64 |
| 0.5  | 0.88   | 0.86 | 0.84 | 0.82 | 0.80 | 0.77 | 0.75 | 0.72 | 0.69 | 0.65 | 0.63 |
| 0.6  | 0.85   | 0.83 | 0.81 | 0.79 | 0.77 | 0.75 | 0.72 | 0.70 | 0.67 | 0.63 | 0.61 |
| 0.7  | 0.81   | 0.80 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.67 | 0.64 | 0.61 | 0.58 |
| 0.8  | 0.78   | 0.76 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.64 | 0.61 | 0.58 | 0.56 |
| 0.9  | 0.74   | 0.72 | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 | 0.63 | 0.61 | 0.58 | 0.56 | 0.53 |
| 1.0  | 0.70   | 0.69 | 0.67 | 0.66 | 0.64 | 0.63 | 0.61 | 0.58 | 0.56 | 0.53 | 0.50 |

**Tabla 3.2.4.4.B Coeficiente de esbeltez  $\beta$  para pilares de estructuras sin recuadros arriostrados**

| Grado de empotramiento en el nudo inferior $k_1$ | Coeficiente $\beta$ , siendo el grado de empotramiento en el nudo superior $k_2$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 0.0  | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  |
| 0.0  | -  | 4.29 | 3.23 | 2.78 | 2.53 | 2.37 | 2.24 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 2.00 |
| 0.1  | 4.29   | 2.89 | 2.39 | 2.15 | 1.98 | 1.88 | 1.80 | 1.74 | 1.69 | 1.66 | 1.62 |
| 0.2  | 3.23   | 2.39 | 2.05 | 1.85 | 1.78 | 1.64 | 1.58 | 1.53 | 1.49 | 1.46 | 1.43 |
| 0.3  | 2.78   | 2.15 | 1.85 | 1.69 | 1.56 | 1.52 | 1.44 | 1.40 | 1.36 | 1.33 | 1.31 |
| 0.4  | 2.53   | 1.98 | 1.73 | 1.56 | 1.48 | 1.41 | 1.35 | 1.31 | 1.28 | 1.24 | 1.22 |
| 0.5  | 2.37   | 1.88 | 1.64 | 1.52 | 1.41 | 1.34 | 1.29 | 1.24 | 1.21 | 1.18 | 1.16 |
| 0.6  | 2.24   | 1.80 | 1.58 | 1.44 | 1.35 | 1.29 | 1.24 | 1.20 | 1.16 | 1.14 | 1.11 |
| 0.7  | 2.17   | 1.74 | 1.53 | 1.40 | 1.31 | 1.24 | 1.20 | 1.16 | 1.12 | 1.10 | 1.08 |
| 0.8  | 2.10   | 1.69 | 1.49 | 1.36 | 1.28 | 1.21 | 1.16 | 1.12 | 1.09 | 1.07 | 1.05 |

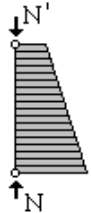
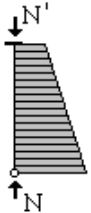
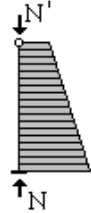
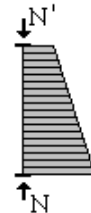
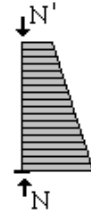
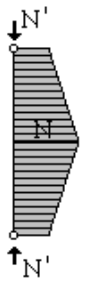
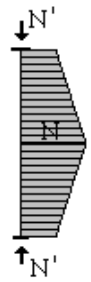
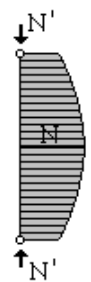
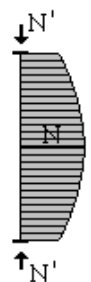
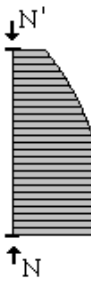
|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.9 | 2.04 | 1.66 | 1.46 | 1.33 | 1.24 | 1.18 | 1.14 | 1.10 | 1.07 | 1.04 | 1.02 |
| 1.0 | 2.00 | 1.62 | 1.43 | 1.31 | 1.22 | 1.16 | 1.11 | 1.08 | 1.05 | 1.02 | 1.00 |

### 3.2.4.5 Piezas de sección constante sometidas a compresión variable

En una pieza solicitada por un esfuerzo normal de compresión variable en forma lineal o parabólica a lo largo de su directriz, el coeficiente  $\beta$  se tomará de la tabla 3.2.4.5.

El cálculo de la pieza se hará considerando el máximo esfuerzo normal ponderado  $N^*_{\max}$  que actúa sobre ella. Para que sea aplicable este procedimiento abreviado es necesario que el esfuerzo normal conserve invariable su dirección durante el pandeo. Esta condición puede, en general, darse por satisfecha en el estudio simplificado del pandeo, fuera del plano de la viga, de los cordones comprimidos de vigas y ménsulas de alma llena que no estén arriostrados transversalmente.

**Tabla 3.2.4.5 Piezas de sección constante con esfuerzo normal variable**

| $\beta = \sqrt{\frac{1 + CN'/N}{K}}$ Coeficiente según el caso |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
| C  | 0.880   | 0.510   | 1.650   | 0.930   | 2.180   |
| K  | 1.880   | 3.090   | 5.420   | 7.720   | 0.800   |
| N'/N   |   |   |   |   |   |
| 0.0  | 0.729   | 0.569   | 0.429   | 0.359   | 1.122   |
| 0.1  | 0.761   | 0.582   | 0.462   | 0.376   | 1.238   |
| 0.2  | 0.792   | 0.596   | 0.495   | 0.392   | 1.346   |
| 0.3  | 0.818   | 0.610   | 0.524   | 0.407   | 1.440   |
| 0.4  | 0.846   | 0.623   | 0.553   | 0.421   | 1.532   |
| 0.5  | 0.875   | 0.636   | 0.579   | 0.434   | 1.620   |
| 0.6  | 0.901   | 0.648   | 0.605   | 0.449   | 1.704   |
| 0.7  | 0.927   | 0.663   | 0.629   | 0.462   | 1.784   |
| 0.8  | 0.950   | 0.675   | 0.654   | 0.474   | 1.856   |
| 0.9  | 0.975   | 0.687   | 0.676   | 0.488   | 1.928   |
| 1.0  | 1.000   | 0.700   | 0.700   | 0.500   | 2.000   |
| C  | 2.180   | 0.930   | 1.090   | 0.350   | 1.090   |
| K  | 3.180   | 7.720   | 2.090   | 5.400   | 0.520   |
| N'/N   |  |  |  |  |  |
| 0.0  | 0.561   | 0.359   | 0.692   | 0.430   | 1.384   |
| 0.1  | 0.619   | 0.376   | 0.728   | 0.436   | 1.456   |
| 0.2  | 0.673   | 0.392   | 0.764   | 0.445   | 1.528   |

|     |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.3 | 0.720 | 0.407 | 0.797 | 0.451 | 1.594 |
| 0.4 | 0.766 | 0.421 | 0.830 | 0.459 | 1.660 |
| 0.5 | 0.810 | 0.434 | 0.858 | 0.465 | 1.716 |
| 0.6 | 0.852 | 0.449 | 0.888 | 0.473 | 1.776 |
| 0.7 | 0.892 | 0.462 | 0.917 | 0.479 | 1.834 |
| 0.8 | 0.928 | 0.474 | 0.946 | 0.486 | 1.892 |
| 0.9 | 0.964 | 0.488 | 0.973 | 0.492 | 1.946 |
| 1.0 | 1.000 | 0.500 | 1.000 | 0.500 | 2.000 |

### 3.2.4.6 Piezas de sección constante sometidas a cargas puntuales

En el caso de compresión producida por la actuación de una carga puntual actuando un punto intermedio de la pieza, la longitud de pandeo  $l_k$  se calculará mediante la expresión:

$$l_k = \beta l$$

donde:

$\beta$  es el coeficiente de esbeltez que se obtiene;  $l$  es la longitud de la pieza de la tabla 3.2.4.6 en función de la pieza en sus extremos y de la relación  $l_1/l$  que define la posición de la carga.

En el caso de actuación de  $n$  cargas puntuales  $P_i$  el coeficiente de esbeltez  $\beta$  es:

$$\beta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i^2}$$

donde:

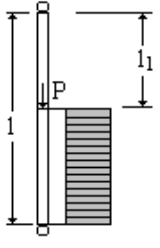
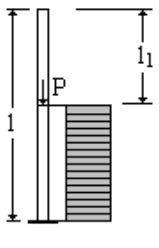
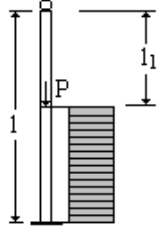
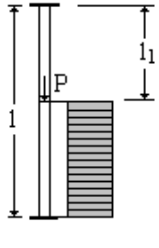
$$\alpha_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$\beta_i$  es el coeficiente correspondiente a  $P_i$  como si actuase aisladamente.

En la tabla 3.2.4.6 se recogen los valores de  $\beta^2$  en función de la vinculación de la pieza y de la relación  $l_1/l$  que define la posición de cada una de las cargas puntuales.

El cálculo de la pieza se hará considerando el máximo esfuerzo normal ponderado que actúa sobre ella.

**Tabla 3.2.4.6 Piezas con una carga puntual intermedia**

|         |   |           |   |           |  |           |   |           |
|---------|---|-----------|---|-----------|--|-----------|---|-----------|
|         |  |           |  |           |  |           |  |           |
| $l_1/l$ | <b>Pieza biarticulada</b>   |           | <b>Pieza libre y empotrada</b>  |           | <b>Pieza empotrada y apoyada</b>   |           | <b>Pieza biempotrada</b>  |           |
|         | $\beta$   | $\beta^2$ | $\beta$   | $\beta^2$ | $\beta$  | $\beta^2$ | $\beta$   | $\beta^2$ |
| 0.0     | 1.000   | 1.000     | 2.000   | 4.000     | 0.699  | 0.4896    | 0.500   | 0.2500    |
| 0.1     | 0.898   | 0.806     | 1.800   | 3.240     | 0.605  | 0.3662    | 0.494   | 0.2446    |
| 0.2     | 0.805   | 0.649     | 1.600   | 2.560     | 0.533  | 0.2850    | 0.471   | 0.2219    |

|     |       |       |       |       |       |        |       |        |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 0.3 | 0.741 | 0.549 | 1.400 | 1.960 | 0.481 | 0.2319 | 0.430 | 0.1851 |
| 0.4 | 0.711 | 0.506 | 1.200 | 1.440 | 0.458 | 0.2101 | 0.387 | 0.1502 |
| 0.5 | 0.707 | 0.500 | 1.000 | 1.000 | 0.456 | 0.2085 | 0.364 | 0.1326 |
| 0.6 | 0.703 | 0.494 | 0.800 | 0.640 | 0.440 | 0.1942 | 0.362 | 0.1311 |
| 0.7 | 0.671 | 0.451 | 0.600 | 0.360 | 0.392 | 0.1543 | 0.340 | 0.1159 |
| 0.8 | 0.592 | 0.351 | 0.400 | 0.160 | 0.306 | 0.0938 | 0.279 | 0.0781 |
| 0.9 | 0.440 | 0.194 | 0.200 | 0.040 | 0.173 | 0.0310 | 0.168 | 0.0285 |
| 1.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.0000 |

### 3.2.5 Esbeltez mecánica de una pieza

La esbeltez mecánica de una pieza simple de sección constante se determinará según 3.2.5.1, la de una pieza compuesta de sección constante según 3.2.5.2 y 3.2.5.3, la de una pieza de sección variable según 3.2.5.4 y la de piezas simples con sección abierta de pequeño espesor según 3.2.5.5.

Si un pilar tiene en su plano y a ambos lados muros de las características definidas en 3.1.1.1, no es preciso considerar el pandeo en dicho plano.

#### 3.2.5.1 Pieza simple de sección constante

Esbeltez mecánica de una pieza simple de sección constante en un plano perpendicular a un eje de inercia de la sección es el valor constante:

$$\lambda = l_k / i$$

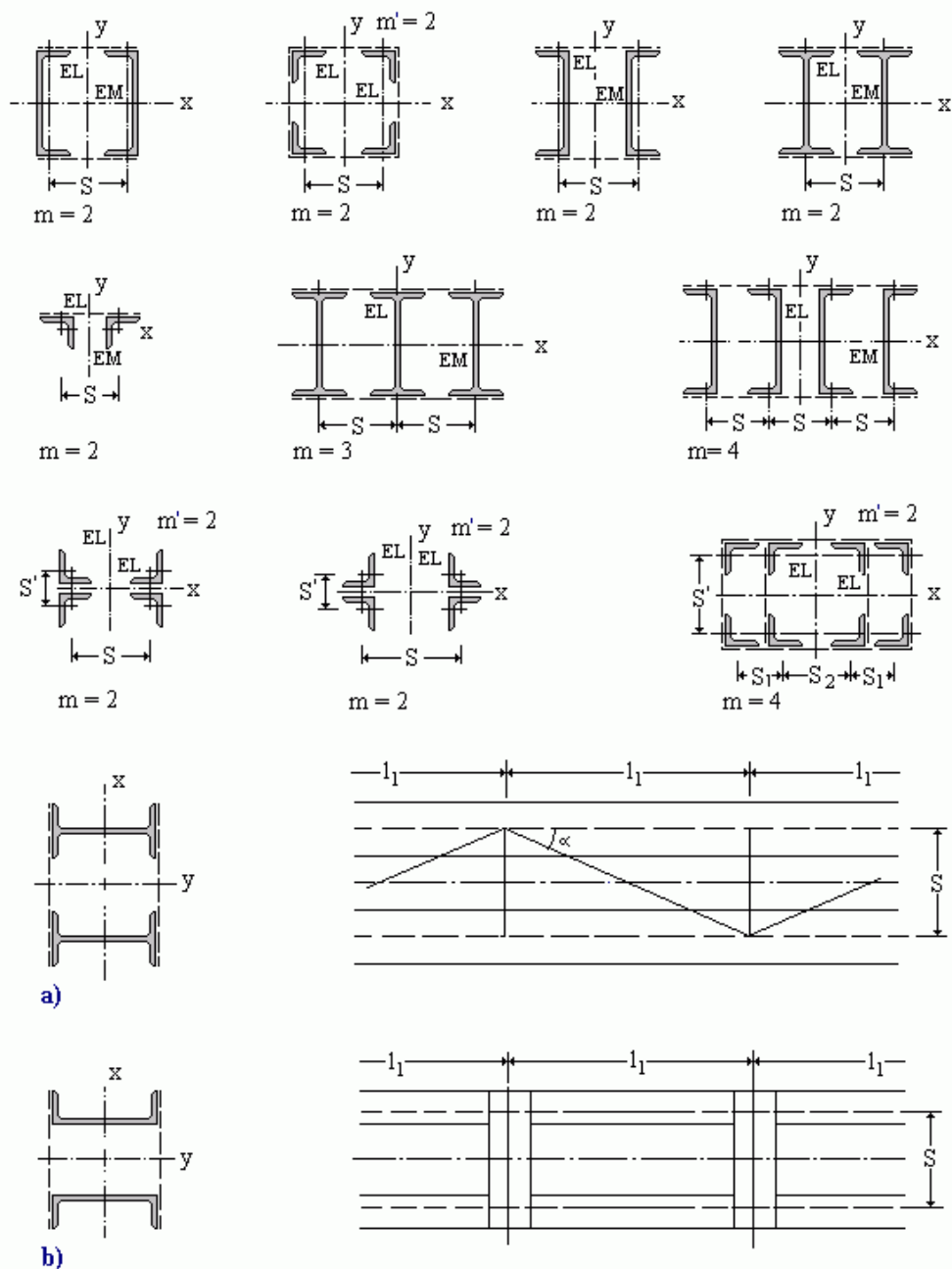
donde:

$l_k$  es la longitud de pandeo en dicho plano, determinada según 3.2.4;

$i$  es el radio de giro de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia considerado.

#### 3.2.5.2 Pieza compuesta de sección constante

En las piezas compuestas se denomina eje de inercia material EM al que pasa por el baricentro de las secciones de todos los perfiles simples que forman la pieza. Al eje que no cumple esta condición se le denomina eje de inercia libre EL (figura 3.2.5.2).



**Figura 3.2.5.2.- Secciones de piezas compuestas**

La esbeltez mecánica de una pieza compuesta en un plano perpendicular a un eje de inercia material es el valor  $\lambda = l_k/i$

donde:

$l_k$  es la longitud de pandeo en el plano considerado, determinada según 3.2.4;

$i$  es el radio de giro de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia material considerado.

Esbeltez mecánica ideal  $\lambda_i$  de una pieza compuesta en un plano perpendicular a un eje de inercia libre es el valor:

$$\lambda = \sqrt{\left(\frac{l_k}{i}\right)^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

donde:

$l_k$  es la longitud de pandeo de la pieza en el plano considerado según 3.2.4;

$i$  es el radio de giro de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia libre considerado.

$m$  es el número de perfiles simples cortados por el plano de pandeo considerado;

$\lambda_1$  es la esbeltez complementaria calculada, según se indica en 3.2.5.3.

### 3.2.5.3 Esbeltez complementaria

La esbeltez complementaria  $\lambda_1$  en una pieza compuesta se calcula, en función del tipo de enlace, mediante las expresiones siguientes:

Presillas (figura 3.2.1.2.A)

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}$$

Diagonales desiguales (figura 3.2.1.2.B.a)

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{A}{n l_1 s^2} \left( \frac{d_1^3}{A_{D1}} + \frac{d_2^3}{A_{D2}} \right)}$$

Diagonales iguales (figura 3.2.1.2.B.b)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{2 \frac{A}{n A_D} \cdot \frac{d^3}{l_1 s^2}}$$

Diagonales dobles unidas (figura 3.2.1.2.B.c)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{2 n A_D} \cdot \frac{d^3}{l_1 s^2}}$$

Diagonales contrapuestas en dos celosías (figura 3.2.1.2.B.d)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{A_D} \cdot \frac{d^3}{l_1 s^2}}$$

Montantes y diagonales (figura 3.2.1.2.B.e)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{n l_1 s^2} \left( \frac{d^3}{A_D} + \frac{s^3}{A_M} \right)}$$

Montantes sueltos y diagonales (figura 3.2.1.2.B.f)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{n A_D} \cdot \frac{d^3}{l_1 s^2}}$$

Montantes y jabalcones (figura 3.2.1.2.B.g)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{2 n l_1 s^2} \left( \frac{d^3}{A_D} + \frac{s^3}{A_M} \right)}$$

donde:

- $l_1$  es la máxima luz parcial del cordón;
- $i_1$  es el radio de giro mínimo del cordón;
- $A$  es el área de la sección bruta de todos los cordones;
- $A_D$ ,  $A_{D1}$  y  $A_{D2}$  son las áreas de la sección bruta de una diagonal;
- $A_M$  es el área de la sección bruta de un montante;
- $d$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  son las longitudes de una diagonal;
- $n$  es el número de planos de presillas iguales;
- $s$  es la separación entre ejes de dos perfiles simples consecutivos en una pieza compuesta.

### 3.2.5.4 Pieza de sección variable

La esbeltez mecánica de una pieza de sección variable, con extremos articulados, se calculará tomando como valor del radio de giro el siguiente:

$$i = \sqrt{\frac{c \cdot I_{\max}}{A_m}}$$

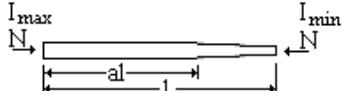
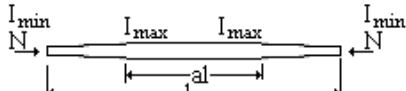
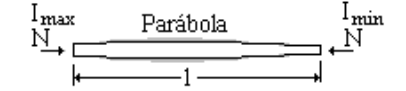
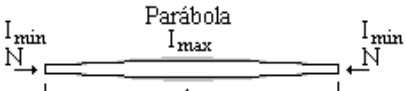
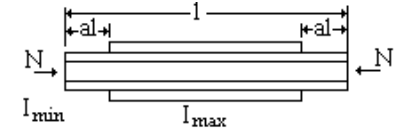
donde:

$I_{\max}$  es el momento de inercia máximo respecto al eje normal al plano de pandeo considerado;

$A_m = \int_0^l A_x \frac{dx}{l}$  valor medio a lo largo de la pieza, de la sección bruta;

$c$  es un coeficiente función de los parámetros  $a$  y  $v$ , cuyos valores vienen recogidos en la tabla 3.2.5.4.

**Tabla 3.2.5.4 Coeficiente  $c$  en piezas de sección variable**

| Variación de la sección   | Coeficiente $c$ siendo $v = \sqrt{I_{\min} : I_{\max}}$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | $v/a$   | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.8   | 0.9   | 1.0   |
|   | 0.0   | 0.121 | 0.220 | 0.316 | 0.412 | 0.509 | 0.606 | 0.703 | 0.801 | 0.900 | 1.000 |
|   | 0.1   | 0.140 | 0.247 | 0.348 | 0.447 | 0.542 | 0.636 | 0.729 | 0.820 | 0.911 | 1.000 |
|   | 0.2   | 0.166 | 0.284 | 0.391 | 0.490 | 0.585 | 0.675 | 0.761 | 0.844 | 0.923 | 1.000 |
|   | 0.3   | 0.203 | 0.333 | 0.446 | 0.547 | 0.639 | 0.722 | 0.800 | 0.871 | 0.938 | 1.000 |
|   | 0.4   | 0.257 | 0.403 | 0.521 | 0.620 | 0.705 | 0.779 | 0.844 | 0.902 | 0.953 | 1.000 |
|   | 0.5   | 0.340 | 0.502 | 0.620 | 0.711 | 0.784 | 0.843 | 0.892 | 0.933 | 0.969 | 1.000 |
|   | 0.6   | 0.477 | 0.641 | 0.745 | 0.815 | 0.867 | 0.906 | 0.936 | 0.961 | 0.982 | 1.000 |
|   | 0.7   | 0.697 | 0.814 | 0.875 | 0.913 | 0.938 | 0.957 | 0.971 | 0.983 | 0.992 | 1.000 |
|   | 0.8   | 0.922 | 0.951 | 0.966 | 0.976 | 0.983 | 0.988 | 0.992 | 0.995 | 0.998 | 1.000 |
|   | $\geq 0.9$  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
|  | 0.0   | 0.259 | 0.389 | 0.493 | 0.583 | 0.665 | 0.740 | 0.810 | 0.877 | 0.940 | 1.000 |
|   | 0.1   | 0.308 | 0.448 | 0.555 | 0.643 | 0.719 | 0.786 | 0.846 | 0.902 | 0.953 | 1.000 |
|   | 0.2   | 0.371 | 0.520 | 0.625 | 0.707 | 0.775 | 0.832 | 0.881 | 0.925 | 0.965 | 1.000 |
|   | 0.3   | 0.453 | 0.605 | 0.703 | 0.775 | 0.830 | 0.867 | 0.914 | 0.947 | 0.975 | 1.000 |
|   | 0.4   | 0.558 | 0.702 | 0.784 | 0.841 | 0.883 | 0.915 | 0.942 | 0.965 | 0.984 | 1.000 |
|   | 0.5   | 0.686 | 0.801 | 0.861 | 0.900 | 0.927 | 0.948 | 0.965 | 0.979 | 0.990 | 1.000 |
|   | 0.6   | 0.819 | 0.890 | 0.925 | 0.946 | 0.962 | 0.973 | 0.982 | 0.989 | 0.995 | 1.000 |
|   | 0.7   | 0.925 | 0.954 | 0.968 | 0.978 | 0.984 | 0.989 | 0.992 | 0.996 | 0.998 | 1.000 |
|   | 0.8   | 0.982 | 0.988 | 0.992 | 0.994 | 0.996 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1.000 |
|   | $\geq 0.9$  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
|  | -   | 0.273 | 0.402 | 0.506 | 0.595 | 0.676 | 0.749 | 0.817 | 0.882 | 0.942 | 1.000 |
|  | -   | 0.536 | 0.652 | 0.728 | 0.786 | 0.834 | 0.875 | 0.911 | 0.943 | 0.973 | 1.000 |
|  | 0.1   | 0.221 | 0.626 | 0.846 | 0.924 | 0.958 | 0.976 | 0.986 | 0.993 | 0.997 | 1.000 |
|   | 0.2   | 0.060 | 0.220 | 0.421 | 0.605 | 0.743 | 0.837 | 0.902 | 0.946 | 0.977 | 1.000 |
|   | 0.3   | 0.027 | 0.105 | 0.221 | 0.359 | 0.502 | 0.635 | 0.753 | 0.852 | 0.933 | 1.000 |
|   | 0.4   | 0.016 | 0.061 | 0.134 | 0.231 | 0.345 | 0.472 | 0.606 | 0.741 | 0.873 | 1.000 |
|   | 0.5   | 0.010 | 0.040 | 0.090 | 0.160 | 0.250 | 0.360 | 0.490 | 0.640 | 0.810 | 1.000 |



### 3.2.5.5 Piezas de sección abierta

#### **Piezas simples de sección abierta**

En las piezas simples con sección abierta de pequeño espesor, sometidas a compresión centrada, será necesaria la consideración del pandeo por torsión o con flexión y torsión. Para ello el cálculo de su esbeltez se efectuará de acuerdo con lo indicado a continuación.

El radio de torsión de la pieza, siendo los ejes de inercia principales X e Y, es:

$$i_T = \sqrt{\left( \frac{I_A}{I_y} \left( \frac{\beta l}{\beta_0 d_0} \right)^2 + 0.039(\beta l)^2 \right) \cdot \frac{I_T}{I_y}}$$

donde:

$I_A$  es el módulo de alabeo de la sección referido al centro de esfuerzo cortantes;

$I_T$  es el módulo de torsión  $I_T = 1/3 \sum b_i e_i^3$

en la que:

$b_i$  y  $e_i$  son los anchos y espesores, respectivamente, de los distintos rectángulos en que puede considerarse descompuesta la sección;

$I_y$  es el momento de inercia de la sección con respecto al eje principal que lo tenga menor;

$l$  es la longitud de la pieza;

$\beta$  es un coeficiente que mide la coacción a la flexión en los extremos de la pieza;  $\beta=1$  significa apoyo articulado;  $\beta=0.5$ , apoyo perfectamente empotrado;

$\beta_0$  es un coeficiente que mide la coacción al alabeo en los extremos de la pieza;  $\beta_0=1$  corresponde a un alabeo libre de las secciones extremas;  $\beta_0=0.5$  a un alabeo totalmente impedido en las mismas;

$d_0$  es la distancia, medida en el plano, entre centros de gravedad de los roblones, tornillos o cordones de soldadura de los extremos normales de la pieza; con suficiente aproximación en la práctica puede tomarse  $d_0=0.8l$ .

Las expresiones  $I_A$  e  $I_T$  y las coordenadas  $x_0$ ,  $y_0$  del centro de esfuerzos cortantes, referidos al baricentro, se dan en la tabla 3.2.5.5.

#### **Piezas simples con sección abierta de pequeño espesor con doble simetría o simetría puntual:**

En piezas simples con sección abierta de pequeño espesor con simetría doble o puntual, el centro de esfuerzos cortantes coincide con el baricentro (casos 1 y 2 de la tabla 3.2.5.5). En ellas puede presentarse un pandeo por torsión pura cuando se cumple que:

$$i_0 > i_T$$

donde:

$i_0$  es el radio de giro polar  $i_0 = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$

En este caso, la esbeltez de la pieza se tomará:

$$\lambda = \beta \frac{1}{i_y} \frac{i_0}{i_T}$$

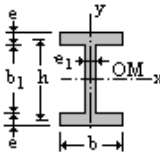
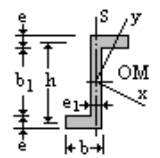
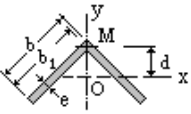
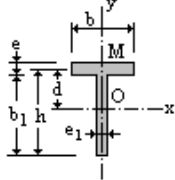
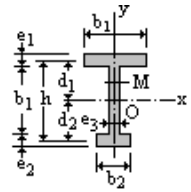
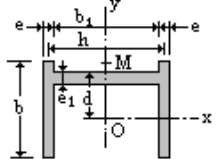
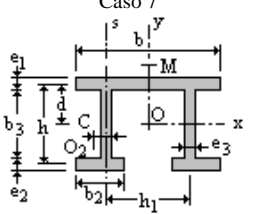
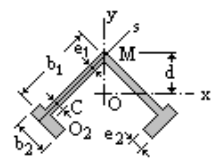
donde:

$i_y$  es el radio de giro de la sección respecto al eje principal de inercia que lo tenga mayor.

#### **Piezas simples con sección abierta de pequeño espesor, con un solo eje de simetría:**

En este tipo de piezas (casos 3 a 8 de la tabla 3.2.5.5) en las que el centro de esfuerzos cortantes no coincide, en general, con el baricentro, si el pandeo se produce en un plano distinto al de simetría se presenta un pandeo con flexión y torsión, cuyo cálculo se efectuará de acuerdo con 4.5.

**Tabla 3.2.5.5 Características de torsión de algunas secciones**

| Sección   | Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes M   | Módulo de torsión $I_T$<br>$\text{cm}^4$                        | Módulo de alabeo $I_A$ $\text{cm}^6$  |
|---|---|---|---|
| <p>Caso 1</p>    | $x_0=0$<br>$y_0=0$  | $\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$                                    | $I_y \frac{h^2}{4}$   |
| <p>Caso 2</p>    | $x_0=0$<br>$y_0=0$  | $\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$                                    | $I_A = \frac{b^3 h^2 e}{12} \cdot \frac{be + 2he_1}{2be + he_1}$  |
| <p>Caso 3</p>    | $x_0=0$<br>$y_0=d$  | $\frac{2b_1e^3}{3}$   | $\frac{b_1^3 e^3}{18}$  |
| <p>Caso 4</p>   | $x_0=0$<br>$y_0=d$  | $\frac{be^3 + b_1e_1^3}{3}$                                     | $\frac{b^3 e^3}{144} + \frac{h^3 e_1^3}{36}$  |
| <p>Caso 5</p>  | $x_0=0$<br>$y_0 = \frac{d_1 I_{1y} - d_2 I_{2y}}{I_{1y} + I_{2y}}$                              | $\frac{b_1 e_1^3 + b_2 e_2^3 + b_3 e_3^3}{3}$                   | $\frac{I_{1y} I_{2y}}{I_{1y} + I_{2y}} h^2$   |
| <p>Caso 6</p>  | $x_0=0$<br>$y_0 = d \left( 1 + \frac{h^2 A}{4 I_y} \right)$                                     | $\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$                                    | $\left[ I_x + d^2 A \left( 1 - \frac{h^2 A}{4 I_y} \right) \right] \frac{h^2}{4}$   |
| <p>Caso 7</p>  | $x_0=0$<br>$y_0 = d \left( 1 + \frac{h^2 A}{4 I_y} \right) - 2h \frac{I_{2s}}{I_y}$             | $\frac{1 + 0.4 c_n}{1 + 0.2 c_n} \sqrt{\frac{1+p}{1+t}} \leq 3$ | $\left[ I_x + d^2 A \left( 1 - \frac{h^2 A}{4 I_y} \right) \right] \frac{h^2}{4} + 2(I_{2s} - b_1 c A_2) h^2 + \frac{I_{2s}}{I_y} h h_1^2 d A - 4 \frac{I_{2s}^2}{I_y} h^2$ |
| <p>Caso 8</p>  | $x_0=0$<br>$y_0 = d + \sqrt{2} \left( c b_1^2 \frac{A_2}{I_y} - b_1 \frac{I_{2s}}{I_y} \right)$ | $\frac{2b_1 e_1^3 + 2b_2 e_2^3}{3}$                             | $I_y (2d^2 - y_0^2) + 2I_{2s} b_1 \cdot (b_1 - 2d) + 4db_1^2 c A_2$   |

### 3.2.5.6 Recomendaciones sobre la esbeltez

Se recomienda que la esbeltez mecánica de las piezas no supere el valor 200 en los elementos principales, pero puede llegarse a 250 en los elementos secundarios o de arriostramiento.

En el caso de estructuras sometidas a cargas dinámicas, se recomienda rebajar prudentemente los valores anteriores.

### 3.2.6 Espesores de los elementos planos de piezas comprimidas

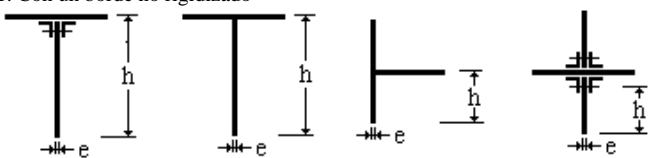
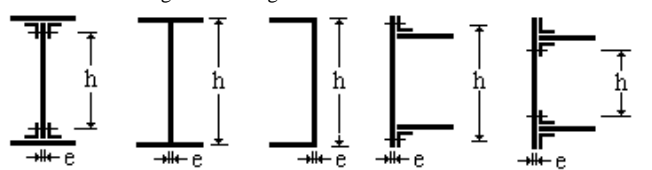
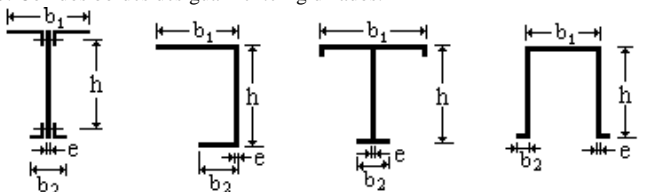
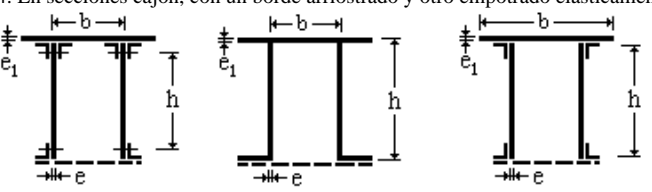
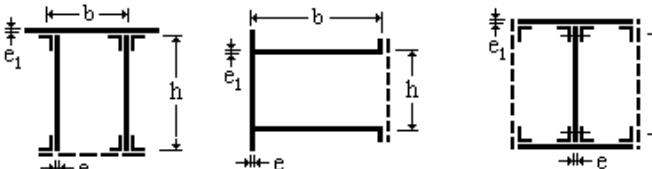
Cada elemento plano de una pieza comprimida tendrá espesor suficiente para que no sufra abolladura antes del agotamiento de la pieza por pandeo del conjunto. Se considera que un elemento plano de cualquier tipo de acero tiene espesor suficiente si cumple la limitación.

$$\frac{h}{e} \leq \eta \sqrt{\frac{2400}{\sigma_u}}$$

con los valores de  $\eta$  que se establecen en la tabla 3.2.6.

Esta limitación puede ser rebasada si se realiza una comprobación rigurosa de la abolladura.

**Tabla 3.2.6 Límite de espesor en piezas comprimidas**

| Elementos planos de las piezas   | Coefficiente $\eta$ para piezas de esbeltez mecánica $\lambda$                                 |
|--|--|
| <p>1. Con un borde no rigidizado</p>   | $0.2 \lambda \leq 15$  |
| <p>2. Con dos bordes igualmente rigidizados.</p>                                        | $0.6 \lambda \leq 45$  |
| <p>3. Con dos bordes desigualmente rigidizados.</p>                                     | $\left(0.2 + 0.4 \sqrt{\frac{b_2}{b_1}}\right) \lambda \leq 15 + 30 \sqrt{\frac{b_2}{b_1}}$    |
| <p>4. En secciones cajón, con un borde arriostrado y otro empotrado elásticamente.</p>  | $\theta = \frac{b e}{h e_1} \neq 1$<br>$(0.7 - 0.1 \theta^2) \lambda \leq 52.5 - 7.5 \theta^2$ |
| <p>5. En secciones cajón, con ambos bordes empotrados elásticamente.</p>                | $\theta = \frac{b e}{h e_1} \neq 1$<br>$(0.8 - 0.2 \theta^2) \lambda \leq 60 - 15 \theta^2$    |

### 3.2.7 Cálculo a pandeo de piezas sometidas a compresión centrada

En las piezas sometidas a compresión centrada ha de verificarse que:

$$\sigma^* = N^* \frac{\omega}{A} \leq \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero;

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado de compresión;

$A$  es el área de la sección bruta de la pieza;

$\omega$  es el coeficiente de pandeo, función de la esbeltez mecánica  $\lambda$  de la pieza determinada según 3.2.5 y del tipo de acero.

Los valores del coeficiente de pandeo para los aceros A37, A42 y A52 se dan en la tabla 3.2.7.

**Tabla 3.2.7 Coeficientes de pandeo  $\omega$  del acero**

| Tipo de<br>acero | Coeficiente $\omega$ de pandeo función de la esbeltez $\lambda = l_k/i$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | $\lambda +$   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                  | $\lambda$   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| <b>A37</b>       | 20  | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
|                  | 30  | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.06 |
|                  | 40  | 1.07 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.09 | 1.09 | 1.10 | 1.10 | 1.11 |
|                  | 50  | 1.12 | 1.12 | 1.13 | 1.14 | 1.14 | 1.15 | 1.16 | 1.17 | 1.17 | 1.18 |
|                  | 60  | 1.19 | 1.20 | 1.21 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.28 | 1.29 |
|                  | 70  | 1.30 | 1.31 | 1.33 | 1.34 | 1.36 | 1.37 | 1.39 | 1.40 | 1.42 | 1.44 |
|                  | 80  | 1.45 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 |
|                  | 90  | 1.65 | 1.67 | 1.70 | 1.72 | 1.74 | 1.77 | 1.79 | 1.82 | 1.84 | 1.87 |
|                  | 100   | 1.89 | 1.92 | 1.95 | 1.97 | 2.00 | 2.03 | 2.06 | 2.09 | 2.12 | 2.15 |
|                  | 110   | 2.18 | 2.21 | 2.24 | 2.27 | 2.30 | 2.33 | 2.37 | 2.40 | 2.43 | 2.47 |
|                  | 120   | 2.50 | 2.53 | 2.57 | 2.60 | 2.64 | 2.68 | 2.71 | 2.75 | 2.78 | 2.82 |
|                  | 130   | 2.86 | 2.90 | 2.94 | 2.97 | 3.01 | 3.05 | 3.09 | 3.13 | 3.17 | 3.21 |
|                  | 140   | 3.25 | 3.29 | 3.33 | 3.38 | 3.42 | 3.46 | 3.50 | 3.55 | 3.59 | 3.63 |
|                  | 150   | 3.68 | 3.72 | 3.77 | 3.81 | 3.86 | 3.90 | 3.95 | 4.00 | 4.04 | 4.09 |
|                  | 160   | 4.14 | 4.18 | 4.23 | 4.28 | 4.33 | 4.38 | 4.43 | 4.48 | 4.53 | 4.58 |
|                  | 170   | 4.63 | 4.68 | 4.73 | 4.78 | 4.83 | 4.88 | 4.94 | 4.99 | 5.04 | 5.09 |
|                  | 180   | 5.15 | 5.20 | 5.26 | 5.31 | 5.36 | 5.42 | 5.48 | 5.53 | 5.59 | 5.64 |
|                  | 190   | 5.70 | 5.76 | 5.81 | 5.87 | 5.93 | 5.99 | 6.05 | 6.11 | 6.16 | 6.22 |
|                  | 200   | 6.28 | 6.34 | 6.40 | 6.46 | 6.53 | 6.59 | 6.65 | 6.71 | 6.77 | 6.84 |
|                  | 210   | 6.90 | 6.96 | 7.03 | 7.09 | 7.15 | 7.22 | 7.28 | 7.35 | 7.41 | 7.48 |
|                  | 220   | 7.54 | 7.61 | 7.67 | 7.74 | 7.81 | 7.88 | 7.94 | 8.01 | 8.08 | 8.15 |
|                  | 230   | 8.22 | 8.29 | 8.36 | 8.43 | 8.49 | 8.57 | 8.64 | 8.71 | 8.78 | 8.85 |
|                  | 240   | 8.92 | 8.99 | 9.07 | 9.14 | 9.21 | 9.29 | 9.36 | 9.43 | 9.51 | 9.58 |
|                  | 250   | 9.66 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                  |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                  | 20  | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04 |
|                  | 30  | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.07 | 1.07 |
|                  | 40  | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.09 | 1.09 | 1.10 | 1.10 | 1.11 | 1.12 | 1.12 |
|                  | 50  | 1.13 | 1.14 | 1.14 | 1.15 | 1.16 | 1.17 | 1.18 | 1.19 | 1.20 | 1.21 |
|                  | 60  | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.29 | 1.30 | 1.31 | 1.33 |
|                  | 70  | 1.34 | 1.36 | 1.37 | 1.39 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.46 | 1.47 | 1.49 |

|     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A42 | 80  | 1.51  | 1.53  | 1.55  | 1.57  | 1.60  | 1.62  | 1.64  | 1.66  | 1.69  | 1.71  |
|     | 90  | 1.74  | 1.76  | 1.79  | 1.81  | 1.84  | 1.86  | 1.89  | 1.92  | 1.95  | 1.98  |
|     | 100 | 2.01  | 2.03  | 2.06  | 2.09  | 2.13  | 2.16  | 2.19  | 2.22  | 2.25  | 2.29  |
|     | 110 | 2.32  | 2.35  | 2.39  | 2.42  | 2.46  | 2.49  | 2.53  | 2.56  | 2.60  | 2.64  |
|     | 120 | 2.67  | 2.71  | 2.75  | 2.79  | 2.82  | 2.86  | 2.90  | 2.94  | 2.98  | 3.02  |
|     | 130 | 3.06  | 3.11  | 3.15  | 3.19  | 3.23  | 3.27  | 3.32  | 3.36  | 3.40  | 3.45  |
|     | 140 | 3.49  | 3.54  | 3.58  | 3.63  | 3.67  | 3.72  | 3.77  | 3.81  | 3.86  | 3.91  |
|     | 150 | 3.96  | 4.00  | 4.05  | 4.10  | 4.15  | 4.20  | 4.25  | 4.30  | 4.35  | 4.40  |
|     | 160 | 4.45  | 4.51  | 4.56  | 4.61  | 4.66  | 4.72  | 4.77  | 4.82  | 4.88  | 4.93  |
|     | 170 | 4.99  | 5.04  | 5.10  | 5.15  | 5.21  | 5.26  | 5.32  | 5.38  | 5.44  | 5.49  |
|     | 180 | 5.55  | 5.61  | 5.67  | 5.73  | 5.79  | 5.85  | 5.91  | 5.97  | 6.03  | 6.09  |
|     | 190 | 6.15  | 6.21  | 6.27  | 6.34  | 6.40  | 6.46  | 6.53  | 6.59  | 6.65  | 6.72  |
|     | 200 | 6.78  | 6.85  | 6.91  | 6.98  | 7.05  | 7.11  | 7.18  | 7.25  | 7.31  | 7.38  |
|     | 210 | 7.45  | 7.52  | 7.59  | 7.66  | 7.72  | 7.79  | 7.86  | 7.93  | 8.01  | 8.08  |
|     | 220 | 8.15  | 8.22  | 8.29  | 8.36  | 8.44  | 8.51  | 8.58  | 8.66  | 8.73  | 8.80  |
|     | 230 | 8.88  | 8.95  | 9.03  | 9.11  | 9.18  | 9.26  | 9.33  | 9.41  | 9.49  | 9.57  |
|     | 240 | 9.64  | 9.72  | 9.80  | 9.88  | 9.96  | 10.04 | 10.12 | 10.20 | 10.28 | 10.36 |
|     | 250 | 10.44 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A52 | 20  | 1.02  | 1.02  | 1.03  | 1.03  | 1.03  | 1.04  | 1.04  | 1.04  | 1.05  | 1.05  |
|     | 30  | 1.05  | 1.06  | 1.06  | 1.07  | 1.07  | 1.08  | 1.08  | 1.09  | 1.10  | 1.10  |
|     | 40  | 1.11  | 1.12  | 1.13  | 1.13  | 1.14  | 1.15  | 1.16  | 1.17  | 1.18  | 1.19  |
|     | 50  | 1.20  | 1.22  | 1.23  | 1.24  | 1.25  | 1.27  | 1.28  | 1.30  | 1.31  | 1.33  |
|     | 60  | 1.35  | 1.37  | 1.39  | 1.41  | 1.43  | 1.45  | 1.47  | 1.49  | 1.51  | 1.54  |
|     | 70  | 1.56  | 1.59  | 1.61  | 1.64  | 1.66  | 1.69  | 1.72  | 1.75  | 1.78  | 1.81  |
|     | 80  | 1.84  | 1.87  | 1.90  | 1.94  | 1.97  | 2.01  | 2.04  | 2.08  | 2.11  | 2.15  |
|     | 90  | 2.18  | 2.22  | 2.26  | 2.30  | 2.34  | 2.38  | 2.42  | 2.46  | 2.50  | 2.54  |
|     | 100 | 2.59  | 2.63  | 2.67  | 2.72  | 2.76  | 2.81  | 2.85  | 2.90  | 2.95  | 2.99  |
|     | 110 | 3.04  | 3.09  | 3.14  | 3.19  | 3.24  | 3.29  | 3.34  | 3.39  | 3.44  | 3.49  |
|     | 120 | 3.55  | 3.60  | 3.65  | 3.71  | 3.76  | 3.82  | 3.87  | 3.93  | 3.98  | 4.04  |
|     | 130 | 4.10  | 4.16  | 4.22  | 4.27  | 4.33  | 4.39  | 4.45  | 4.52  | 4.58  | 4.64  |
|     | 140 | 4.70  | 4.76  | 4.83  | 4.89  | 4.95  | 5.02  | 5.08  | 5.15  | 5.22  | 5.28  |
|     | 150 | 5.35  | 5.42  | 5.48  | 5.55  | 5.62  | 5.69  | 5.76  | 5.83  | 5.90  | 5.97  |
|     | 160 | 6.04  | 6.12  | 6.19  | 6.26  | 6.34  | 6.41  | 6.48  | 6.56  | 6.63  | 6.71  |
|     | 170 | 6.79  | 6.86  | 6.94  | 7.02  | 7.09  | 7.17  | 7.25  | 7.33  | 7.41  | 7.49  |
|     | 180 | 7.57  | 7.65  | 7.73  | 7.82  | 7.90  | 7.98  | 8.07  | 8.15  | 8.24  | 8.32  |
|     | 190 | 8.40  | 8.49  | 8.58  | 8.66  | 8.75  | 8.84  | 8.93  | 9.02  | 9.10  | 9.19  |
|     | 200 | 9.28  | 9.37  | 9.47  | 9.56  | 9.65  | 9.74  | 9.83  | 9.92  | 10.02 | 10.11 |
|     | 210 | 10.21 | 10.30 | 10.40 | 10.49 | 10.59 | 10.69 | 10.78 | 10.88 | 10.98 | 11.08 |
|     | 220 | 11.18 | 11.27 | 11.38 | 11.48 | 11.57 | 11.68 | 11.78 | 11.88 | 11.98 | 12.09 |
|     | 230 | 12.19 | 12.29 | 12.40 | 12.50 | 12.61 | 12.72 | 12.82 | 12.93 | 13.03 | 13.14 |
|     | 240 | 13.25 | 13.36 | 13.47 | 13.58 | 13.69 | 13.80 | 13.91 | 14.02 | 14.13 | 14.25 |
|     | 250 | 14.36 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

### 3.2.8 Cálculo de los enlaces de las piezas compuestas

Los enlaces de las piezas compuestas sometidas a compresión centrada se dimensionarán para resistir las sollicitaciones que en ellos provoca un esfuerzo cortante ideal ponderado  $T^*$  cuyo valor se da en 3.2.8.1 y 3.2.8.2.

### 3.2.8.1 Cálculo del enlace con presillas

En una pieza compuesta enlazada con presillas (figura 3.2.1.2.A), donde:

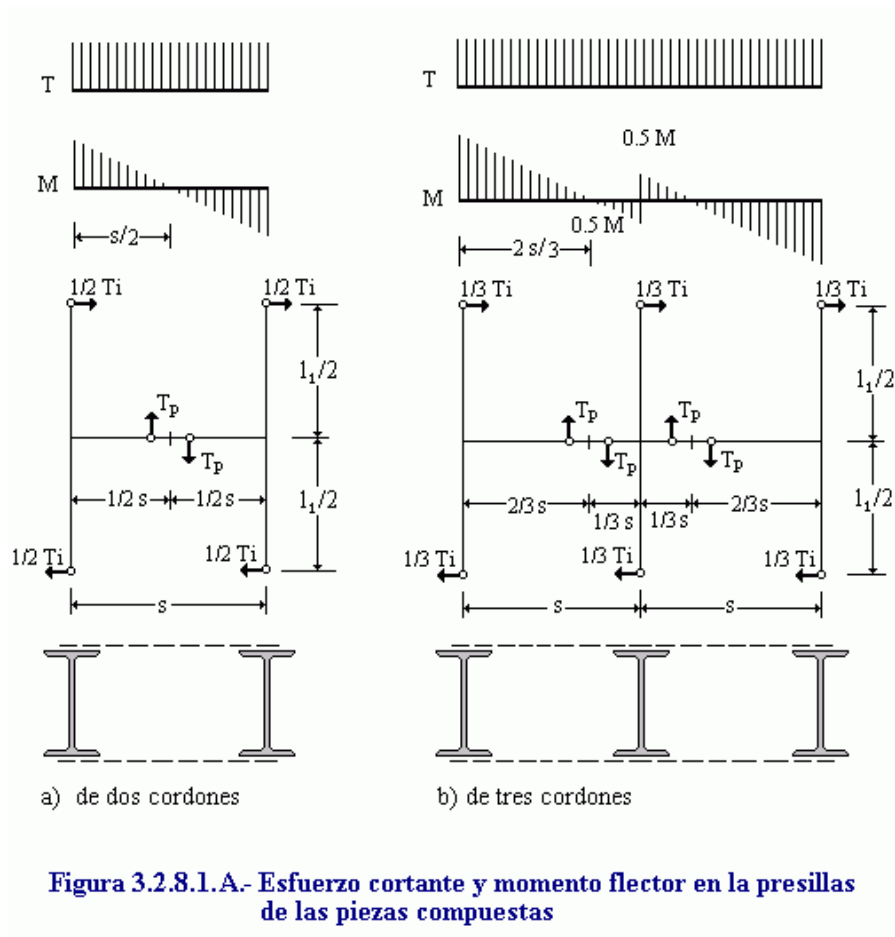
- $s$  es la separación entre ejes de cordones consecutivos;
- $l_1$  es la longitud de tramo, en los cordones;
- $i_1$  es el radio de giro mínimo de los cordones;
- $n$  es el número de planos de presillas iguales;
- $A$  es el área de la sección bruta total de los perfiles principales.

El esfuerzo cortante  $T^*_{i_1}$ , viene dado por:

$$T^*_{i_1} = A \sigma_u / 80 \eta$$

donde:

$$\eta = \frac{s}{20i_1} \leq 1$$



El esfuerzo cortante  $T^*_{i_1}$  origina en las presillas una sollicitación de flexión, con esfuerzo cortante  $T^*_p$  y momento flector  $M^*_p$ , que, según los casos, tiene la distribución indicada en la figura 3.2.8.1, y cuyos valores son:

$$T^*_p = T^*_i \frac{l_1}{ns}; M^*_p = T^*_i \frac{l_1}{2n}$$

Piezas de tres cordones:

$$T^*_p = 0.5 T^*_i \frac{l_1}{ns}; M^*_p = T^*_i \frac{l_1}{3n}$$

Piezas de cuatro cordones:

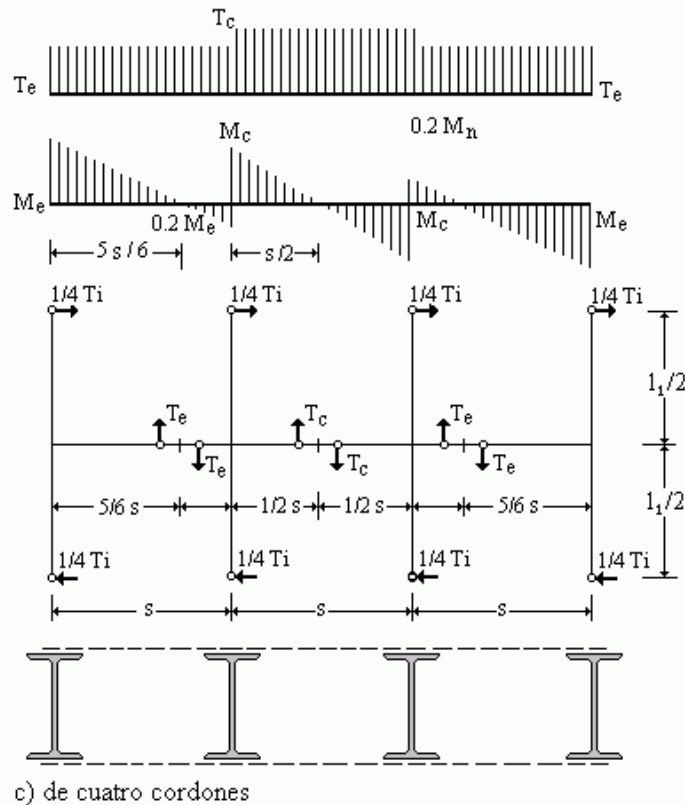
presillas extremas

$$T_p^* = 0.3 T_i^* \frac{l_1}{ns}; M_p^* = T_i^* \frac{l_1}{4n}$$

presillas centrales

$$T_p^* = 0.4 T_i^* \frac{l_1}{ns}; M_p^* = T_i^* \frac{l_1}{5n}$$

Las presillas y su unión a los cordones se dimensionarán para resistir estos momentos flectores y esfuerzos cortantes.



**Figura 3.2.8.1B.- Esfuerzo cortante y momento flector en las presillas de las piezas compuestas**

### 3.2.8.2 Cálculo del enlace con celosía

En una pieza compuesta con enlace de celosía (figura 3.2.1.2.B) el esfuerzo cortante  $T_i^*$  considerado viene dado por:

$$T_i^* = A \sigma_u / 80$$

El esfuerzo normal de compresión que produce este esfuerzo cortante ideal en las barras de la celosía vale según los casos:

Diagonales desiguales (figura 3.2.1.2.B.a):

$$N_1^* = \frac{T_i^*}{n \sin \alpha_1} ; N_2^* = \frac{T_i^*}{n \sin \alpha_2}$$

Diagonales iguales (figura 3.2.1.2.B.b):

$$N^* = \frac{T_i^*}{n \operatorname{sen} \alpha}$$

Diagonales dobles unidas (figura 3.2.1.2.B.c):

$$N^* = \frac{T_i^*}{2n \operatorname{sen} \alpha}$$

Diagonales contrapuestas con dos celosías (figura 3.2.1.2.B.d):

$$N^* = \frac{T_i^*}{2 \operatorname{sen} \alpha}$$

Montantes y diagonales (figura 3.2.1.2.B.e):

$$N_m^* = \frac{T_i^*}{n} ; N_d^* = \frac{T_i^*}{n \operatorname{sen} \alpha}$$

Montantes sueltos y diagonales (figura 3.2.1.2.B.f):

$$N_m^* = 0 ; N_d^* = \frac{T_i^*}{n \operatorname{sen} \alpha}$$

Montantes y jabalones (figura 3.2.1.2.B.g):

$$N_m^* = \frac{T_i^*}{2n} ; N_d^* = \frac{T_i^*}{2n \operatorname{sen} \alpha}$$

En las fórmulas anteriores, n es el número de planos paralelos con triangulaciones iguales.

### 3.2.9 Piezas solicitadas a compresión excéntrica

En soportes de estructuras, la compresión suele venir a veces acompañada de flexión, que equivale a un esfuerzo normal actuando excéntricamente.

En este caso la comprobación de las piezas se hará como se indica en los apartados siguientes.

#### 3.2.9.1. Comprobación de resistencia

En las barras de sección constante solicitadas a compresión excéntrica se verificará en todo punto:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{z}{I_y} \leq \sigma_u$$

donde:

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado;

$M_x^*$  y  $M_y^*$  son los momentos flectores ponderados.

#### 3.2.9.2 Comprobación a pandeo

En las piezas de simetría sencilla o doble, solicitadas por una compresión excéntrica contenida en el plano de simetría, en las que puede producirse pandeo en dicho plano y estar impedido en el plano normal a éste, se verificará:

$$\sigma^* = N^* \frac{\omega}{A} + \frac{M^*}{W_c} \leq \sigma_u$$

En piezas de simetría sencilla, si el centro de gravedad se encuentra más próximo al borde comprimido que al



traccionado, se comprobará además que se verifica:

$$\sigma^* = N^* \frac{\omega}{A} + \frac{300 + 2\lambda}{1000} \cdot \frac{M^*}{W_t} \leq \sigma_u$$

En las expresiones anteriores son:

A el área de la sección;

$\lambda$  la esbeltez mecánica en el plano del momento, calculada según 3.2.5;

$\omega$  el coeficiente de pandeo correspondiente a dicha esbeltez;

$W_c$  y  $W_t$  los módulos resistentes de la sección relativos a los bordes en compresión y en tracción, respectivamente;

$N^*$  el esfuerzo normal ponderado en valor absoluto;

$M^*$  el momento flector máximo ponderado en valor absoluto en la parte central, de longitud (0.4 l) de la pieza.

Si la pieza puede pandear en el plano perpendicular al del momento, se comprobará la pieza con el coeficiente de pandeo  $\omega$  correspondiente a la esbeltez máxima,  $\lambda_x$  ó  $\lambda_y$ .

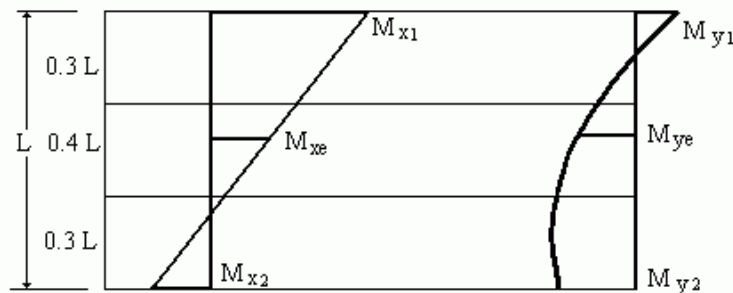
En el caso de una pieza de doble simetría o de simetría puntual solicitada por momentos  $M_x^*$ ,  $M_y^*$  en sus dos planos principales de inercia, se verificará:

$$\sigma^* = N^* \frac{\omega}{A} + \frac{M_x^*}{W_x} + \frac{M_y^*}{W_y} \leq \sigma_u$$

donde:

$\omega$  es el coeficiente de pandeo en función de la mayor de las dos esbelteces. Si la barra es de débil rigidez torsional, se considera el pandeo con flexión y torsión según 4.5.3;

$M_x^*$ ,  $M_y^*$  son los momentos flectores ponderados en la parte central de longitud (0.4 l) de la pieza, donde se produzca tensión máxima, figura 3.2.9.2.



**Figura 3.2.9.2.- Gráfica de los momentos  $M_x$  y  $M_y$  en una pieza**

### 3.2.9.3 Cálculo de los enlaces en las piezas compuestas

Para el cálculo de las presillas o de las triangulaciones de arriostramiento de una pieza compuesta sometida a compresión excéntrica, se sumará el esfuerzo cortante ideal  $T_i^*$  definido en 3.2.8, al esfuerzo  $T^*$  debido a la flexión en su plano, utilizándose esta suma para el cálculo de los esfuerzos en los enlaces.

### 3.2.9.4 Pandeo por flexión y torsión

En las piezas con sección abierta de pequeño espesor, deberá comprobarse el pandeo por flexión y torsión en la forma que se indica en 4.5.3.

## 3.3 Piezas de directriz recta sometidas a tracción

### 3.3.1 Clases de piezas

Las piezas de directriz recta solicitadas a tracción, según su constitución, se clasifican en piezas simples y compuestas.

#### 3.3.1.1 Piezas simples

Son las constituidas por:

a) Un solo perfil.

b) Perfiles o chapas yuxtapuestos (figura 3.2.1.1.A):

- unidos mediante roblones o tornillos, cuyas separaciones  $s$  cumplan las condiciones:

$$s \leq 15a; s \leq 25e$$

donde:

$a$  es el diámetro del agujero, y  
 $e$  es el espesor mínimo de las piezas;

- unidos mediante soldadura continua cuyas separaciones  $s$  cumplan las condiciones:

$$s \leq 25e; s \leq 300 \text{ mm}$$

c) Perfiles con forro discontinuo de chapa (figura 3.2.1.1.B) con uniones mediante roblones, tornillos o soldadura, cuyas separaciones  $s$  cumplan la condición:

$$s \leq 50 i$$

donde:

$i$  es el radio de giro mínimo del perfil que lo tenga menor.

Si puede existir tracción excéntrica, las separaciones s cumplirán la condición expresada en 3.2.1.1.

### 3.3.1.2 Piezas compuestas

Son las constituidas por dos o más cordones longitudinales enlazados entre sí. Cada cordón tendrá la constitución de una pieza simple. En general estos cordones van enlazados entre sí por medio de presillas o de celosía (3.2.1.2).

Los enlaces cumplirán las condiciones siguientes:

- a) En las piezas con tracción centrada (3.3.2.1) el enlace es teóricamente innecesario. Pero, por razones de buena práctica de construcción, se recomienda no separar estas presillas más de doscientas veces el radio de giro mínimo de cada cordón, ni más de dos metros.
- b) En las piezas con tracción excéntrica (3.3.2.2) los enlaces cumplirán las condiciones impuestas en 3.2.1.3 a los enlaces de las barras comprimidas.

## 3.3.2 Solicitaciones consideradas

Se considerarán en este capítulo las solicitaciones de tracción centrada y de tracción excéntrica.

### 3.3.2.1 Tracción centrada

Se calcularán solamente con el esfuerzo normal de tracción las piezas en que se considere esta única sollicitación en las hipótesis de cálculo, habida cuenta de su vinculación efectiva y de la forma de aplicación de las cargas. En las estructuras trianguladas, cerchas o vigas cargadas sólo en los nudos, puede considerarse, en general, que las barras de tracción tienen sollicitación de tracción, es decir, que se prescinde de los momentos flectores debidos a la rigidez de las uniones de los nudos.

Se exceptúan las celosías muy irregulares, las que tengan barras que forman entre sí ángulos pequeños, las que tengan barras de gran rigidez y algunas celosías con hiperestaticidad interna. En ellas se estudiará la posible influencia de los momentos secundarios para introducirlos en el cálculo, según 3.3.2.2. En las estructuras

trianguladas puede prescindirse siempre de la flexión debida a la acción directa del viento sobre las barras. La flexión debida al peso propio sólo se considerará en las barras cuya proyección horizontal exceda de 6m. En las barras con solicitud de tracción de pequeño valor se investigará si pueden tener solicitud de compresión al modificar ligeramente los valores adoptados para concargas, sobrecargas u otras acciones. En este caso se comprobará también su seguridad a compresión según 3.2.

El cálculo a tracción centrada se realizará de acuerdo con 3.3.4.

#### 3.3.2.2 Tracción excéntrica

La solicitud se compone de un esfuerzo normal de tracción y de un momento flector; equivale a un esfuerzo normal de tracción actuando con excentricidad. Se tendrán en cuenta los momentos flectores transmitidos, los que provengan de excentricidades geométricas en las vinculaciones de extremo, o los debidos a la aplicación excéntrica de cargas.

Puede prescindirse de la excentricidad debida a cambios de posición de la directriz en una barra de sección variable (figura 3.2.2.2) si se toma como nudo el punto medio entre los baricentros de las dos secciones del cordón a un lado y a otro de aquél.

En las barras de arriostramiento cuya directriz no esté en el plano de la unión puede prescindirse, en general, de esta excentricidad.

El cálculo a tracción excéntrica se realizará según 3.3.5.

#### 3.3.3 Esbeltez mecánica de las piezas en tracción

Salvo justificación especial, la esbeltez mecánica (3.2.5) de una barra solicitada a tracción no excederá de 300 en todas aquellas que forman parte de los elementos resistentes principales de la estructura; puede admitirse una esbeltez de hasta 400 en las barras de tracción de elementos secundarios o de simples arriostramientos.

Esta limitación no es aplicable a los tirantes. A estos efectos, se llama tirante al elemento exento previsto para trabajar exclusivamente en tracción, al que se dota de poca rigidez a flexión.

### 3.3.4 Cálculo de piezas solicitadas a tracción centrada

En toda pieza simple o compuesta, solicitada a tracción centrada, se verificará:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} \leq \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero;

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado en la sección considerada;

$A_n$  es el área de la sección neta (3.2.3).

#### 3.3.4.1 Piezas unidas con tornillos de alta resistencia

Cuando los medios de unión de una pieza solicitada a tracción centrada sean, exclusivamente, tornillos de alta resistencia, se verificarán las dos condiciones siguientes:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} \leq \sigma_u ; \sigma^* = \frac{N^* - 0.4F}{A_n} \leq \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero;

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado en la sección considerada;

$A$  es el área de la sección bruta de la pieza;

$A_n$  es el rea de la sección neta de la pieza;

$F$  es la suma de los esfuerzos que transmiten los tornillos situados en la sección neta que se comprueba.

#### 3.3.4.2 Variaciones de sección

Salvo justificación especial, las piezas solicitadas a tracción, cuya tensión calculada sea próxima a la resistencia de cálculo del acero o estén sometidas a cargas dinámicas o que provoquen esfuerzos alternados, no presentarán variaciones bruscas de sección, ni diferencias considerables entre el área de la sección bruta y el de la neta.

### 3.3.5 Cálculo de las piezas solicitadas a tracción excéntrica

En todas las piezas, simples o compuestas, solicitadas a tracción excéntrica, se verificará en toda sección,

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} + \frac{M^*}{W_n} \leq \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero;

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado en la sección considerada;

$M^*$  es el momento flector ponderado en la sección considerada;

$A_n$  es el área de la sección neta;

$W_n$  es el módulo resistente de la sección neta (3.2.3).

En las piezas de sección asimétrica se comprobará, además, la eventual tensión de compresión.

#### 3.3.5.1 Piezas unidas con tornillos de alta resistencia

Cuando los medios de unión de una pieza solicitada a tracción excéntrica sean exclusivamente, tornillos de alta resistencia, se verificarán las dos condiciones siguientes:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W} \leq \sigma_u ; \quad \sigma^* = \frac{N^* - 0.4F}{A_n} + \frac{M^*}{W_n} \leq \sigma_u$$

En cuyas expresiones todos los símbolos tienen el mismo significado que en 3.3.5 y son, además:

A el área de la sección bruta de la pieza;

W el módulo resistente de la sección bruta, correspondiente al borde en el que el momento origina tensiones de tracción;

F la suma de los esfuerzos que transmiten los tornillos situados en la sección neta que se comprueba.

#### 3.3.5.2 Barras constituidas por un perfil L ó T

Cuando una pieza constituida por un angular enlazado por una de sus alas o por un perfil T enlazado por su ala, esté sometida a

tracción, se podrá prescindir del momento debido a la excentricidad de la unión, si se verifica que,

$$\sigma^* = 1.25 \cdot \frac{N^*}{A_n} \leq \sigma_u$$

## 3.4 Piezas de directriz recta sometidas a flexión

### 3.4.1 Vigas de alma llena

#### 3.4.1.1 Vigas múltiples

Las vigas constituidas por dos o más perfiles adosados se proveerán de los elementos de unión necesarios, como presillas, tornillos, pasadores, etc., que solidaricen eficazmente los perfiles componentes. Habrá de justificarse la eficacia de esta solidarización siempre que la viga reciba cargas diferentes sobre cada uno de los perfiles componentes.

#### 3.4.1.2 Vigas armadas

En las vigas armadas con alas compuestas de una o varias platabandas el diagrama de momentos de agotamiento a lo largo de la viga debe envolver al de momentos flectores ponderados que actúa sobre ella.

Las platabandas sobrepasarán el punto a partir del cual teóricamente ya no son necesarias, en una longitud tal que para las vigas remachadas sea por lo menos la que permita la colocación de dos filas de roblones o tornillos, y en platabandas soldadas, sea por lo menos igual a la mitad del ancho de dicha platabanda.

#### 3.4.1.3 Alas comprimidas

En la elección de la anchura del ala comprimida de una viga armada debe considerarse el pandeo lateral.

Las platabandas que constituyen el ala comprimida de una viga armada, cuya dimensión  $b$  (figura 3.4.1.3) satisfaga las condiciones que se indican a continuación, no necesiten ser comprobadas a pandeo local.

a) Ala con bordes libres (figuras 3.4.1.3.a y b):

$$\frac{b}{e} \leq 15 \sqrt{\frac{2400}{\sigma_u}}$$

b) Ala con bordes rigidizados (figuras 3.4.1.3.c y d):

$$\frac{b}{e} \leq \left( 15 + 30 \sqrt{\frac{a}{g}} \right) \sqrt{\frac{2400}{\sigma_u}}$$

donde:

$g$  es la altura de la parte comprimida del alma;  
 $a$  es la altura de los rigidizadores.

c) Ala de una viga con dos almas (figuras 3.4.1.3.e, f y g):

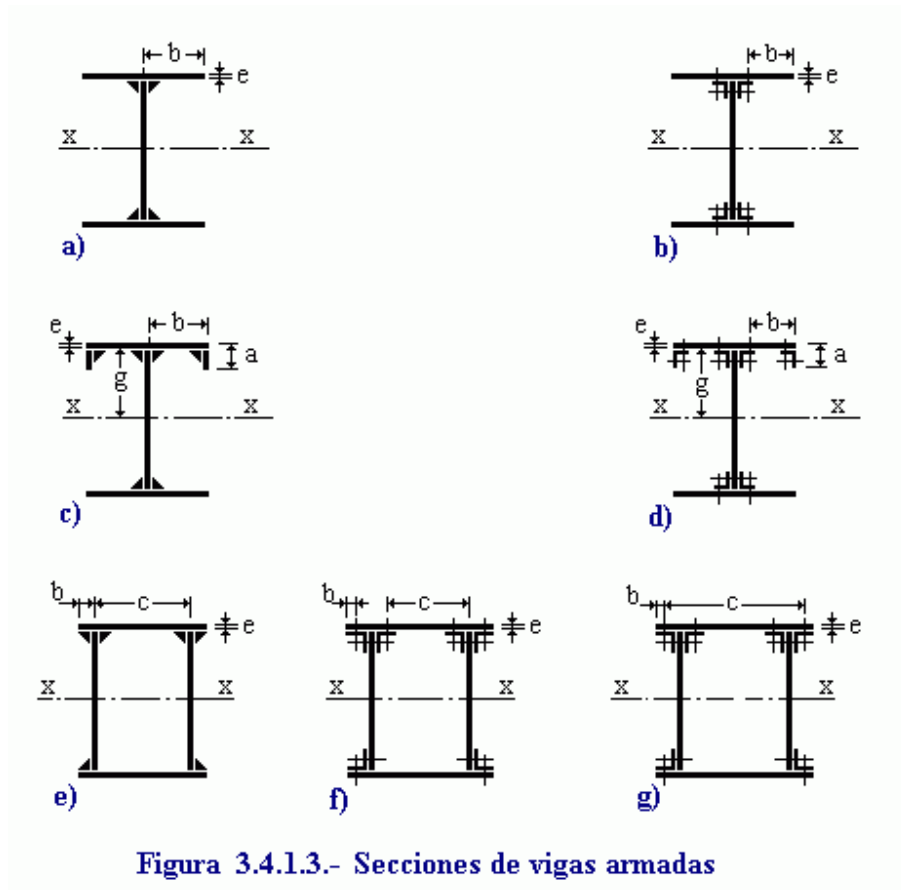
$$\frac{c}{e} \leq 45 \sqrt{\frac{2400}{\sigma_u}}$$

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero expresada en  $\text{kg/cm}^2$ .



Pueden disponerse platabandas que no satisfagan estas condiciones siempre que se efectúe su comprobación a pandeo local.



**Figura 3.4.1.3.- Secciones de vigas armadas**

#### 3.4.1.4 Unión de alas y alma

La unión de las platabandas a los angulares o al alma y la unión de los angulares al alma se calcular para resistir el esfuerzo rasante  $H^*$ , por unidad de longitud que vale:

$$H^* = T^* \frac{S_x}{I_x}$$

donde:

$T^*$  es el esfuerzo cortante ponderado;

$S_x$  es el momento estático respecto al eje X de la sección del ala hasta el plano de la unión;

$I_x$  es el momento de inercia respecto al eje X.

Por simplificación puede adoptarse;

$$H^* = \frac{T^*}{h_a}$$

donde:

$h_a$  es la altura del alma.

#### 3.4.1.5 Rigidizadores

En las vigas de alma llena se colocarán rigidizadores transversales en las secciones de apoyo y en todas aquellas en las que actúen cargas concentradas. Para dimensionar los rigidizadores se calculará la sollicitación local, considerando la sección compuesta por el rigidizador y una zona eficaz del alma igual a veinte veces su espesor.

La longitud de pandeo es en las vigas roblonadas igual a la distancia entre los gramiles de los angulares de unión, y en las vigas soldadas, igual a la altura del alma.

Podrá prescindirse de la colocación de rigidizadores, efectuando la comprobación del pandeo local del alma, considerando comprimida una zona eficaz del alma igual a veinte veces su espesor y con la longitud de pandeo anteriormente indicada.

Se dispondrán además, si fuesen necesarios, rigidizadores para evitar la abolladura del alma según 3.4.6.

### **3.4.2 Vigas de celosía**

#### **3.4.2.1 Excentricidades**

Las directrices de las barras deben coincidir con los ejes de la celosía. En caso de imposibilidad de coincidencia, se considerará la excentricidad de la solicitación en el dimensionamiento de las barras.

La unión de una barra se dispondrá, si es posible, de tal manera que el eje baricéntrico de los roblones, tornillos o soldaduras de la unión coincida con el de la barra, y si no es posible, se considerará la excentricidad en el cálculo.

#### **3.4.2.2 Cartelas**

Se proyectarán las cartelas con forma sencilla, sin ángulos entrantes y sus dimensiones serán las menores posibles para reducir los esfuerzos secundarios.

#### **3.4.2.3 Peso propio**

Las cargas de peso propio de las barras se supondrán aplicadas en los nudos. En las barras cuya protección horizontal exceda de 6 m se tendrán en cuenta, además, el efecto de la flexión debido a dicho peso propio.

### **3.4.3 Cálculo de tensiones**

#### **3.4.3.1 Luz de cálculo**

Se tomará como luz de cálculo la distancia entre ejes de dos apoyos consecutivos. Cuando las vigas apoyen sobre elementos de fábrica u hormigón, se tomará como eje de apoyo el que pasa por el punto de paso de la reacción. En elementos secundarios puede tomarse como luz de cálculo la longitud del vano incrementada en el 5 por 100.

#### **3.4.3.2 Tensiones normales**

El valor de las tensiones normales ponderadas se calculará teniendo en cuenta las características geométricas de la sección y la magnitud y posición, respecto a los ejes de la misma, de los esfuerzos solicitantes ponderados.

Para su cálculo se utilizarán los momentos de inercia y módulos resistentes de la sección seminata. Por simplificación pueden utilizarse los valores de la sección neta. En todo caso, sus valores pueden calcularse con relación a los ejes que pasan por el baricentro de la sección bruta.

En el anejo 3.A2 se resumen algunas de las fórmulas más usuales para el cálculo de las tensiones normales.

#### **3.4.3.3 Tensiones tangenciales**

El valor de las tensiones tangenciales ponderadas se calculará teniendo en cuenta las características geométricas de la sección y la magnitud y posición respecto a los ejes de la misma, de los esfuerzos solicitantes ponderados.

En secciones asimétricas, y en las simétricas cuando el esfuerzo cortante solicitante no pasa por el centro de esfuerzos cortantes de la sección, la flexión va acompañada de una torsión que produce tensiones tangenciales suplementarias que deben sumarse a las producidas por la flexión.

En el anejo 3.A2 se resumen algunas de las fórmulas más usuales utilizadas para el cálculo de las tensiones tangenciales.

En el anejo 3.A3 se resumen igualmente las fórmulas más usuales utilizadas para el cálculo de tensiones tangenciales producidas por una sollicitación de torsión.

#### 3.4.3.4 Sección en doble T y en cajón

En el caso frecuente de vigas constituidas por dos platabandas y una alma de sección  $A_a$ , con la condición de que la platabanda más pequeña represente, al menos, el 15 por 100 de la sección total, puede admitirse como tensión tangencial para todos los puntos del alma el valor:

$$\tau^* = \frac{T^*}{A_a}$$

Esta fórmula simplificada es aplicable a las vigas en doble T y a las vigas en simple cajón rectangular, tomando para estas últimas como valor de  $A_a$  la suma de las áreas de las almas.

#### 3.4.3.5 Comprobación de la sección

En todo punto de la sección debe verificarse:

$$\sqrt{\sigma^{*2} + 3\tau^{*2}} \leq \sigma_u$$

donde:

$\sigma^*$  es la tensión normal ponderada en dicho punto;  
 $\tau^*$  es la tensión tangencial ponderada en dicho punto.

### 3.4.4 Flechas

Las flechas se calcularán con el momento de inercia de la sección bruta.

La flecha de una viga de celosía puede asimilarse en primera aproximación a la de una viga de alma llena cuyo momento de inercia sea igual al 75% del correspondiente a los cordones.

#### 3.4.4.1 Flechas en vigas de alma llena

La flecha  $f$  en el centro del vano de una viga apoyada de sección constante, constituida por un perfil simétrico de canto  $h$  y luz  $l$  puede calcularse mediante la fórmula siguiente:


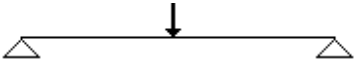



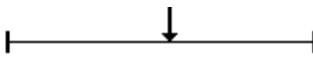





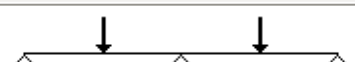
$$f(\text{mm}) \cong \alpha \frac{\sigma(\text{kg/mm}^2)l^2(\text{m}^2)}{h(\text{cm})}$$

donde:

$\sigma$  es la tensión máxima producida por el máximo momento flector característico en  $\text{kg/mm}^2$ ;  
 $\alpha$  es un coeficiente que depende de la clase de sustentación y del tipo de carga.

En la tabla 3.4.4.1 figuran los valores de  $\alpha$  para algunos casos usuales.

**Tabla 3.4.4.1 Valores del coeficiente  $\alpha$**

| Clases de sustentación y tipo de carga  | $\alpha$ |
|---|----------|
|    | 1.000    |
|    | 0.800    |
|    | 0.300    |
|    | 0.250    |
|    | 0.340    |
|    | 0.400    |
|    | 2.380    |
|    | 1.930    |
|   | 2.650    |
|  | 3.180    |
|  | 0.415    |
|  | 0.448    |

#### 3.4.4.2 Limitaciones de las flechas

Las flechas serán compatibles con las necesidades específicas en cada caso. A menos que se establezcan exigencias especiales, se adoptarán los siguientes valores máximos de la relación flecha/luz bajo la acción de la carga característica.

|  |       |
|--|-------|
| Vigas o viguetas de cubierta.....  | 1/250 |
| Vigas hasta 5m de luz y viguetas de forjado, que no soporten muros de fábrica..... | 1/300 |
| Vigas de más de 5m de luz, que no soporten muros de fábrica .....                  | 1/400 |
| Vigas y viguetas de forjado, que soporten muros de fábrica .....                   | 1/500 |
| Ménsulas, con la flecha medida en el extremo libre .....                           | 1/300 |

En cualquier otro elemento solicitado a flexión y no mencionado anteriormente, la relación flecha/luz no excederá de 1/500, a menos que se justifique debidamente que superarla no comporta consecuencias perjudiciales para el servicio o buen aspecto de la construcción.

Se aconseja que en todos los elementos importantes se prevean contraflechas de ejecución que igualen, por lo menos, a las flechas calculadas para las cargas permanentes. Estas contraflechas se indicarán en los planos.

### 3.4.5 Pandeo lateral de vigas

En las piezas flectadas debe comprobarse su seguridad al pandeo lateral. Para las vigas de alma llena podrán utilizarse los métodos expuestos en 3.4.5.1, y 3.4.5.2 y 3.4.5.3. Cuando la viga sea de celosía, se comprobará el pandeo del cordón comprimido fuera del plano de la viga, de acuerdo con las indicaciones de 3.2.

No es necesaria la comprobación de seguridad al pandeo lateral cuando la viga soporte o esté unida a un forjado o cubierta de rigidez suficiente para que, si los elementos de anclaje son los adecuados, pueda considerarse que se realiza un arriostramiento continuo del cordón comprimido. En estos casos hay que asegurarse de que no se producirá un pandeo prematuro en alguna de las fases de la construcción.

Tampoco es necesaria la comprobación cuando el cordón comprimido de la viga esté firmemente inmovilizado en sentido transversal en puntos aislados, cuya distancia sea igual o menor que cuarenta veces el radio de giro  $i_y$  de dicho cordón comprimido.

Se entiende por  $i_y$  el radio de giro correspondiente al eje de inercia contenido en el plano del alma siempre que, a los efectos de pandeo lateral, el cordón comprimido de la viga esté constituido por:

- las platabandas y las alas horizontales de los angulares, en las vigas armadas roblonadas;
- las platabandas en las vigas armadas soldadas;
- el ala, más las eventuales platabandas de refuerzo, en las vigas laminadas.

#### 3.4.5.1 Comprobación a pandeo lateral

Debe cumplirse en las vigas la condición:

$$M^* \leq M_{cr}$$

donde:

$M^*$  es el máximo momento flector ponderado que actúa sobre la viga, o tramo de la misma considerado;

$M_{cr}$  es el momento crítico de pandeo lateral.

#### 3.4.5.2 Momento crítico

El momento crítico de pandeo lateral depende de la forma de la sección, de la distribución de las cargas solicitantes y de la posición de las mismas respecto al baricentro.

Para vigas de sección simétrica con relación a un eje horizontal que pase por el baricentro (eje x), como son los perfiles I, H, U y también las secciones con centro de simetría, para cualquier tipo de sollicitación y posición de cargas puede adoptarse el siguiente valor de momento crítico:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{E G I_y I_T}$$

donde:

$l$  es la longitud teórica de pandeo lateral, o sea, la máxima distancia entre puntos del cordón comprimido firmemente inmovilizados en el plano normal a la viga;

$I_y$  es el momento de inercia de la sección total de la viga respecto al eje contenido en el plano de flexión;

E es el módulo de elasticidad del acero;  
 G es el módulo de rigidez del acero;  
 $I_T$  es el módulo de torsión de la sección total de la viga.

La fórmula anterior es aproximada, aplicable en vigas simplemente apoyadas cuya sección tenga eje de simetría horizontal o centro de simetría.

Si quiere realizarse una comprobación más exacta, o considerar otros tipos de sustentación, pueden utilizarse las fórmulas incluidas en el anejo 3.A4.

#### 3.4.5.3 Pandeo lateral en el dominio anelástico

Las fórmulas anteriores son válidas para el caso de pandeo lateral en el dominio elástico, es decir, si la tensión crítica es:

$$\sigma_{cri} = \frac{M_{cr}}{W_x} \leq \sigma_p$$

donde:

$W_x$  es el módulo resistente de la sección;  
 $\sigma_p$  es el límite de proporcionalidad del acero, de valor:

$$\sigma_p = 0.8 \sigma_e$$

Si esta condición no se verifica, la comprobación indicada en 3.4.5.1 se efectuará como sigue: se hallará la tensión crítica ideal indicada anteriormente, entrando con su valor en la tabla 3.4.5.3 se obtiene el coeficiente  $K_r$  en función del tipo de acero.

El valor del momento crítico real  $M_{cr,r}$  viene dado por:

$$M_{cr,r} = K_r M_{cr}$$

debiendo verificarse, al igual que en 3.4.5.1, que:

$$M^* \leq M_{cr,r}$$

donde:

$M^*$  es el máximo momento flector ponderado que actúa sobre la viga.

**Tabla 3.4.5.3 Coeficiente de reducción anelástica**

| Tensión crítica ideal<br>$\sigma_{cr,i}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | Coeficiente $K_r$ para cada tipo de acero |       |     | Tensión crítica ideal<br>$\sigma_{c r,i}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | Coeficiente $K_r$ para cada tipo de acero |       |       |
|--|---|-------|-----|---|---|-------|-------|
|  | A37                                       | A42   | A52 |   | A37                                       | A42   | A52   |
| 1920   | 1.000                                     | -     | -   | 3600  | 0.616                                     | 0.662 | 0.872 |
| 2000   | 0.990                                     | -     | -   | 3800  | 0.587                                     | 0.631 | 0.835 |
| 2080   | 0.966                                     | 1.000 | -   | 4000  | 0.560                                     | 0.602 | 0.800 |
| 2100   | 0.960                                     | 0.999 | -   | 4200  | 0.535                                     | 0.576 | 0.768 |
| 2200   | 0.930                                     | 0.980 | -   | 4400  | 0.512                                     | 0.552 | 0.738 |
| 2300   | 0.900                                     | 0.953 | -   | 4600  | 0.492                                     | 0.530 | 0.710 |
| 2400   | 0.872                                     | 0.926 | -   | 4800  | 0.473                                     | 0.509 | 0.684 |

|      |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2500 | 0.844 | 0.898 | -     | 5000  | 0.455 | 0.490 | 0.660 |
| 2600 | 0.817 | 0.872 | -     | 5500  | 0.416 | 0.448 | 0.606 |
| 2700 | 0.792 | 0.846 | -     | 6000  | 0.383 | 0.413 | 0.560 |
| 2800 | 0.768 | 0.821 | -     | 6500  | 0.355 | 0.383 | 0.518 |
| 2880 | 0.750 | 0.802 | 1.000 | 7000  | 0.330 | 0.357 | 0.485 |
| 2900 | 0.745 | 0.798 | 0.999 | 8000  | 0.290 | 0.314 | 0.428 |
| 3000 | 0.724 | 0.775 | 0.987 | 10000 | 0.234 | 0.253 | 0.346 |
| 3200 | 0.684 | 0.734 | 0.950 | 20000 | 0.119 | 0.128 | 0.177 |
| 3400 | 0.649 | 0.696 | 0.910 | 99999 | 0.024 | 0.026 | 0.036 |

#### 3.4.5.4 Arriostramiento

Siempre que se realice una comprobación más detallada, los elementos de arriostramiento del cordón comprimido de una pieza sometida a flexión se dimensionarán para resistir un esfuerzo normal al plano medio de la pieza de valor:

$$N^*/100$$

donde:

$N^*$  es el máximo esfuerzo ponderado de compresión existente a uno o a otro lado del punto de arriostramiento considerado.

Como cordón comprimido de las vigas de alma llena se considerará el definido en 3.4.5.

#### 3.4.6 Abolladura del alma en las vigas de alma llena

En vigas sometidas a flexión simple o compuesta no será preciso comprobar el alma a abolladura ni colocar más rigidizadores intermedios que los indicados en 3.4.1.5 cuando la relación  $e/h_a$  (figura 3.4.6) sea no menor que:

0.013 para acero A37

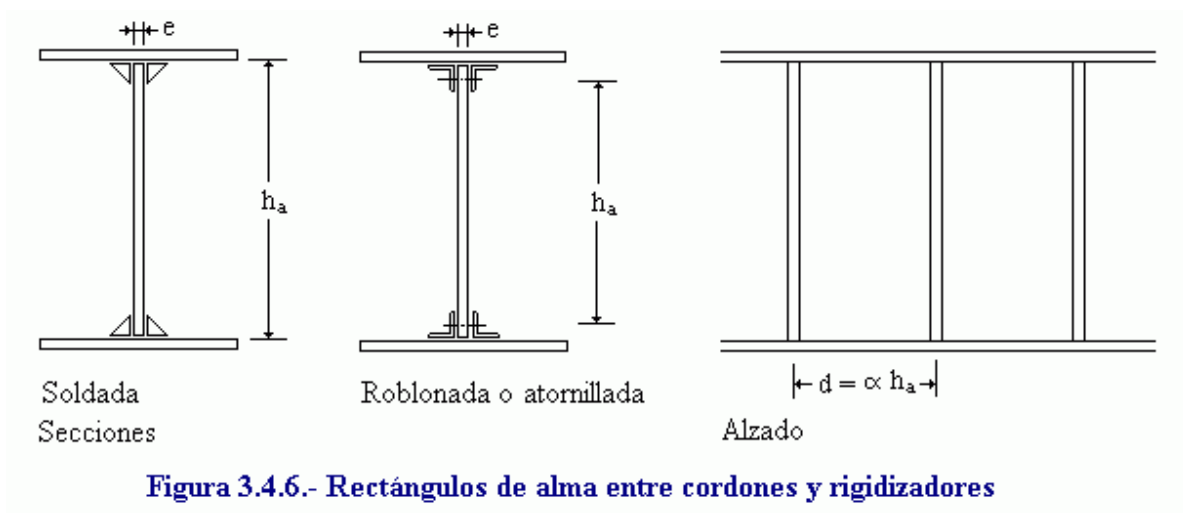
0.014 para acero A42

0.016 para acero A52

donde:

$e$  es el espesor del alma;

$h_a$  es la altura del alma medida entre caras interiores de las platabandas en el caso de vigas soldadas y entre ejes de costuras de los angulares de unión en las vigas roblonadas o atornilladas.



#### 3.4.6.1 Abolladura en el dominio elástico

En el caso de que el valor de la relación  $e/h_a$  sea menor que el indicado, será preciso estudiar el comportamiento del alma frente a la abolladura, según las reglas simplificadas que se exponen a continuación.

No es recomendable que el valor de la relación  $e/h_a$  sea menor que 0.006 para cualquier tipo de acero.

a) Se considerarán independientemente los distintos rectángulos comprendidos entre los dos cordones de la pieza y dos rigidizadores transversales ultrarrígidos, o entre dos longitudinales y dos transversales, todos ellos ultrarrígidos.

Se califica de ultrarrígido un rigidizador que pueda considerarse que permanece rectilíneo durante el proceso de abolladura del alma para lo cual debe cumplir las condiciones indicadas en 3.4.7.1 y 3.4.7.2.

b) Los rectángulos de alma se supondrán simplemente apoyados en sus cuatro bordes.

La tensión crítica ideal de abolladura de uno de estos rectángulos sometido a tensiones normales en dos de sus bordes opuestos es:

$$\sigma_{cr,i} = \kappa_1 \sigma_E$$

Cuando sobre los bordes del rectángulo actúan únicamente tensiones tangenciales, la tensión crítica ideal de abolladura es:

$$\tau_{cr,i} = \kappa_2 \sigma_E$$

donde:

$\kappa_1$  y  $\kappa_2$  son coeficientes de abolladura que se obtienen de la tabla 3.4.6.A en función del tipo de las tensiones en los bordes del rectángulo y de la relación  $\alpha = d/h_a$   
 $d$  es la distancia entre rigidizadores consecutivos;  
 $\sigma_E$  es la tensión crítica de Euler dada por:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{e}{h_a} \right)^2$$

tomando los valores de  $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  y  $\nu = 0.3$  resulta:



$$\sigma_E = 189.8 \cdot 10^4 \left( \frac{e}{h_a} \right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cuando en un rectángulo actúen simultáneamente tensiones normales cuyo valor máximo en compresión es  $\sigma_1^*$  y tensiones tangenciales de valor  $\tau^*$ , la tensión crítica de abolladura  $\sigma_{co,i}$  viene dada por:

$$\sigma_{co,i} = \frac{\sqrt{\sigma_1^{*2} + 3\tau^{*2}}}{\frac{1+\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1^*}{\sigma_{\alpha i}} + \sqrt{\left( \frac{3-\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1^*}{\sigma_{\alpha i}} \right)^2 + \left( \frac{\tau^*}{\tau_{\alpha i}} \right)^2}}$$

El significado de  $\psi$  viene indicado en la tabla 3.4.6.A.

En la fórmula anterior, si  $\tau^* = 0$ ;  $\sigma_{co,i} = \sigma_{cr,i}$  y si  $\sigma_1^* = 0$ ;  $\sigma_{co,i} = \tau_{cr,i} (3)^{1/2}$

d) En todos los rectángulos en los que haya dividido el alma debe cumplirse:

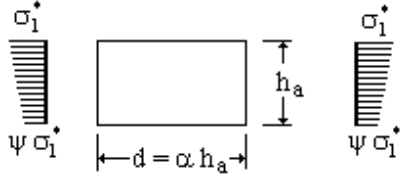
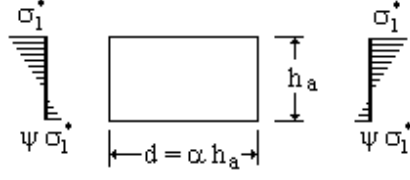
$$\sigma_{co,i} \geq \sigma_{co} = \sqrt{\sigma_1^{*2} + 3\tau^{*2}}$$

Las fórmulas anteriores son válidas en el dominio elástico, es decir, cuando  $\sigma_{co,i} \leq \sigma_p$

donde:

$\sigma_p$  es el límite de proporcionalidad del acero, de valor  $\sigma_p = 0.8\sigma_e$

**Tabla 3.4.6.A Valores de los coeficientes de abolladura**

| Solicitación | Tensión de abolladura   | Dominio de validez | Coefficiente de abolladura  |
|--------------|---|--------------------|---|
| 1            | <p>Tensiones de compresión con ley de repartición lineal <math>0 \leq \psi \leq 1</math></p>  <p><math>\sigma_i = \kappa_1 \sigma_e</math></p>   | $\alpha \geq 1$    | $\kappa_1 = \frac{10.5}{\psi + 1.1}$  |
|              |   | $\alpha < 1$       | $\kappa_1 = \left( \alpha + \frac{1}{\alpha} \right)^2 \frac{2.63}{\psi + 1.1}$   |
| 2            | <p>Tensiones de compresión y tracción con ley de repartición lineal y predominio de la compresión <math>-1 &lt; \psi &lt; 0</math></p>  <p><math>\sigma_i = \kappa_1 \sigma_e</math></p> |                    | $\kappa_1 = (1+\psi)\kappa' - \psi\kappa'' + 12.5\psi(1+\psi)$ [siendo $\kappa'$ el coeficiente para $\psi = 0$ (línea 1) y $\kappa''$ el coeficiente para $\psi = -1$ (línea 3)] |
| 3            | <p>Tensiones de compresión y tracción con ley de repartición lineal e iguales valores de borde <math>\psi = -1</math> o con predominio de la tracción <math>\psi &lt; -1</math></p> <p><math>\sigma_i = \kappa_1 \sigma_e</math></p>  | $\alpha \geq 2/3$  | $\kappa_1 = 29.9$   |

|   |  |                              |                 |   |
|---|--|------------------------------|-----------------|---|
|   |  |                              | $\alpha < 2/3$  | $\kappa_1 = 19.84 + 2.34/\alpha^2 + 10.75 \alpha^2$ |
| 4 | <p>Tensiones tangenciales repartidas uniformemente</p> | $\tau_i = \kappa_2 \sigma_e$ | $\alpha \geq 1$ | $\kappa_2 = 6.68 + 5.00 / \alpha^2$                 |
|   |  |                              | $\alpha < 1$    | $\kappa_2 = 5.00 + 6.68/\alpha^2$                   |

### 3.4.6.2 Abolladura en el dominio anelástico

En el caso de que  $\sigma_{co,i} > \sigma_p$ , se obtendrá la tensión de comparación real de abolladura  $\sigma_{co,r}$  mediante la fórmula:

$$\sigma_{co,r} = \sqrt{K_r} \sigma_{co,i}$$

donde:

$K_r$  es el indicado en 3.4.5.3 y se cumplirá

$$\sigma_{co,r} \geq \sigma_{co}$$

Los valores  $\sigma_{co,r}$  en función de  $\sigma_{co,i}$  vienen recogidos en la tabla 3.4.6.B.

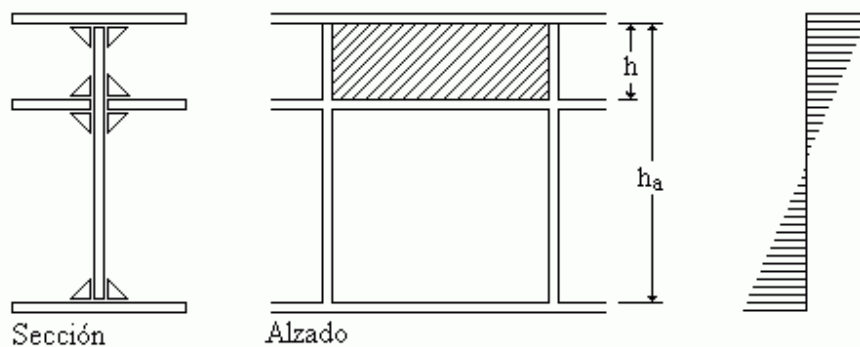
**Tabla 3.4.6.B Abolladura anelástica de alma. Valores de  $\sigma_{co,r}$**

| Tensión de comparación ideal $\sigma_{co,i}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | Tensión de comparación real $\sigma_{co,r}$ en kg/cm <sup>2</sup> para acero |      |      | Tensión de comparación ideal $\sigma_{co,i}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | Tensión de comparación real $\sigma_{co,r}$ en kg/cm <sup>2</sup> para acero |      |      |
|--|--|------|------|--|--|------|------|
|  | A37  | A42  | A52  |  | A37  | A42  | A52  |
| 1920   | 1920   | 1920 | 1920 | 3600   | 2825   | 2929 | 3362 |
| 2000   | 1990   | 2000 | 2000 | 3800   | 2911   | 3018 | 4372 |
| 2080   | 2044   | 2080 | 2080 | 4000   | 2993   | 3103 | 3578 |
| 2100   | 2057   | 2099 | 2100 | 4200   | 3072   | 3187 | 3680 |
| 2200   | 2122   | 2178 | 2200 | 4400   | 3148   | 3269 | 3780 |
| 2300   | 2182   | 2245 | 2300 | 4600   | 3226   | 3349 | 3876 |
| 2400   | 2241   | 2309 | 2400 | 4800   | 3301   | 3424 | 3970 |
| 2500   | 2298   | 2369 | 2500 | 5000   | 3372   | 3500 | 4062 |
| 2600   | 2350   | 2428 | 2600 | 5500   | 3547   | 3681 | 4281 |

|      |      |      |      |       |       |       |       |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2700 | 2403 | 2483 | 2700 | 6000  | 3713  | 3856  | 4490  |
| 2800 | 2454 | 2537 | 2800 | 6500  | 3873  | 4022  | 4678  |
| 2880 | 2494 | 2579 | 2880 | 7000  | 4021  | 4182  | 4875  |
| 2900 | 2503 | 2591 | 2899 | 8000  | 4308  | 4483  | 5234  |
| 3000 | 2553 | 2641 | 2980 | 10000 | 4838  | 5030  | 5883  |
| 3200 | 2646 | 2741 | 3119 | 20000 | 6900  | 7154  | 8416  |
| 3400 | 2739 | 2836 | 3243 | 99999 | 15160 | 16130 | 18970 |

### 3.4.7 Rigidizadores

Cuando no fuesen suficientes los rigidizadores transversales para asegurar la estabilidad del alma frente al fenómeno de abolladura, se dispondrá además un rigidizador longitudinal en la zona comprimida (figura 3.4.7) de tal forma que la relación  $h'/h_a$  sea 1/4 ó 1/5: se volverá a comprobar el rectángulo superior (rayado en la figura) y se utilizará en el cálculo de  $\sigma_E$ ,  $h'$  en sustitución de  $h_a$ .



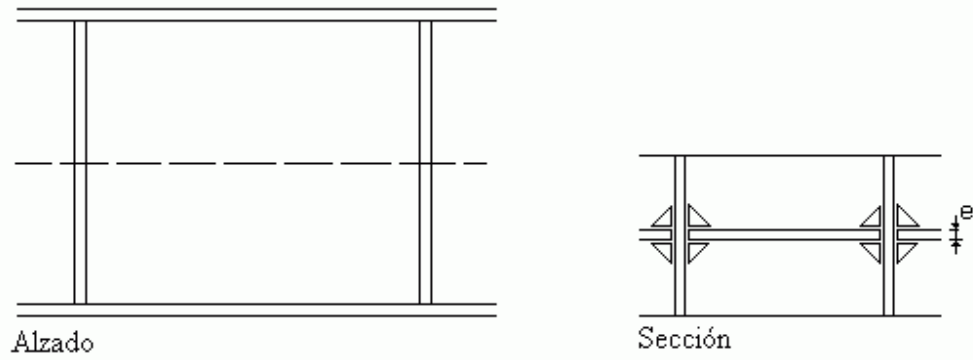
**Figura 3.4.7.- Rigidizadores**

#### 3.4.7.1 Rigidizador transversal

El momento de inercia de un rigidizador transversal, para que pueda considerarse como ultrarrígido, deberá cumplir la condición:

$$I_r \geq 1.5 \left( \frac{h_a}{50} \right)^4$$

Este momento de inercia deberá tomarse respecto a un eje contenido en el plano de simetría del alma (figura 3.4.7.1).



**Figura 3.4.7.1.- Rigidizadores transversales**

#### 3.4.7.2 Rigidizador longitudinal

El momento de inercia medido respecto al plano de simetría del alma, de un rigidizador longitudinal, para que pueda considerarse como ultrarrígido, debe cumplir la condición:

$$I_r \geq h_a e^3 (2.4 \alpha^2 - 0.13)$$

donde:

$$\alpha = d / h_a$$

## **3.5 Métodos anelásticos de cálculo**

### **3.5.1 Aceptación de métodos de cálculo no elásticos**

Si aceptan los métodos de cálculo basados en la hipótesis de admitir que el agotamiento de la estructura no se produce hasta que se hayan formado tantas rótulas cuantas sean necesarias para convertirla, en su totalidad, o en parte, en una estructura incompleta (mecanismo).

Cuando el proyectista escoja uno de estos métodos no serán de aplicación las condiciones de agotamiento definidas en 3.1.6 y debe observar siempre las limitaciones expuestas en los artículos siguientes.

### **3.5.2 Bases de cálculo**

#### **3.5.2.1 Tipos de estructura**

Los métodos anelásticos de cálculo son aplicables a los tipos de estructuras planas siguientes:

- Vigas continuas.
- Pórticos continuos, de nudos rígidos, de una o dos alturas, y uno o varios vanos.
- Pórticos continuos, de nudos rígidos, de varias alturas, de uno o varios vanos, siempre que se encuentren arriostrados verticalmente, de acuerdo con las prescripciones de 3.5.3.

Todas ellas formadas por barras rectas de alma llena, o asimilables a éstas.

#### **3.5.2.2 Cargas**

Los métodos anelásticos de cálculo son aceptados cuando las cargas que soliciten a la estructura sean de carácter predominantemente estático.

Como excepción, se permite utilizar estos métodos para el dimensionamiento de vigas continuas solicitadas por cargas móviles, siempre que el proyectista justifique debidamente que ha tenido en cuenta los fenómenos de estabilización, adquiriendo la seguridad de que las posibles deformaciones plásticas dejan de acumularse después de un determinado número de ciclos de aplicación de las cargas móviles.

#### **3.5.2.3 Aceros**

Los aceros que se utilicen para realizar las estructuras proyectadas con métodos anelásticos de cálculo deben poseer una buena soldabilidad y, sobre todo, un alargamiento igual o mayor que el 20 por 100.

Sin necesidad de justificación previa, se permite la utilización de los aceros A37b, A37c, A37d, A42b, A42c, A42d y A52d.

La utilización de cualquier otro tipo de acero requiere, por parte del proyectista, la justificación de su aptitud para permitir la formación de rótulas plásticas, así como de sus características de soldabilidad.

#### 3.5.2.4 Formación de rótulas plásticas

Se admitirá que en una sección solicitada por flexión pura, se forma una rótula plástica cuando el momento flector  $M$  alcanza el valor:

$$M_p = \sigma_u \cdot W \cdot \psi$$

llamado "momento plástico de agotamiento" en el que:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero;

$W$  es el momento resistente mínimo de la sección en el plano de la flexión;

$\psi$  es el "factor de forma"; coeficiente que depende de la forma de la sección, y cuyo valor es:

$$\psi = S / W$$

donde:

$S$  es la suma de los momentos estáticos respecto al eje neutro plástico, de las dos partes, de igual área, en que la sección queda dividida por dicho eje neutro.

En los perfiles en doble T laminados, que son los empleados más frecuentemente en las estructuras a las que se aplican estos métodos de cálculo plástico, puede tomarse, con suficiente aproximación,  $\psi = 1.12$ .

#### 3.5.2.5 Criterios de cálculo y de proyecto

El proyectista debe estudiar todos los sistemas posibles de rótulas plásticas y comprobar, en cada uno de ellos, que los valores de cada una de las cargas combinadas para conseguir la formación del sistema de rótulas igualan, o superan, a los ponderados de las cargas correspondientes que realmente actúan sobre la estructura.

Como coeficientes de ponderación se tomarán, en cada hipótesis, los consignados en la tabla 3.1.5, multiplicados por el factor 1.12.

Se justificará que se cumplen, en cada sistema de rótulas plásticas estudiado, las condiciones de equilibrio sin que, en ninguna sección fuera de las correspondientes a las rótulas supuestas, el momento flector ponderado llegue a igualar el valor del momento plástico de agotamiento correspondiente a dicha sección.

El proyectista estudiará la influencia de los esfuerzos normales y cortantes en la formación de las rótulas y comprobará que no se presenta ningún fenómeno de inestabilidad, así como que las deformaciones de la estructura se mantienen dentro

de los límites compatibles con el servicio de la misma, antes de la formación de la última rótula.

En la ejecución de la estructura, en los lugares donde se prevea la formación de rótulas plásticas, no deben permitirse bordes irregulares que no hayan sido mecanizados después del corte (son admisibles los bordes brutos de laminación); también se evitarán los agujeros punzonados que no sean escariados posteriormente, hasta eliminar todo el material que hubiera podido ser dañado por la acción del punzón. Se evitarán o reducirán al mínimo los estados triples de tensiones de tracción que pudieran ser inducidos por entalladuras geométricas.

### **3.5.3 Arriostramientos verticales**

El arriostramiento vertical que se exige para poder aplicar los métodos de cálculo plástico a los pórticos de más de dos alturas debe ser proyectado para que cumpla las misiones siguientes:

a) Evitar el pandeo del conjunto de la estructura bajo la acción de las cargas verticales ponderadas.

b) Asegurar la estabilidad lateral de la estructura, incluyendo los posibles efectos de torsión bajo la acción combinada de las cargas verticales y horizontales, todas ellas ponderadas.

Los arriostramientos verticales deben estar constituidos por vigas reticuladas de las cuales pueden formar parte, como cordones y como montantes, soportes y dinteles de los pórticos. No son recomendables, salvo estudio especial, los arriostramientos proporcionados por muros de cerramiento o de distribución.

Las vigas verticales de arriostramiento se supondrán articuladas en sus nudos a los efectos de cálculo. Se considerarán en el mismo todos los esfuerzos que les puedan ser transmitidos por los elementos planos de la estructura, tales como forjados, cubiertas y muros.

Para el estudio de la estabilidad lateral del pórtico debe tenerse en cuenta la deformación longitudinal de todas las barras de la viga de arriostramiento.

En este estudio se considerará que la carga centrada de agotamiento de cada barra, originada por todas las cargas ponderadas, tanto verticales como horizontales, es como máximo:

$$0.85 \sigma_u A$$

donde:

A es el área de la sección bruta de la barra que se considere.

Las barras de la estructura que formen parte, como montantes, del arriostramiento vertical y que estén sometidas a esfuerzos de compresión cumplirán además lo que se prescribe para los soportes en 3.5.4.

### 3.5.4 Soportes

En los soportes de pórticos dimensionados por métodos plásticos, cuando se prevea en ellos la formación de alguna rótula plástica bajo la acción de las cargas que agoten la estructura, la esbeltez en el plano de la flexión no superará los valores siguientes:

130 para acero A37 y A42

110 para acero A52

$$\frac{\sqrt{2\pi^2 E}}{\sigma_u} \quad \text{para cualquier otro tipo de acero}$$

La condición de agotamiento de un soporte solicitado a compresión centrada es:

$$N_u = A \cdot \frac{\sigma_u}{\omega}$$

En cuya expresión  $\omega$  es el coeficiente de pandeo, función de la esbeltez de la pieza cuyo valor puede tomarse de la tabla 3.2.7 según la clase de acero utilizado.

Los soportes solicitados a compresión excéntrica (esfuerzo normal  $N^*$  más momento flector  $M^*$  actuando simultáneamente) se dimensionarán para que satisfagan las condiciones siguientes, en las que los esfuerzos se introducen con sus valores ponderados:

$$M^* \leq M_p$$
$$\frac{N^*}{N_u} + \frac{C_M M_2^*}{\left(1 - \frac{N^*}{N_E}\right) M_p} \leq 1$$

donde:

$N_E$  es la carga crítica de Euler del soporte, en el plano de la flexión, consideradas las vinculaciones de sus extremos.

$$N_E = \frac{\pi^2 E I}{l_k^2}$$

$C_M$  es un coeficiente que adopta el valor:



$$C_M = 0.6 - 0.4 \frac{M_1^*}{M_2^*} \geq 0.4$$

siendo:

$M_1^* < M_2^*$ ; los momentos en los extremos del soporte  $M_1^*$  y  $M_2^*$  se consideran ambos positivos si es el mismo su sentido de giro.

Se debe comprobar además que:

$$\frac{N^*}{A \cdot \sigma_u} + \frac{0.85M_2^*}{M_p} \leq 1$$

Estas ecuaciones son aplicables a barras con cualquier tipo de sección recta siempre que la flexión tenga lugar en un plano de simetría y estén evitados el pandeo lateral y la traslación de los nudos en el plano de la estructura.

### 3.5.5 Influencia del esfuerzo cortante

No es necesaria ninguna reducción en el valor del momento plástico de agotamiento, si la tensión tangencial  $\tau_a^*$  originada en el alma por el esfuerzo cortante ponderado, cumple la condición:

$$\tau_a^* \leq 0.55 \sigma_u$$

En caso contrario se aumentará el espesor del alma para que se verifique la condición anterior.

### 3.5.6 Rigidizadores de alma

Es necesario disponer rigidizadores de alma en todas las secciones en las que, cuando actúe una carga concentrada, se prevea la formación de una rótula plástica. Estos rigidizadores pueden calcularse de acuerdo con las prescripciones de 3.4.1.5, 3.4.6 y 3.4.7.

### 3.5.7 Relaciones máximas anchura-espesor

Los elementos planos comprimidos de las piezas en las que, como consecuencia del estudio plástico de la estructura, se prevea la formación de rótulas plásticas, se ajustarán en sus relaciones de dimensiones, salvo estudio especial, a las prescripciones siguientes:

- a) Alas de perfiles laminados y platabandas de vigas armadas (figura

3.5.7.a). En los perfiles IPN puede tomarse como valor de  $e$  el de  $e_1$  de la norma UNE 36 521.

$$b/e \leq 17; \text{ para aceros A37 y A42}$$

$$b/e \leq 14; \text{ para aceros A52}$$

b) Rigidizadores y partes voladas de las chapas de vigas en cajón (figuras 3.5.7.b y c).

Deben tomarse la mitad de los valores indicados en el párrafo a.

c) Partes interiores entre líneas de roblones o de cordones de soldadura, de las chapas constituyentes de las vigas en cajón (figura 3.5.7.c).

$$b_i/e \leq 32; \text{ para aceros A37 y A42}$$

$$b_i/e \leq 27; \text{ para aceros A52}$$

d) En las almas de piezas en las que se prevea la formación de una rótula plástica (sean secciones en doble T o en cajón) la relación altura-espesor cumplirá las condiciones siguientes (figura 3.5.7.d):

para aceros A37 y A42

$$\frac{h_a}{e_a} \leq \left( 70 - 100 \frac{N}{A\sigma_u} \right), \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} \leq 0.27;$$

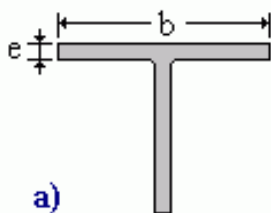
$$\frac{h_a}{e_a} \leq 63, \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} > 0.27;$$

para aceros A52

$$\frac{h_a}{e_a} \leq \left( 57 - 82 \frac{N}{A\sigma_u} \right), \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} \leq 0.27;$$

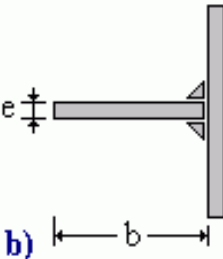
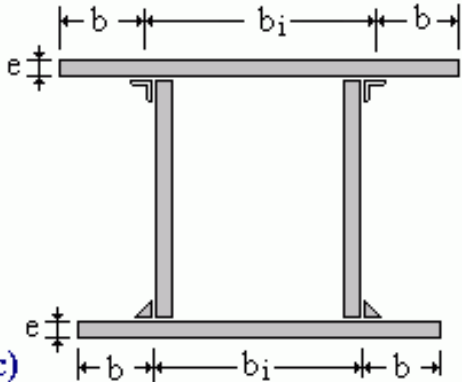
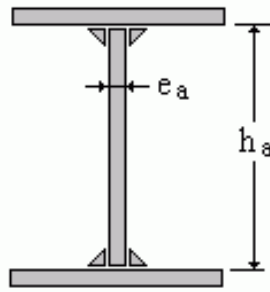
$$\frac{h_a}{e_a} \leq 51, \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} > 0.27;$$

En las fórmulas anteriores debe introducirse  $N$  con sus valores característicos.



$$b/e \leq 17 \text{ para aceros A37 y A42}$$

$$b/e \leq 14 \text{ para aceros A52}$$

|   |  |
|---|--|
|  <p><b>b)</b></p>   | $b/e \leq 8.5$ para aceros A37 y A42<br>$b/e \leq 7$ para aceros A52   |
|  <p><b>c)</b></p>  | $b/e \leq 8.5$ para aceros A37 y A42<br>$b/e \leq 7$ para aceros A52<br>$b_i/e \leq 32$ para aceros A37 y A42<br>$b_i/e \leq 27$ para aceros A52   |
|  <p><b>d)</b></p> | <p>Para aceros A37 y A42</p> $\frac{h_a}{e_a} \leq \left( 70 - 100 \frac{N}{A\sigma_u} \right), \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} \leq 0.27;$ $\frac{h_a}{e_a} \leq 63, \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} > 0.27;$ <p>Para aceros A52</p> $\frac{h_a}{e_a} \leq \left( 57 - 82 \frac{N}{A\sigma_u} \right), \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} \leq 0.27;$ $\frac{h_a}{e_a} \leq 51, \text{ si } \frac{N}{A\sigma_u} > 0.27;$ |

**Figura 3.5.7.- Mínima delgadez de elementos planos**

### 3.5.8 Uniones

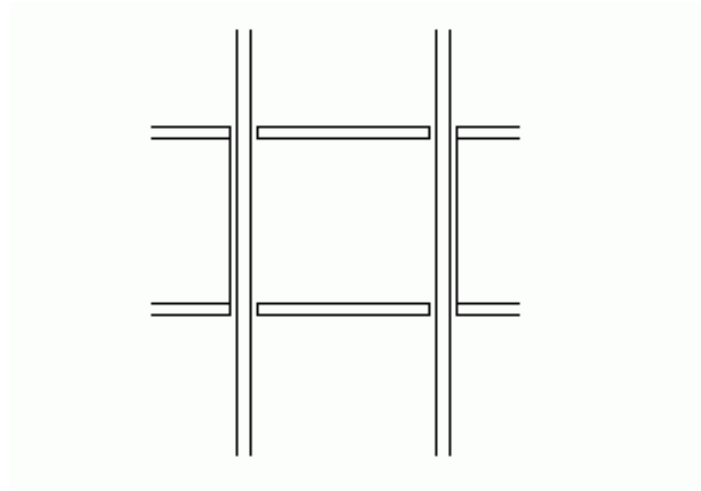
Al proyectar las uniones de las estructuras dimensionadas por métodos plásticos debe cuidarse que la rigidez de las mismas sea suficiente para asegurar la continuidad en la que se fundamentan los fenómenos de adaptación plástica entre las secciones y que son los que sirven de base al cálculo plástico.

Todos los elementos de unión deben ser dimensionados, en este caso, para que las solicitaciones provocadas en los mismos por el sistema de cargas ponderadas que agoten la estructura no superen, en ningún punto, la de agotamiento de cada elemento, tal como haya sido definida en el correspondiente apartado de esta norma.

Cuando del estudio efectuado se deduzca la posibilidad de formación de una rótula plástica en la sección extrema teórica de una barra, debe comprobarse en el

nudo que dicha barra pueda desarrollar su plena capacidad de resistencia plástica.

Las alas de barras que sea preciso interrumpir para formar el nudo deben continuar mediante rigidizadores colocados a un lado y a otro del alma de la barra que cruza con la primera (figura 3.5.8).



**Figura 3.5.8.- Rigidizadores de continuidad**

### **3.5.9 Arriostramientos laterales**

En las estructuras dimensionadas por métodos plásticos, las piezas flectadas se inmovilizarán lateralmente en todas las secciones en las que el cálculo prevea la formación de una rótula plástica, a fin de evitar el pandeo lateral de dichas piezas. La distancia  $d$  entre este arriostramiento y el inmediato cumplirá las limitaciones siguientes:

$$d \leq \left( \frac{96250}{\sigma_u} + 25 \right) i_y$$

donde:

$i_y$  es el radio de giro del cordón comprimido (3.4.5).

## 3.6 Uniones roblonadas y atornilladas

### 3.6.1 Disposiciones y recomendaciones generales

Este capítulo se refiere a las uniones realizadas mediante roblones, tornillos ordinarios, tornillos calibrados y tornillos de alta resistencia.

En cada estructura los roblones y tornillos utilizados serán de dos o tres diámetros distintos, bien diferenciados.

Se denominan uniones de fuerza o costuras de fuerza a aquellas cuya misión fundamental es la de transmitir cargas a perfiles o a piezas de una estructura; y uniones de atado o acoplamiento o costuras de atado o acoplamiento a aquellas cuya principal misión es la de mantener unidos entre si y en su posición inicial los perfiles que forman una pieza compuesta.

Se denominan empalmes a las uniones de fuerza cuyas piezas o perfiles están en prolongación. No se permitirán otros empalmes distintos de los indicados en los planos del proyecto ni situados en sitios diferentes de los indicados.

Se recomienda una estrecha colaboración entre el Proyectista y el Constructor a fin de reducir al mínimo el número de uniones que deben efectuarse en obra. Este vendrá determinado por los medios de transporte y por la maquinaria auxiliar de que disponga el Constructor, así como por las dimensiones totales de la estructura.

Se aconseja seguir la buena práctica de proyectar las uniones de obra que puedan presentar dificultades de ejecución mediante tornillos.

Las piezas que deban unirse con roblones y tornillos deben presentarse rectas y planas, para que en las juntas haya contacto perfecto.

Si en una unión la transmisión del esfuerzo de compresión debe efectuarse por contacto directo, se mecanizarán las superficies que deben asegurar esta transmisión, y se indicará en los planos.

Cuando en una unión se emplee soldadura juntamente con roblones o tornillos, éstos se considerarán como simples elementos de fijación y la soldadura se calculará para que pueda, por si sola, transmitir toda la carga.

Excepcionalmente, los tornillos de alta resistencia podrán utilizarse conjuntamente con la soldadura como elementos resistentes, siempre que en la ejecución de la costura se sigan las reglas de la buena práctica.

Sin embargo, cuando deban realizarse refuerzos o modificaciones en estructuras roblonadas en servicio en buenas condiciones de conservación, podrá admitirse la colaboración de los roblones con la soldadura en la función resistente.

Se supondrá, entonces, que los roblones existentes transmiten los esfuerzos debidos a las cargas permanentes antiguas y se calcularán las soldaduras para transmitir los debidos a todas las sobrecargas, así como el exceso de carga permanente que pueda resultar de la modificación o refuerzo.

Cuando haya que utilizar en una misma unión, como elementos componentes, roblones y tornillos, sólo se permitirá la utilización de tornillos calibrados o de tornillos de alta resistencia. Se prohíbe la utilización, a estos efectos, de tornillos ordinarios.

Las uniones y empalmes deben calcularse para los esfuerzos que los elementos unidos son capaces de transmitir, teniendo en cuenta sus dimensiones y su disposición. Se exceptúa el caso en que los esfuerzos actuantes hayan sido determinados con precisión y no puedan ser aumentados por la introducción de elementos nuevos en la construcción o por la presencia de elementos no considerados.

Cuando los esfuerzos calculados sean de débil cuantía, es aconsejable realizar el empalme o unión de tal manera que éste pueda transmitir una tercera parte de cada una de las sollicitaciones que son capaces de absorber las piezas unidas.

Cuando en los empalmes los cubrejuntas o elementos similares posean como mínimo los mismos valores del momento de inercia, del módulo resistente y del área de la sección, teniendo en cuenta las diferentes líneas de rotura posibles, que la pieza empalmada, no será necesaria su comprobación, aunque sí la de los

correspondientes medios de unión.

### 3.6.2 Elementos de unión

#### 3.6.2.1 Roblones

Los roblones que se utilicen en las estructuras se ajustarán en todas sus características a las prescripciones dadas en 2.4.

Los roblones con cabeza bombeada o plana sólo podrán utilizarse en casos excepcionales, en los que la cabeza saliente del roblón normal o esférico pudiera impedir el ajuste debido entre los elementos de la estructura.

El diámetro nominal del roblón es el de su espiga (caña) en frío, antes de colocar.

El diámetro del agujero será 1 mm mayor que el diámetro nominal del roblón. La longitud de la espiga del roblón debe elegirse de tal forma que, al ser colocado, se rellene completamente el agujero y pueda formarse la cabeza de cierre con sus dimensiones debidas. Para los roblones colocados por medios mecánicos, únicos permitidos en esta norma, se recomienda que la longitud de la espiga del roblón en bruto sea:

$$I = \frac{4d}{3} + \sum e$$

donde:

d es el diámetro nominal del roblón;

$\sum e$  es la suma de espesores de los elementos que forman la unión.

#### 3.6.2.2 Tornillos ordinarios y calibrados

Los tornillos ordinarios y calibrados con sus tuercas y arandelas se ajustarán en todas sus características a las prescripciones dadas en los apartados 2.5.2 a 2.5.6.

El diámetro nominal de un tornillo ordinario es el de su espiga (caña).

Los tornillos calibrados se designarán por los mismos diámetros nominales que los tornillos ordinarios; el diámetro de la espiga debe coincidir con el del agujero, con las tolerancias prescritas en la Parte 5.

#### 3.6.2.3 Tornillos de alta resistencia.

Los tornillos de alta resistencia, con sus tuercas y arandelas, se ajustarán a las prescripciones dadas en los apartados 2.5.7 a 2.5.10.

El diámetro nominal de un tornillo de alta resistencia es el de su espiga (caña).

El diámetro del agujero será 1 mm o a la sumo 2 mm mayor que el de la espiga.

Los tornillos de alta resistencia deben apretarse hasta conseguir en su espiga una tensión igual, como mínimo, al 80 por 100 de su límite de fluencia.

El momento torsor de apretadura que debe aplicarse se determinará mediante la expresión:

$$M_a = \kappa d N_o$$

donde:

$\kappa$  es un coeficiente que, para los tornillos en las condiciones de suministro (ligeramente engrasados), vale aproximadamente 0.18;

d es el diámetro nominal del tornillo;

$N_o$  es el esfuerzo axial de tracción que ha de conseguirse en la espiga del tornillo.

En la tabla 3.6.2.3 se indican los valores del momento torsor de apretadura  $M_a$  (para  $\kappa = 0.18$ ), en función del diámetro nominal del tornillo.

**Tabla 3.6.2.3 Valores del momento torsor de apretadura**

| Diámetro nominal del tornillo (mm) | Momento de apretadura $M_a$ (m kg) |       |
|------------------------------------|------------------------------------|-------|
|                                    | A10t                               | A8t   |
| TR 12                              | 11.9                               | 8.4   |
| TR 16                              | 29.8                               | 21.2  |
| TR 20                              | 58.4                               | 41.5  |
| TR 22                              | 80.7                               | 57.1  |
| TR 24                              | 101.0                              | 71.7  |
| TR 27                              | 149.0                              | 106.0 |

A fin de garantizar los valores reales de los momentos torsores indicados en la tabla, se recomienda aplicar con la llave dinamométrica un momento mayor en un 10 por 100, aproximadamente, que el valor correspondiente de la tabla 3.6.2.3.

### 3.6.3 Disposiciones constructivas

Las distancias  $s$  entre los centros de agujeros de diámetro  $a$ , que unan piezas, cuyo espesor mínimo es  $e$ , cumplirán las condiciones siguientes (figura 3.6.3.A)

|               |  |   |
|---------------|--|---|
| Valor mínimo: | para roblones<br>para tornillos                            | $s \geq 3a$<br>$s \geq 3.5a$                                    |
| Valor máximo: | en general<br><br>en uniones de atado de piezas a tracción | $s \leq 8a$<br>$s \leq 15e$<br><br>$s \leq 15a$<br>$s \leq 25e$ |

Cuando se prevean más de dos filas paralelas de roblones o tornillos en la dirección del esfuerzo, en las filas interiores, el valor máximo de la distancia  $s'$  en esta dirección puede ser el doble del indicado.

Las distancias  $t$  entre los centros de los agujeros y los bordes cumplirán las condiciones siguientes:

|               |                                      |                                  |
|---------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Valor mínimo: | al borde frontal<br>al borde lateral | $t_1 \geq 2a$<br>$t_2 \geq 1.5a$ |
| Valor máximo: | a cualquier borde                    | $t \leq 3a$<br>$t \leq 6a$       |

A título de orientación, se recomienda la siguiente regla para la elección de los diámetros de los roblones o de los tornillos:

$$d \cong \sqrt{5 \cdot e} - 0,2$$

donde:

$e$  es el espesor menor, en centímetros, de las piezas que forman la unión;  
 $d$  el diámetro, en centímetros, de la espiga del roblón o del tornillo.

La suma de espesores de las piezas unidas no excederá para los roblones o tornillos ordinarios de  $4.5d$ , siendo  $d$  el diámetro del tornillo o del roblón.

Con tornillos calibrados, la suma de espesores de las piezas unidas podrá alcanzar el valor 6.5d.

No existe ninguna limitación especial en el caso de uniones con tornillos de alta resistencia.

En las estructuras roblonadas o atornilladas todas las uniones de fuerza deben constar de un mínimo de dos roblones o tornillos.

Se exceptúan de esta prescripción las barras formadas por un solo angular en las celosías ligeras y los elementos secundarios cuya misión sea únicamente de arriostramiento.

No se considerará la colaboración simultánea de más de cinco roblones o tornillos en una misma fila paralela a la dirección del esfuerzo axial de la pieza, a menos que se adopten medidas constructivas especiales, que deben justificarse debidamente en el anejo de cálculo, indicando el reparto del esfuerzo resultante en los roblones o tornillos.

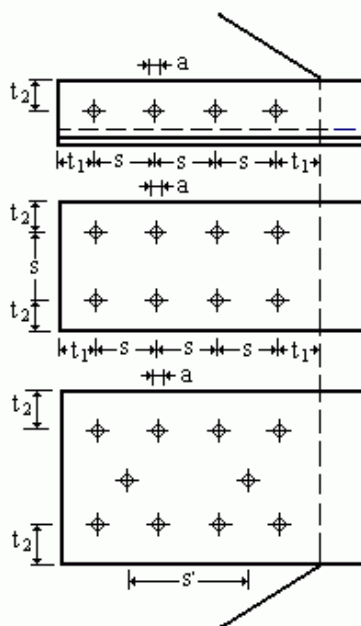
El cumplimiento de la regla anterior puede llevar a la necesidad de disponer casquillos de angular en los extremos de la barra; la unión de estos casquillos a la barra se efectuará con el 150 por 100 de los roblones o tornillos que serían teóricamente necesarios para transmitir la parte de esfuerzo correspondiente a los roblones o tornillos de unión del casquillo a la cartela (figura 3.6.3.B).

Cuando un cubrejuntas no esté colocado directamente sobre la pieza a la que sirve, existiendo entre ambos forros u otros elementos (figura 3.6.3.C) el número de roblones que sería necesario disponer, en el caso de contacto directo, se multiplicará por el factor:

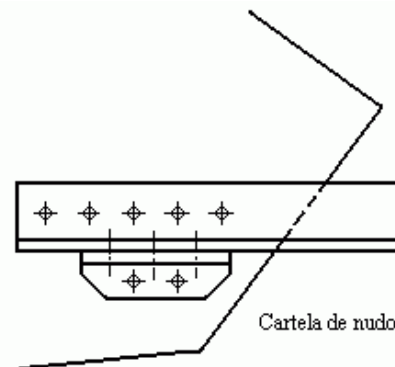
$$1 + 0.3m$$

donde:

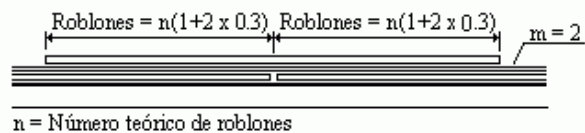
m es el número de elementos intermedios.



**Figura 3.6.3A.- Disposiciones constructivas**



**Figura 3.6.3B**



**Figura 3.6.3C**

### 3.6.4 Cálculo de los esfuerzos en los elementos de unión

En el Anejo 3.A5 se resumen algunas de las fórmulas utilizables para el cálculo de las solicitaciones sobre los elementos de unión, roblones o tornillos, partiendo de los esfuerzos que solicitan al conjunto de la unión.

### 3.6.5 Resistencia de los elementos de unión

Se considerará como solicitación de agotamiento de un perfil o de una chapa solicitados a aplastamiento



contra la espiga de un roblón o de un tornillo a la dada por el producto:

- $2 \sigma_u A$ , para los tornillos ordinarios;
- $2.5 \sigma_u A$ , para los roblones y los tornillos calibrados;
- $3 \sigma_u A$ , para los tornillos de alta resistencia;

donde:

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero que forma la estructura;  
 $A$  es el área de la superficie de contacto definida a continuación.

Como superficie de contacto entre espiga y chapa o perfil unido para la sollicitación de aplastamiento se tomará la que resulte de multiplicar el diámetro del agujero en los roblones o el de la espiga en los tornillos por el espesor del elemento que transmite o recibe el esfuerzo.

Se considerará como sollicitación de agotamiento de un roblón sollicitado a esfuerzo cortante, la dada por el producto:

$$0.80 \sigma_R n A$$

donde:

$\sigma_R$  es la resistencia de cálculo del roblón, que, de acuerdo con el capítulo 2.4, adoptará el valor  $\sigma_R = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ;  
 $n$  es el número de secciones transversales que resisten conjuntamente al esfuerzo cortante;  
 $A$  es el área de la sección del agujero.

Cuando excepcionalmente y por razones constructivas un roblón esté sollicitado a tracción, se considerará como sollicitación de agotamiento la dada por el producto:

$$0.25 \sigma_R A$$

donde:

$\sigma_R$  es la resistencia de cálculo del roblón;  
 $A$  es el área de la sección del agujero.

No obstante, deben evitarse las uniones en las que los roblones estén sollicitados a tracción.

Cuando excepcionalmente un roblón esté sollicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, se comprobará que:

$$\left( \frac{N^*}{R_t} \right)^2 + \left( \frac{T^*}{R_c} \right) \leq 1$$

donde:

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado de tracción;  
 $R_t = 0.25 \sigma_R A$  es la sollicitación de agotamiento a tracción;  
 $T^*$  es el esfuerzo cortante ponderado;  
 $R_c = 0.80 n \sigma_R A$  es la sollicitación de agotamiento a esfuerzo cortante.

Se considerará como sollicitación de agotamiento de un tornillo sollicitado a esfuerzo cortante la dada por el producto:

$$0.65 \sigma_t n A, \text{ para los tornillos ordinarios;}$$

$$0.80 \sigma_t n A, \text{ para los tornillos calibrados;}$$

donde:

$\sigma_t$  es la resistencia de cálculo del tornillo, dada por el fabricante que, de acuerdo con 2.5, adoptará los valores siguientes:

tornillo en acero 4D:  $\sigma_t = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ;

tornillo en acero 5D:  $\sigma_t = 3000 \text{ kg/cm}^2$ ;

(Podrá observarse que las características mecánicas de los aceros no coinciden con las del capítulo 2.5, pero sí con las normas DIN);

$n$  es el número de secciones transversales que resisten conjuntamente al esfuerzo cortante;

$A$  es el área de la sección de la espiga.

Se considerará como sollicitación de agotamiento de un tornillo solicitado a tracción la dada por el producto.

$$0.80 \sigma_t A_r$$

donde:

$\sigma_t$  es la resistencia de cálculo del tornillo, dada por el fabricante;

$A_r$  es el área resistente del tornillo (2.5.3).

Cuando un tornillo esté sollicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, se comprobará que:

a) El esfuerzo de tracción es inferior a la sollicitación de agotamiento antes definida.

b) En la espiga del tornillo se verifique:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 3\tau^{*2}} \leq \sigma_t$$

donde:

$\sigma^*$  es la tensión normal ponderada originada por el esfuerzo de tracción;

$\tau^*$  es la tensión tangencial ponderada originada por el esfuerzo cortante;

$\sigma_t$  es la resistencia de cálculo del tornillo, dada por el fabricante.

El esfuerzo axial de pretensado que actúa sobre la espiga de un tornillo de alta resistencia se tomará a efectos de cálculo:

$$N_0 = 0.80 \sigma_e A_n$$

donde:

$\sigma_e$  es el límite elástico del material del tornillo;

$A_n$  es el área del núcleo del tornillo.

El esfuerzo de pretensado para los tornillos tipificados en 2.5 vale:

**Tabla 3.6.5 Esfuerzo de pretensado para tornillos**

| Diámetro nominal del tornillo (mm) | $N_0$ en t |           |
|------------------------------------|------------|-----------|
|                                    | Acero A10t | Acero A8t |
| TR 12                              | 5.5        | 3.9       |
| TR 16                              | 10.3       | 7.3       |
| TR 20                              | 16.2       | 11.5      |
| TR 22                              | 20.2       | 14.4      |
| TR 24                              | 23.3       | 16.6      |

Se considerará como sollicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia, sometido a un esfuerzo perpendicular a su eje, la dada por el producto:

$$1.07 N_0 \mu n$$

donde:

$N_0$  es el esfuerzo de pretensado que actúa sobre su espiga;

$\mu$  es el coeficiente de rozamiento entre las superficies en contacto;

$n$  es el número de secciones en contacto entre las chapas o perfiles que componen la unión.

Como valor del coeficiente de rozamiento se tomará  $\mu = 0.30$  para superficies que no hayan sufrido ningún tratamiento y para cualquier tipo de acero. Con superficies preparadas, bien al chorro de arena o de granalla de acero, o bien con soplete, y observando todas las condiciones necesarias para el buen éxito de esta operación, podrán tomarse, como valores del coeficiente de rozamiento:

$\mu = 0.45$  para acero A37;

$\mu = 0.52$  para acero A42;

$\mu = 0.60$  para acero A52.

Se considerará como sollicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia, sometido a un esfuerzo de tracción en la dirección de su eje, el valor  $N_0$  del esfuerzo de pretensado que actúa sobre su espiga.

Cuando simultáneamente actúan esfuerzos en la dirección del eje y en dirección perpendicular al mismo, se considerará como sollicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia en la dirección del eje, a la magnitud  $N_0$  y como sollicitación de agotamiento en la dirección perpendicular al mismo, la dada por:

$$1.07 (N_0 - N^*_T) \mu n$$

donde:

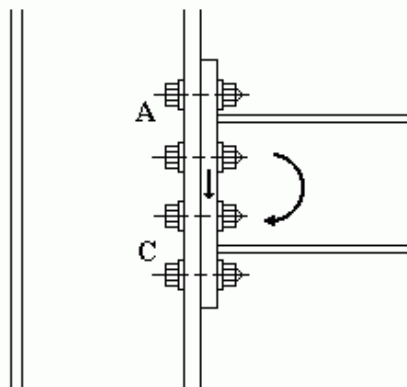
$N_0$  es el esfuerzo de pretensado que actúa sobre su espiga;

$N^*_T$  es el esfuerzo de tracción ponderado que actúa en la dirección de su eje;

$\mu$  es el coeficiente de rozamiento entre las superficies en contacto;

$n$  es el número de secciones en contacto entre las chapas o perfiles que componen la unión.

Cuando sobre una unión formada por tornillos de alta resistencia actúan simultáneamente un esfuerzo cortante en el plano de la unión y un momento perpendicular al mismo (figura 3.6.5), no se considerará reducción ninguna para la sollicitación de agotamiento de la unión en la dirección perpendicular a los ejes de los tornillos, es decir, que la resistencia de la unión a esfuerzo cortante puede ser calculada como si no existiese el momento flector.



**Figura 3.6.5 Momento y esfuerzo cortante actuando conjuntamente**

## 3.7 Uniones soldadas

### 3.7.1 Generalidades

Este capítulo se refiere a las uniones mediante soldeo por arco eléctrico por los procedimientos I, II y III, según se describen en la Parte 5.

Pueden efectuarse uniones por el procedimiento de soldeo eléctrico por resistencia, justificando su idoneidad mediante ensayos sobre soldaduras realizadas con máquinas del mismo tipo que las que vayan a utilizarse, trabajando en las mismas condiciones y utilizando aceros de la misma clase.

No se precisará esta justificación para puntos realizados por soldeo eléctrico por resistencia en las costuras de simple acoplamiento.

#### 3.7.1.1 Clase de acero de los elementos

En el proyecto se especificará la clase del acero que debe emplearse en cada elemento de la estructura.

#### 3.7.1.2 Prescripciones para las soldaduras

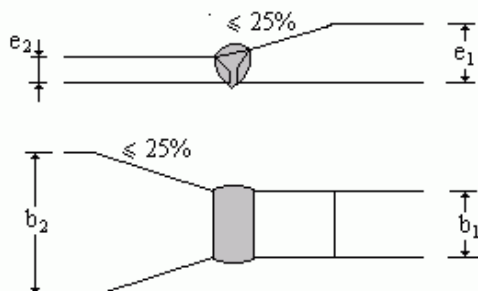
Las definiciones y las prescripciones para las soldaduras realizadas por arco eléctrico figuran en la Parte 5 de esta norma.

No se considerarán como resistentes las soldaduras que, por su difícil accesibilidad, no pueden realizarse en buenas condiciones. En particular, no se considerarán las soldaduras de rincón con chapas que formen un ángulo menor que  $60^\circ$ .

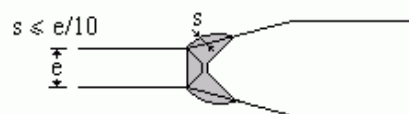
En los planos se indicará claramente el tipo y dimensiones de las soldaduras y si fuera necesario el orden en que deben realizarse con el fin de reducir al mínimo las tensiones residuales.

### 3.7.2 Uniones con soldadura a tope

En una soldadura a tope de chapas de distinta sección, la de mayor sección se adelgazará en la zona de contacto, con pendientes no mayores que el 25 por 100, para obtener una transición suave de la sección (figura 3.7.2.A).



**Figura 3.7.2.A.- Soldadura a tope de chapas de distinta sección**



**Figura 3.7.2.B.- Sobreespesor  $s$  de una soldadura a tope**

La soldadura a tope no debe producir discontinuidad en la sección, y su sobreespesor  $s$  no será mayor que el 10 por 100 del espesor  $e$  de la chapa más delgada (figura 3.7.2.B).

#### 3.7.2.1 Resistencia de las soldaduras a tope

Una soldadura a tope que una totalmente dos piezas, realizada con las condiciones recogidas en la Parte 5, y cuyo espesor sea no menor que el espesor de la pieza más delgada, no requiere cálculo.

### 3.7.3 Uniones con soldaduras de ángulo

Las prescripciones dimensionales para las soldaduras de ángulo se recogen en la Parte 5.

Se recomienda que la garganta de la soldadura no sea mayor que la exigida por el cálculo, respetando el mínimo establecido. En general, se preferirán las soldaduras planas o cóncavas a las convexas.

Cuando se empleen procedimientos de soldadura para los que resulte garantizada una penetración  $e$ , que rebase el punto de la raíz teórica, por ejemplo, mediante procedimientos automáticos o semiautomáticos de soldeo bajo polvo o en atmósfera inerte, puede tomarse para la garganta de la soldadura el valor:

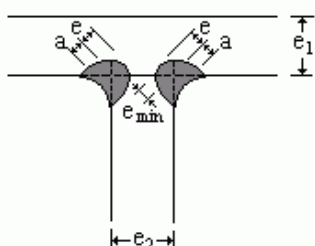
$$a' = a + \frac{e_{\min}}{2}$$

determinándose  $e_{\min}$  mediante ensayos para cada procedimiento de soldeo (figura 3.7.3.A).

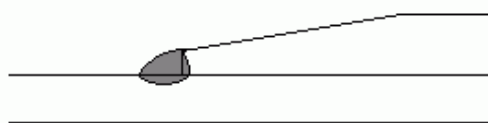
En las uniones con soldaduras que se cruzan se seguirán las prescripciones de 5.2.4.

En un perfil o chapa traccionados no es recomendable disponer una soldadura de ángulo perpendicular a la dirección del esfuerzo.

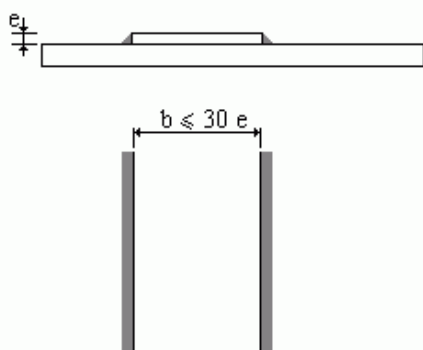
Si se dispone una soldadura frontal en el extremo de una platabanda traccionada (figura 3.7.3.B), se biselará este extremo cuando la platabanda esté sometida a variaciones de tensión importantes (vigas de rodadura de puentes-grúa, por ejemplo). La soldadura frontal debe ser triangular de lados desiguales asegurando una transición suave de la sección.



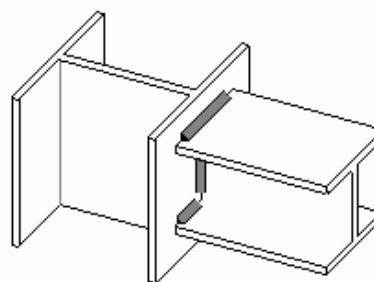
**Figura 3.7.3.A.- Penetración de una soldadura en ángulo**



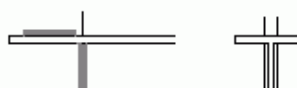
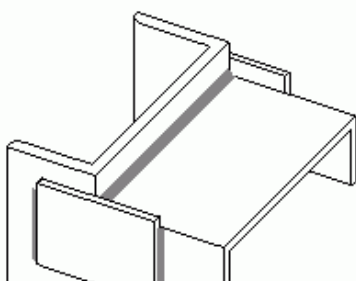
**Figura 3.7.3.B.- Soldadura frontal en el extremo de una platabanda traccionada**

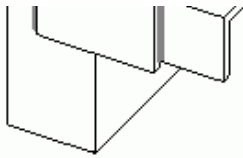


**Figura 3.7.3.C.- Condición de anchura en las chapas de una barra compuesta**

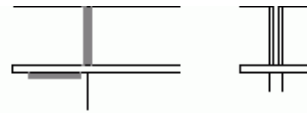


**Figura 3.7.3.D.- Unión plana**





**Figura 3.7.3.E.- Unión espacial**



**Figura 3.7.3.F.- Unión mixta**

Se recomienda que las chapas que vayan a unirse mediante soldaduras de ángulo en sus bordes longitudinales, a otra chapa, o a un perfil, para construir una barra compuesta, no tengan un ancho mayor que treinta veces su espesor (figura 3.7.3.C).

Cuando por alguna circunstancia especial no pueda cumplirse la condición anterior, pueden utilizarse soldaduras de ranura en las chapas que forman parte de una pieza comprimida, para asegurar la pieza contra el pandeo local. Las soldaduras de ranura se utilizarán sólo en las condiciones previstas en la Parte 5.

Las uniones que tienen soldaduras de ángulo se clasifican, para su comprobación, en tres clases:

- Uniones planas, constituidas únicamente por soldaduras de ángulo cuyas aristas están en un solo plano (figura 3.7.3.D).
- Uniones espaciales, constituidas únicamente por soldaduras de ángulo cuyas aristas no están en un solo plano (figura 3.7.3.E).
- Uniones mixtas, constituidas por soldaduras de ángulo y soldaduras a tope (figura 3.7.3.F).

### 3.7.3.1 Tensiones que deben considerarse en una soldadura de ángulo

Hay que tener en cuenta dos tipos de tensiones:

a) Referidas al plano de la garganta (figura 3.7.3.1.a):

donde:

$\sigma$  es la tensión normal, perpendicular al plano de garganta;

$\tau_n$  es la tensión tangencial normal a la arista;

$\tau_a$  es la tensión tangencial paralela a la arista.

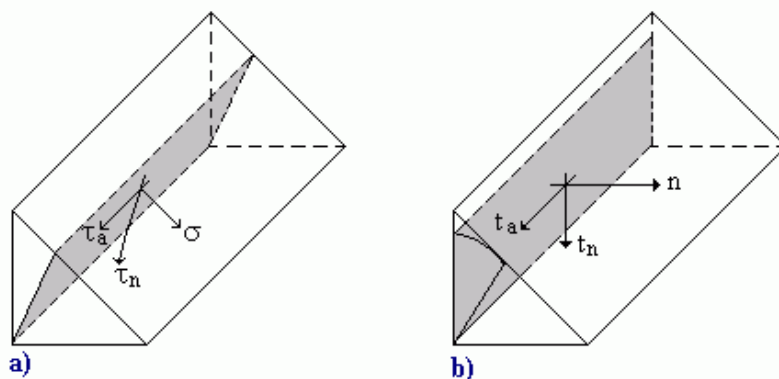
b) Referidas al plano de una de las caras de la soldadura en la que ha sido abatida la sección de garganta (figura 3.7.3.1.b):

donde:

$n$  es la tensión normal que actúa en el plano de una de las caras de la soldadura;

$t_n$  es la tensión tangencial normal a la arista contenida en el plano de una de las caras de la soldadura;

$t_a$  es la tensión tangencial paralela a la arista, contenida en el plano de una de las caras de la soldadura.



**Figura 3.7.3.1.- Tensiones en una soldadura de ángulo**

### 3.7.3.2 Condición de seguridad para soldadura de ángulo

La condición de seguridad, de base experimental, en una soldadura de ángulo es:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 1.8(\tau_n^{*2} + \tau_a^{*2})} \leq \sigma_u$$

donde:

$\sigma_{co}$  es la tensión de comparación;

$\sigma^*$  es la tensión normal ponderada, referida al plano de garganta;

$\tau_n^*$  es la tensión tangencial ponderada, normal a la arista, referida al plano de garganta;

$\tau_a^*$  es la tensión tangencial ponderada, paralela a la arista, referida al plano de garganta;

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero.

### 3.7.3.3 Cálculo de las soldaduras de ángulo que constituyen una unión plana

Se hará de acuerdo con los procedimientos de la norma UNE 14 035, teniendo en cuenta que los esfuerzos que deben considerarse son los ponderados y que la condición de seguridad se refiere a la resistencia del acero y no a la tensión admisible.

En el Anejo 3.A6 se resumen los casos más usuales de uniones planas y las fórmulas prácticas para el cálculo.

### 3.7.3.4 Cálculo de las soldaduras de ángulo que constituyen una unión espacial

En el Anejo 3.A6 se resumen los casos más frecuentes en la práctica estudiados en la norma UNE 14 035.

## 3.8 Aparatos de apoyo

### 3.8.1 Generalidades

Se denominan aparatos de apoyo a aquellos elementos cuya misión es transmitir las cargas desde la estructura propiamente dicha a la cimentación o infraestructura.

Los aparatos de apoyo deben responder lo más fielmente posible a las condiciones de vinculación adoptadas en las hipótesis de cálculo.

En particular, deben tenerse en cuenta las fuerzas originadas por el rozamiento (rodillos) o deformación elástica (apoyos de goma) de los aparatos de apoyo móviles. Se comprobarán los esfuerzos adicionales introducidos en la estructura debidos a las reacciones reales de los vínculos de apoyo.

Las superficies mecanizadas de los aparatos de apoyo se cubrirán de grasa grafitada u otro lubricante que asegure el juego suave del aparato y la protección de los elementos móviles. Deben adoptarse medidas para la reposición y conservación de dichos lubricantes.

Para la comprobación de los elementos no metálicos (macizos de cimentación, apoyos de goma, etc.) deben utilizarse los esfuerzos y tensiones adecuados (característicos o ponderados).

### 3.8.2 Apoyos fijos

Las placas de apoyo deben estar constituidas de tal modo que transmitan los esfuerzos lo más uniformemente posible hacia la estructura y el macizo de cimentación. Deben estar dotadas de gran rigidez a fin de considerar las deformaciones despreciables a efectos del reparto de las cargas.

Cuando se desee transmitir únicamente un esfuerzo de compresión y el elemento de apoyo esté constituido por una placa rigidizada por cartelas de chapa, ésta se comprobará a flexión suponiendo que la reacción del macizo de apoyo es uniforme.

Las compresiones que se originen en el macizo de apoyo no deben exceder de las presiones de cálculo para el material de que se trate.

Cuando la reacción de apoyo sea importante y en particular cuando se produzcan fuertes inclinaciones de la directriz en virtud de la flexión, se recomienda intercalar, un taco de compresión (figura 3.8.2.A).

Cuando se trate de transmitir una compresión excéntrica y no se dispongan elementos de anclaje, la placa se dimensionará a flexión admitiendo una ley lineal para la reacción del macizo.

En el borde más comprimido de la placa, la tensión sobre el macizo de cimentación no debe exceder de la presión de cálculo en el material de que se trate. En la comprobación de la estabilidad al deslizamiento deben tenerse en cuenta los coeficientes de rozamiento  $\mu$  entre la placa de acero y el material del macizo de cimentación. Salvo justificación especial podrán tomarse los valores siguientes:

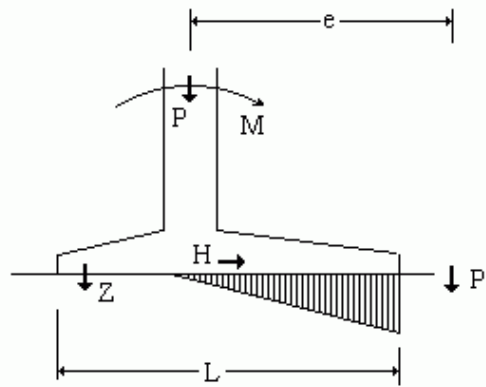
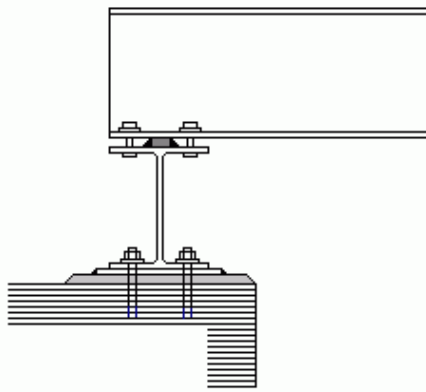
Acero con acero .....  $\mu = 0.30$

Acero con hormigón .....  $\mu = 0.45$

Cuando se trate de materializar un empotramiento y se disponga una placa de apoyo anclada al macizo de cimentación, podrán adoptarse, tanto para el cálculo de la compresión máxima sobre el macizo como para el esfuerzo de tracción en el anclaje, cualquiera de las dos hipótesis de cálculo siguientes:

Ley triangular (figura 3.8.2.B).





**Figura 3.8.2.A.- Anclaje con taco de compresión**

**Figura 3.8.2.B.- Ley triangular de tensiones**

Ley uniforme, en una extensión no superior al cuarto de la longitud de la placa y situada junto al borde comprimido de la misma (figura 3.8.2.C).

En ambas hipótesis, la tensión máxima en el borde más comprimido no debe exceder de la presión máxima admisible en el material del macizo.

Cuando el anclaje de la placa se realice mediante espárragos, serán válidas para el dimensionamiento de los mismos las reglas previstas para los tornillos ordinarios (3.6.5).

La resistencia a los esfuerzos cortantes siempre que no se dispongan otros elementos capaces de resistirlos, tales como nervaduras, bastidores, etc., debe ser confiada exclusivamente a los espárragos de anclaje, prescindiendo de la colaboración del rozamiento entre placa y macizo.

Se dispondrán siempre arandelas entre la placa de apoyo y las tuercas de los espárragos. Estas se inmovilizarán mediante puntos de soldadura o cualquier otro método eficaz.

En el caso de que el apoyo se realice por bulón o charnela, no deben rebasarse los límites siguientes:

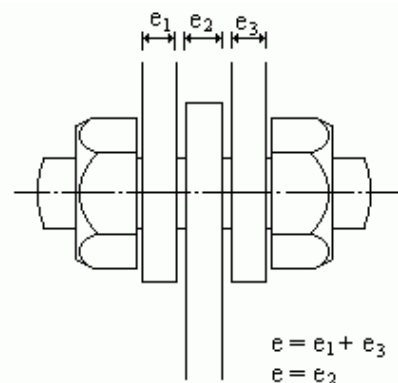
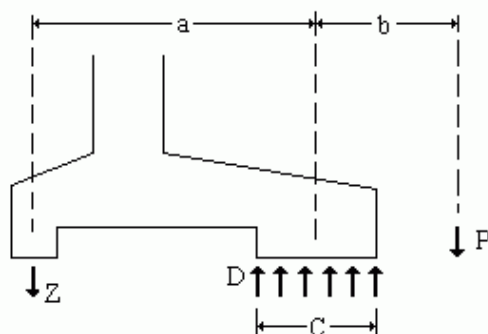
Tensión de aplastamiento  $\sigma^* \leq 1.4 \sigma_u$  (en apoyos no sujetos a rotación).

Tensión de aplastamiento  $\sigma^* \leq 0.7 \sigma_u$  (en apoyos sujetos a rotación).

Tensión de cortadura  $\tau^* \leq 0.7 \sigma_u$

Como valor de  $\sigma_u$  se tomará el correspondiente al bulón en la comprobación de cortadura y el más bajo de los elementos en contacto en la comprobación de aplastamiento.

Para el cálculo de la tensión de aplastamiento se adoptará como valor del área la resultante de multiplicar el diámetro del pasador o bulón por el espesor de la chapa (figura 3.8.2.D).



**Figura 3.8.2.C.- Ley uniforme de tensiones**

**Figura 3.8.2.D.- Unión de chapas con pasador**

Para el cálculo de la tensión de cortadura se adoptará como área la del pasador o bulón.

Las rótulas esféricas se dimensionarán para que la presión teórica,  $p^*$ , en la superficie de contacto no exceda del valor  $5 \sigma_u$ , es decir:

$$p^* \leq 5 \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la tensión de cálculo de acero utilizado en la construcción de las rótulas.

Como valor de la presión teórica se tomará (1):

$$p^* = 63.63 \sqrt[3]{F \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)^2} \text{ t/cm}^2$$

(1) Se supone que una de las superficies es cóncava y la otra convexa. Si ambas fueran convexas debe cambiarse el signo - por + dentro del paréntesis.

donde:

F es la carga total característica transmitida (en t);

$r_1$  y  $r_2$  son los radios (en cm) de las dos superficies esféricas en contacto.

Cuando una de las superficies es un plano, la expresión se reduce a:

$$p^* = 63.63 \sqrt[3]{\frac{F}{r^2}} \text{ t/cm}^2$$

Si la esfera de menor radio se limita por una superficie cilíndrica de diámetro d, debe comprobarse que:

$$\frac{4F^*}{\pi \cdot d^2} \leq \sigma_u$$

Las rótulas cilíndricas se dimensionarán de tal modo que la máxima presión,  $p^*$ , en la superficie de contacto cumpla la condición siguiente:

$$p^* \leq 5 \sigma_u$$

donde:

$\sigma_u$  es la tensión de cálculo del acero utilizado en las rótulas.

La presión máxima teórica se determinará mediante la expresión (2):

$$p^* = 19.16 \sqrt{\left( \frac{F}{L} + 6H \cdot \frac{h}{L^2} \right) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \text{ t/cm}^2$$

(2) Se supone que una de las superficies es cóncava y la otra convexa. Si ambas fueran convexas, debe cambiarse el signo - por + dentro del segundo paréntesis.

donde:

F es la carga total característica transmitida;

L es la longitud real de la generatriz de contacto;

H es el empuje característico paralelo a las generatrices de la superficie cilíndrica;

h es la distancia entre el punto de aplicación de H y la generatriz de contacto;

$r_1$  y  $r_2$  son los radios de las dos superficies cilíndricas.

En el caso frecuente de que una de las superficies sea plana, la fórmula se reduce a:

$$p^* = 19.16 \sqrt{\left( \frac{F}{L} + 6H \cdot \frac{h}{L^2} \right) \frac{1}{r}} \text{ t/cm}^2$$

### 3.8.3 Apoyos móviles

Cuando por la pequeña importancia de la estructura un apoyo móvil esté constituido por dos placas deslizantes, además de su comprobación a flexión según 3.8.2, dicho apoyo cumplirá la condición siguiente.

$$\frac{F^*}{A} \leq 0.8 \sigma_u$$

donde:

$F^*$  es el esfuerzo total ponderado transmitido;

$A$  es la superficie teórica de contacto entre ambas placas;

$\sigma_u$  es la resistencia de cálculo del acero de que están constituidas las placas.

No se aconseja el empleo de apoyos móviles constituidos por placas deslizantes, salvo en el caso en que el deslizamiento producido y la reacción sean de débil cuantía.

En el supuesto de que ambas superficies estén debidamente lubricadas, podrá adoptarse como valor del coeficiente de rozamiento por deslizamiento:

$$\mu = 0.20$$

Para el dimensionamiento de los rodillos de un apoyo (figura 3.8.3) se seguirán las prescripciones de 3.8.2, tomándose como valor de  $F^*$ :

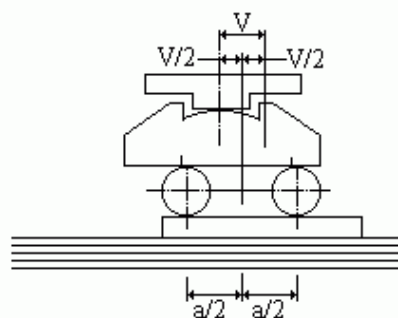
$$F^* = F_{\text{total}}^* \left( \frac{1}{n} + \frac{v}{2a} \right)$$

donde:

$n$  es el número (siempre par) de rodillos;

$v$  es recorrido máximo, previsto para el apoyo móvil;

$a$  es la distancia entre los ejes de los dos rodillos exteriores.



**Figura 3.8.3.- Apoyo móvil**

El movimiento de traslación de los rodillos debe ser guiado convenientemente. Cuando estos no sean de sección completa, se comprobará que el contacto entre placas y rodillos tiene lugar dentro de la superficie cilíndrica en las posiciones extremas del aparato. La distancia entre ejes de rodillos debe ser tal

que evite los acodamientos durante los movimientos del aparato.

En el dimensionamiento de los apoyos móviles constituidos por materiales elásticos (goma, neopreno) con bajos módulos de elasticidad y reforzados con una armadura de acero a fin de coaccionar el asentamiento bajo carga, se tendrán en cuenta las limitaciones siguientes:

- a) Tensión máxima de trabajo bajo las cargas permanentes;
- b) Tensión máxima de trabajo bajo las cargas permanentes y las sobrecargas máximas;
- c) Máxima distorsión angular admisible en el material:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Sigma v}{h}$$

donde:

$\Sigma v$  es el desplazamiento total máximo del apoyo;

$h$  es el espesor total de las capas de goma que contiene el apoyo.

- d) Estabilidad al deslizamiento entre las capas que componen el apoyo;
- e) Estabilidad al deslizamiento entre las capas exteriores y la estructura o macizo de cimentación.

Es aconsejable disponer el lado mayor del apoyo perpendicular al eje del tramo, a fin de evitar un aumento de las tensiones debido al giro de la estructura sobre el apoyo.

Dichos apoyos, sometidos a un desplazamiento máximo de valor  $\Sigma v$ , dan lugar a una reacción  $H$ , que debe tenerse en cuenta en el cálculo, de valor:

$$H = AG \frac{\Sigma v}{h}$$

donde:

$H$  es la reacción del apoyo (en kg);

$A$  es el área total del apoyo (en  $\text{cm}^2$ );

$G$  es el módulo de elasticidad transversal del material constituyente del apoyo (en general  $G = 9$  a  $10 \text{ kg/cm}^2$ );

$\Sigma v$  es el desplazamiento total máximo del apoyo;

$h$  es el espesor total de las capas de goma que contiene el apoyo.

La altura total del apoyo vendrá, en general, condicionada por la máxima distorsión angular admisible, sin perjuicio de que algunas veces resulte interesante aumentar dicha altura a fin de reducir el valor de la reacción horizontal del apoyo.

# Anejos de la Parte 3

## Anejo 3.A1 Recomendaciones para la elección de la calidad del acero en estructuras soldadas

### **Generalidades**

Dentro del tipo de acero adoptado, para estructuras soldadas, se elige el grado que se empleará para los elementos estructurales en función de su susceptibilidad a la rotura frágil y del grado de responsabilidad del elemento en la estructura.

Las características de un acero, básicas para enjuiciar su susceptibilidad a la rotura frágil, son: su composición química sobre el producto, mucho más importante aquí que su composición sobre colada, y su resiliencia a la temperatura establecida.

En el proyecto se determinará la clase de acero requerida, teniendo en cuenta las condiciones técnicas del mismo y siguiendo las recomendaciones contenidas en este capítulo. No obstante, se puede adoptar la clase de acero que se juzgue adecuada, justificando técnicamente su elección.

### **Circunstancias que influyen en la rotura frágil**

En la probabilidad de que se produzca rotura frágil de un elemento estructural influyen las circunstancias siguientes:

#### ***Temperatura mínima***

La probabilidad de rotura frágil aumenta al descender la temperatura. La temperatura mínima, que es previsible que llegue a soportar la estructura, es función de las características climáticas de la localidad y de la protección térmica de los revestimientos. Se considera clasificada en dos grupos:

- No menor que  $-10^{\circ}\text{C}$ .
- Menor que  $-10^{\circ}\text{C}$  y no menor que  $-30^{\circ}\text{C}$ .

En casos singulares, cuando sean previsibles temperaturas menores que  $-30^{\circ}\text{C}$ , se realizará estudio especial.

#### ***Espesor del producto***

La probabilidad de rotura frágil aumenta al crecer el espesor del producto; en caso de productos con espesores variables, son decisivos los espesores de las zonas más próximas a los cordones de soldadura.

#### ***Deformación en frío del producto***

La probabilidad de rotura frágil aumenta al crecer la magnitud de la deformación en frío

que haya sufrido el producto.

El grado de deformación que se tendrá en cuenta es el que se haya producido en las zonas próximas a las soldaduras. Se considerarán también como deformaciones en frío las obtenidas mediante conformaciones en caliente a temperaturas inferiores al punto de transformación.

Estas recomendaciones se refieren al caso más frecuente en que la deformación en frío es menor que el 2 por 100, y deben extremarse las características requeridas para los materiales cuando dicha deformación sea mayor.

### ***Clase de los esfuerzos***

La probabilidad de rotura frágil de un elemento estructural sometido a esfuerzos principalmente estáticos es menor que la del que está solicitado por esfuerzos alternados o procedentes de acciones dinámicas.

Las tablas 3.A1.2, 3.A1.3 y 3.A1.4 se refieren a los elementos estructurales que están sometidos a esfuerzos principalmente estáticos.

### ***Estados de tensiones***

Los estados de tensiones triaxiales, cuando las tres tensiones principalmente son de tracción, tienden a fragilizar el acero. Como en la práctica de las estructuras se presentarán muy raramente estados de tensiones triaxiales debidos únicamente a la actuación de las cargas, los posibles estados de tensiones triaxiales se originan por la forma o por la ejecución de que los elementos estructurales (tensiones residuales de laminación, de soldadura o de deformación en frío; efectos de entalladura, etc.). Su evaluación va, pues, ligada a la de otros factores que se consideran en este anejo.

### ***Condiciones de forma y de ejecución***

Tanto la forma del elemento como su proceso de ejecución pueden modificar el estado de tensiones debido a las acciones exteriores provocando una triaxilidad que acentúe la probabilidad de la rotura frágil. En este aspecto conviene distinguir dos grados: normal y difícil, cuya influencia se tendrá en cuenta en la elección del material. La clasificación correcta de un elemento estructural, en uno u otro grado, depende mucho de la experiencia profesional del proyectista. A título de indicación puede decirse que deben ser incluidos en el grado "difícil" los elementos estructurales con entalladuras o con cambios bruscos de sección; los que presentan cordones de soldadura transversales a esfuerzos normales de tracción, etc.

### ***Responsabilidad de un elemento en la estructura***

En la elección de la calidad es muy importante considerar la magnitud de los daños que pueden causarse si en un elemento se produce una rotura. Para ello se consideran tres niveles de responsabilidad de los elementos:

**Primer nivel:** elemento estructural cuyo fallo produciría sólo daños leves y fácilmente reparables.

**Segundo nivel:** elemento estructural cuyo fallo produciría solo daños locales o una disminución local de la utilidad de la estructura.

**Tercer nivel:** elemento estructural cuyo fallo comprometería la existencia o la utilidad de la estructura total, o de parte importante de ella.

## Método para la elección de la clase de acero

Para elegir la clase de acero conveniente para la ejecución de un elemento estructural se obtiene primeramente su clasificación previa en la tabla 3.A1.1 en función de su nivel de responsabilidad y de sus condiciones de forma y ejecución, según los criterios de los párrafos anteriores. Los espesores máximos, en función de la clasificación previa de los elementos, figuran en las tablas 3.A1.2, 3.A1.3 y 3.A1.4 para aceros tipo A37, A42 y A52, respectivamente.

No se han considerado espesores mayores que 50 mm, y deben adoptarse precauciones especiales para la fabricación de los elementos estructurales cuando fuese totalmente necesario sobrepasar dicho límite.

**Tabla 3.A1.1 Clasificación previa de un elemento estructural**

| Nivel de responsabilidad del elemento  | Condiciones de forma y ejecución del elemento estructural | Clasificación del elemento |    |
|--|---|----------------------------|----|
|  |   | I                          | II |
| Primer nivel<br>Elemento cuyo fallo produciría sólo daños leves y fácilmente reparables.   | Normal  | D                          | E  |
|  | Difícil   | C                          | D  |
| Segundo nivel<br>Elemento cuyo fallo produciría sólo daños locales a una disminución local de la utilidad de la estructura   | Normal  | C                          | D  |
|  | Difícil   | B                          | C  |
| Tercer nivel.<br>Elemento cuyo fallo comprometería la existencia o la utilidad de la estructura total, o parte importante de ella  | Normal  | B                          | C  |
|  | Difícil   | B                          | C  |
| La clasificación I corresponde a la que debe considerarse en general.<br>La clasificación II se utilizará únicamente cuando las solicitaciones sean predominantemente de carácter estático y el elemento considerado esté débilmente solicitado. |   |                            |    |

**Tabla 3.A1.2 Elección de la calidad en acero A37 para elementos soldados solicitados a tracción**

| Clasificación previa del elemento a temperatura mínima soportada |                            | Espesor máximo, en mm, de los productos siendo la clase de acero: |    |      |      |
|--|----------------------------|---|----|------|------|
| $\geq -10^{\circ}\text{C}$                                       | $\geq -30^{\circ}\text{C}$ | A37b  |    | A37c | A37d |
|  |                            | E   | NE |      |      |
| -  | A                          | 8   | 20 | 25   | 50   |

|   |   |    |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|
| -   | B | 12 | 25 | 30 | 50 |
| A   | C | 16 | 30 | 40 | 50 |
| B   | D | 20 | 40 | 40 | 50 |
| C, D, E   | E | 20 | 50 | 50 | 50 |
| Para elementos y zonas comprimidas se considerarán los espesores máximos de la línea inferior.<br>E= Efervescente;<br>NE = No efervescente) |   |    |    |    |    |

**Tabla 3.A1.3 Elección de la calidad en acero A42 para elementos soldados solicitados a tracción**

| Clasificación previa del elemento a temperatura mínima soportada                               |                            | Espesor máximo, en mm, de los productos siendo la clase de acero: |      |      |
|--|----------------------------|---|------|------|
| $\geq -10^{\circ}\text{C}$   | $\geq -30^{\circ}\text{C}$ | A42b  | A42c | A42d |
| -  | A                          | 16  | 25   | 50   |
| -  | B                          | 20  | 30   | 50   |
| A  | C                          | 25  | 35   | 50   |
| B  | D                          | 30  | 40   | 50   |
| C, D, E  | E                          | 35  | 40   | 50   |
| Para elementos y zonas comprimidas se considerarán los espesores máximos de la línea inferior. |                            |   |      |      |

**Tabla 3.A1.4 Elección de la calidad en acero A52 para elementos soldados solicitados a tracción**

| Clasificación previa del elemento a temperatura mínima soportada |                            | Espesor máximo, en mm, de los productos siendo la clase de acero: |      |      |
|--|----------------------------|---|------|------|
| $\geq -10^{\circ}\text{C}$                                       | $\geq -30^{\circ}\text{C}$ | A52b  | A52c | A52d |
| -  | A                          | 6   | 25   | 50   |
| -  | B                          | 10  | 30   | 50   |
| A  | C                          | 12  | 35   | 50   |
| B  | D                          | 16  | 40   | 50   |
| C, D, E  | E                          | 20  | 40   | 50   |



## Anejo 3.A2 Cálculo de tensiones en piezas de directriz recta

Se resumen en este anejo (tabla 3.A2.1) las fórmulas más usuales de resistencia de materiales para el cálculo de tensiones normales y tangenciales, según distintos tipos de sección y posición de las sollicitaciones de momentos y esfuerzos cortantes M y T, con relación a la sección.

Se utiliza el triedro de referencia de la figura 3.A2.1 con origen en el baricentro de la sección.

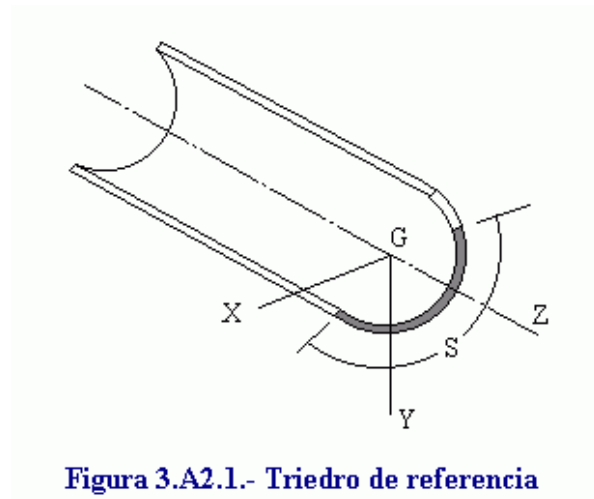
**Tabla 3.A2.1A.- Tensiones normales y tangenciales**

| <b>Tensiones normales</b>  |  |   |
|--|--|---|
| Sección asimétrica sometida a un momento de eje contenido en el plano XY   | $\vec{M} = \vec{M}_x + \vec{M}_y$ $\sigma_z = \frac{M_x(I_y \cdot y - I_{xy} \cdot x) - M_y(I_{xy} \cdot y - I_x \cdot x)}{I_x \cdot I_y - I_{xy}^2}$  |   |
| Sección asimétrica sometida a un momento de eje contenido en el plano XY, siendo los ejes X e Y principales de inercia   | $\vec{M} = \vec{M}_x + \vec{M}_y$ $\sigma_z = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}$   | $I_{xy} = 0$<br>Este caso es también el de una sección que sea simétrica respecto a los ejes X e Y        |
| Sección simétrica respecto a un eje normal al del momento  | $\vec{M} = \vec{M}_x; \vec{M}_y = 0$ $\sigma_z = \frac{M_x \cdot y}{I_x}$  | $I_{xy} = 0$<br>Eje Y = eje de simetría   |
| <b>Tensiones tangenciales</b>  |  |   |
| Sección abierta de débil espesor sometida a un esfuerzo cortante contenido en el plano XY<br>$\vec{T} = \vec{T}_x + \vec{T}_y$   | $\tau_o = \frac{-T_y}{t_o(I_x I_y - I_{xy}^2)} \left[ I_y \int_0^s y t ds - I_{xy} \int_0^s x t ds \right] + \frac{-T_x}{t_o(I_x I_y - I_{xy}^2)} \left[ I_{xy} \int_0^s y t ds - I_x \int_0^s x t ds \right]$ | Se supondrá que $\tau_o$ es paralela a la tangente a la línea media de la sección en el punto considerado |
| Sección abierta de débil espesor sometida a un esfuerzo cortante contenido en el plano XY, siendo los ejes X e Y principales de inercia<br>$\vec{T} = \vec{T}_x + \vec{T}_y$ | $t_0 = \text{espesor de la sección en el punto considerado}$ $\tau_0 = -\frac{T_y S_x}{t_0 I_x} - \frac{T_x S_y}{t_0 I_y}$   | $I_{xy} = 0$<br>$S_x = \int_0^s y t ds$<br>$S_y = \int_0^s x t ds$  |

**Figura 3.A2.1B.- Tensiones normales y tangenciales**

| <b>Tensiones tangenciales</b>   |                                    |                                 |
|---|------------------------------------|---------------------------------|
| Sección abierta de débil espesor sometida a un esfuerzo cortante paralelo a un eje de simetría<br>$\vec{T} = \vec{T}_x$ | $\tau_0 = \frac{T_x S_y}{t_0 I_y}$ | $\vec{T}_y = 0$<br>$I_{xy} = 0$ |

|  |  |  |
|--|--|--|
| Secciones en I y en simple cajón<br>sometidas a un esfuerzo cortante<br>paralelo a un eje de simetría<br>$\vec{T} = \vec{T}_x$ | $\tau = \frac{T_x}{A_a}$   | $\vec{T}_y = 0$<br>En las secciones en I la platabanda más<br>pequeña debe representar al menos el 15<br>por 100 de la sección total       |
| Sección cerrada de débil espesor de<br>pared   | $\tau = \tau_0 + \frac{\tau_1}{t}$ $\tau_1 = \frac{\oint \tau_0 d_s}{\oint \frac{d_s}{t}}$ | $\tau_0$ = tensión tangencial en la sección<br>supuesta abierta mediante un corte ficticio<br>$\tau_1$ = tensión tangencial complementaria |



**Figura 3.A2.1.- Triángulo de referencia**

## Anejo 3.A3 Cálculo de piezas solicitadas a torsión

En las piezas sometidas a torsión cabe distinguir dos tipos: el de las piezas cuya principal función es la transmisión de un par torsor, sólo o combinado con esfuerzos de flexión o axiles, y el de las piezas en las cuales la torsión es un efecto secundario indeseable que puede producir una excesiva deformación o una rotura prematura.

Las piezas del primer tipo se proyectan con secciones macizas o cerradas. Los perfiles abiertos no son apropiados para este tipo de sollicitación y debe evitarse que ésta se presente en ellos, mediante disposiciones constructivas adecuadas. Por ello no es frecuente el caso de cálculo de piezas torsionadas en estructuras de edificación. No obstante, en este anejo se resumen las fórmulas de torsiones y deformaciones en algunos casos más usuales.

Debido a las condiciones de vinculación de la pieza, deben distinguirse dos casos de torsión:

### ***Torsión pura o uniforme***

Se dice que una pieza prismática de directriz recta cuyos extremos pueden alabeo libremente está sometida a torsión uniforme cuando está sollicitada en sus extremos por dos momentos de torsión iguales y opuestos. En este caso, el momento torsor es constante a lo largo de la barra y produce el mismo alabeo en todas las secciones.

El ángulo girado por unidad de longitud es constante y se calculará mediante la expresión:

$$\theta_t = \frac{M_T}{G I_T}$$

donde:

$\theta_t$  es el ángulo girado por unidad de longitud;

$M_T$  es el momento torsor;

$G$  es el módulo de elasticidad transversal;

$I_T$  es el módulo de torsión que se calculará de acuerdo con la tabla 3.A3.1;

$G I_T$  es la rigidez torsional que juega el mismo papel que  $E I$  en la flexión.

La torsión uniforme sólo produce tensiones tangenciales. Su valor máximo viene dado por la expresión:

$$\tau_{\max}^* = \frac{M_t^*}{W_T}$$

donde

$\tau_{\max}^*$  es la máxima tensión tangencial ponderada que se produce en una sección cualquiera de la pieza.

$W_T$  es el módulo resistente a la torsión, cuyos valores se calcularán de acuerdo con la tabla 3.A3.1.

### ***Torsión no uniforme***

Tiene lugar cuando no se cumplen las hipótesis del caso anterior. En este caso alguna sección de la pieza no puede alabeo libremente, o el momento torsor varía a lo largo de la barra; por tanto, el alabeo de las secciones rectas no es el mismo en todas ellas y se crean tensiones normales además de las tensiones tangenciales.

### ***Piezas sometidas a torsión no uniforme que se calcularán a torsión pura***

Las piezas sometidas a torsión no uniforme, en las que el módulo de alabeo de su sección  $I_A$  sea nulo o de pequeño valor respecto al módulo de torsión  $I_T$  se calcularán como si estuviesen sometidas a torsión pura.

Se considerarán secciones de módulos de alabeo nulo o pequeño:

- a) Secciones llenas, tales como redondos, cuadrados, hexágonos, etc.
- b) Secciones en corona circular de pequeño espesor (tubos).
- c) Secciones en cajón, tales que el cociente de sus dos dimensiones no exceda de cuatro.

Se tendrá en cuenta que el ángulo  $\theta_t$  no es constante por no serlo el momento torsor. El ángulo de giro relativo entre dos secciones cualesquiera A y B se calculará mediante la expresión:

$$\theta_{AB} = \frac{1}{GI_T} \int_A^B M_T dz$$

Las tensiones se calcularán de acuerdo con las fórmulas dadas en la tabla 3.A3.1.

### ***Torsión no uniforme de piezas de sección abierta de pequeño espesor***

No se recomienda el empleo de secciones abiertas trabajando a torsión, debiendo el proyectista evitarlas en lo posible mediante las oportunas disposiciones constructivas. Cuando exista se calculará según 4.4 y el anejo 4.A1.

### ***Piezas con sección I simétrica***

Para las piezas con sección I simétrica se puede emplear el procedimiento simplificado que se expone a continuación:

El momento torsor exterior  $M_T^*$  se descompondrá en dos momentos torsores  $M_{T1}^*$  y  $M_{T2}^*$  tales que:

$$M_{T1}^* = \alpha M_T^*$$

$$M_{T2}^* = (1 - \alpha) M_T^*$$

Para la obtención del coeficiente  $\alpha$  se determinará:

a) El giro máximo  $\varphi_{máx.1}$  que se produce en la pieza entre dos secciones cualesquiera, supuesto que el momento torsor  $M_T$  actuó como si la torsión fuese uniforme:

$$\varphi_{máx.1} = \frac{1}{GI_T} \int_A^B M_T^* dz$$

donde:

A y B son las secciones de la pieza entre las que el giro relativo es máximo;

$GI_T$  es la rigidez de torsión;

z es la directriz de la pieza (se tomará como triedro de referencia el de la figura 3.A3.1).

b) El giro máximo  $\varphi_{máx.2}$  que se produce en la pieza cuando se absorbe el momento torsor  $M_T^*$  por flexión de las alas.

Para ello se sustituirá el momento torsor  $M_T^*$  por dos fuerzas paralelas al eje X, aplicadas en el centro de gravedad de las alas tales que:

$$M_T^* = F^* d$$

donde:

d es la distancia entre los centros de gravedad de las alas.

Se calculará la flecha máxima  $f_{máx}$  de un ala sometida a estas fuerzas  $F^*$ , teniendo en cuenta la vinculación de los extremos.

En este caso:

$$\varphi_{máx.2} = 2 f_{máx} / d$$

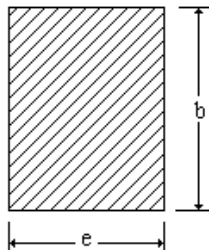
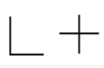

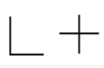

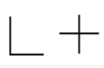

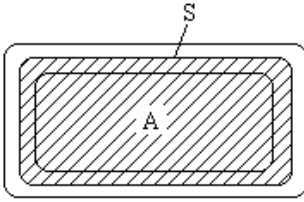
c) Obtenidos los valores  $\varphi_{máx.1}$  y  $\varphi_{máx.2}$  el coeficiente  $\alpha$  vendrá dado por la expresión:

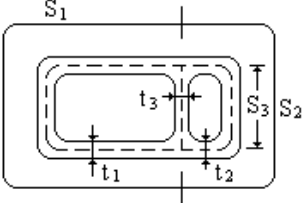
$$\alpha = \frac{\varphi_{máx.2}}{\varphi_{máx.1} + \varphi_{máx.2}}$$

Las tensiones normales y tangenciales se determinarán a partir de las solicitaciones  $M_{T1}^*$ ,  $F^*$  y  $M^*$  ( $M^*$  momento flector ponderado producido por las fuerzas  $F^*$  en la flexión horizontal de las alas), teniendo en cuenta su significación física.

En la figura 3.A3.2 se indican las tensiones que se producen en las alas de un perfil I sometido a torsión no uniforme.

**Tabla 3.A3.1.- Piezas solicitadas a torsión uniforme**

| <p>Pieza de sección rectangular</p>                           | $\tau_{\text{máx}}^* = \frac{M_T^*}{W_T} = \frac{\theta_t G I_T}{W_T}$ $I_T = \beta b e^3$ $W_T = \mu b e^2$ $\tau^* = \frac{M_T^*}{W_T}$ <p>La <math>\tau_{\text{máx}}^*</math> se presenta en el centro del lado mayor. En el centro del lado menor la <math>\tau_e^*</math> tiene el valor</p> $\tau_e^* = \tau_{\text{máx}}^* \frac{e}{b}$ | <p><math>\beta, \mu</math> = coeficientes<br/>b = lado mayor<br/>e = lado menor</p> <table><tr><th>m=b/e</th><th><math>\mu</math></th><th><math>\beta</math></th></tr><tr><td>1.0</td><td>0.208</td><td>0.141</td></tr><tr><td>1.5</td><td>0.238</td><td>0.196</td></tr><tr><td>2.0</td><td>0.256</td><td>0.229</td></tr><tr><td>2.5</td><td>0.269</td><td>0.249</td></tr><tr><td>3.0</td><td>0.278</td><td>0.263</td></tr><tr><td>4.0</td><td>0.290</td><td>0.281</td></tr><tr><td>5.0</td><td>0.298</td><td>0.291</td></tr><tr><td>6.0</td><td>0.303</td><td>0.299</td></tr><tr><td>7.0</td><td>0.307</td><td>0.303</td></tr><tr><td>8.0</td><td>0.310</td><td>0.307</td></tr><tr><td>9.0</td><td>0.312</td><td>0.310</td></tr><tr><td>10.0</td><td>0.314</td><td>0.313</td></tr><tr><td>&gt;10.0</td><td>0.333</td><td>0.333</td></tr></table> | m=b/e    | $\mu$   | $\beta$ | 1.0   | 0.208 | 0.141   | 1.5 | 0.238        | 0.196 | 2.0 | 0.256 | 0.229 | 2.5 | 0.269 | 0.249 | 3.0 | 0.278 | 0.263 | 4.0 | 0.290 | 0.281 | 5.0 | 0.298 | 0.291 | 6.0 | 0.303 | 0.299 | 7.0 | 0.307 | 0.303 | 8.0 | 0.310 | 0.307 | 9.0 | 0.312 | 0.310 | 10.0 | 0.314 | 0.313 | >10.0 | 0.333 | 0.333 |
|--|--|---|----------|---------|---------|---|-------|---|-----|--------------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| m=b/e  | $\mu$  | $\beta$   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 1.0  | 0.208  | 0.141   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 1.5  | 0.238  | 0.196   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 2.0  | 0.256  | 0.229   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 2.5  | 0.269  | 0.249   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 3.0  | 0.278  | 0.263   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 4.0  | 0.290  | 0.281   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 5.0  | 0.298  | 0.291   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 6.0  | 0.303  | 0.299   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 7.0  | 0.307  | 0.303   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 8.0  | 0.310  | 0.307   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 9.0  | 0.312  | 0.310   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 10.0   | 0.314  | 0.313   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| >10.0  | 0.333  | 0.333   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| <p>Pieza de sección abierta formada por varios rectángulos</p>   | $I_T = \beta b_i e_i^3$ $I_T = \alpha \sum_{i=1}^n I_{Ti}$ $W_{Ti} = \frac{I_{Ti}}{e_i}$ $\tau_{\text{máx } i}^* = \frac{M_T^*}{I_T} e_i = \frac{M_T^*}{W_{Ti}}$   | <p>Se supone descompuesta la sección por n rectángulos.<br/><math>\alpha</math> = coeficiente función de la forma de la sección.</p> <table><tr><th><math>\alpha</math></th><th>Sección</th></tr><tr><td>1.0</td><td></td></tr><tr><td>1.1</td><td></td></tr><tr><td>1.3</td><td>(en doble T)</td></tr></table> <p><math>\tau_{\text{máx}}</math> = en el centro del lado mayor del rectángulo de mayor espesor.</p>  | $\alpha$ | Sección | 1.0     |  | 1.1   |  | 1.3 | (en doble T) |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| $\alpha$   | Sección  |   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 1.0  |   |   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 1.1  |   |   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| 1.3  | (en doble T)   |   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |
| <p>Pieza de sección cerrada con pared de débil espesor</p>  | <p>Espesor variable</p> $I_T = \frac{4A^2}{\oint \frac{ds}{e}}$ $W_T = 2eA$ $\tau^* = \frac{M_T^*}{2eA}$ <p>Espesor constante</p> $I_T = \frac{4A^2 e}{S}$ $W_T = 2eA$ $\tau^* = \frac{M_T^*}{2eA}$  | <p><math>\tau_{\text{máx}}^*</math> = en el punto en que el espeso es menor<br/>A = área encerrada por la línea media de la sección.</p> <p><math>\tau^*</math> = constante<br/>S = perímetro de la línea media</p>   |          |         |         |   |       |   |     |              |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |     |       |       |      |       |       |       |       |       |

|  |  |  |
|--|--|--|
| Pieza de sección circular llena de radio R   | $I_T = \frac{\pi R^4}{2}$ $W_T = \frac{\pi R^3}{2}$ $\tau_{\text{máx}}^* = \frac{2M_T^*}{\pi R^3}$ $\tau^* = \tau_{\text{máx}}^* \frac{r}{R}$  | $\tau_{\text{máx}}^* =$ en la circunferencia exterior<br>$0 < r < R$   |
| Pieza de sección corona circular   | $I_T = \frac{\pi}{2} (R_2^4 - R_1^4)$ $W_T = \frac{\pi}{2r} (R_2^4 - R_1^4)$ $\tau^* = \frac{2M_T^* r}{\pi (R_2^4 - R_1^4)} = \tau_{\text{máx}}^* \frac{r}{R_2}$ $\tau_{\text{máx}}^* = \frac{2M_T^* R_2}{\pi (R_2^4 - R_1^4)}$  | $R_1 =$ radio interior<br>$R_2 =$ radio exterior<br>$R_1 < r < R_2$<br>$\tau_{\text{máx}}^* =$ en la circunferencia exterior |
| Pieza de sección cerrada con tabique intermedio<br> | $\tau_1^* = \frac{M_T^*}{2} \frac{A_1 t_3 S_2 + A_2 t_2 S_3}{A_1^2 t_1 t_3 S_2 + A_2^2 t_1 t_2 S_3 + A_2^2 t_2 t_3 S_1}$ $\tau_2^* = \frac{M_T^*}{2} \frac{A_2 t_3 S_1 + A_1 t_1 S_3}{A_1^2 t_1 t_3 S_2 + A_2^2 t_1 t_2 S_3 + A_2^2 t_2 t_3 S_1}$ $\tau_2^* = \frac{M_T^*}{2} \frac{A_1 t_1 S_2 - A_2 t_2 S_1}{A_1^2 t_1 t_3 S_2 + A_2^2 t_1 t_2 S_3 + A_2^2 t_2 t_3 S_1}$ | $A_1 A_2 =$ área encerrada por las líneas medias del primero y segundo cajón, respectivamente.<br><br>$A = A_1 + A_2$        |

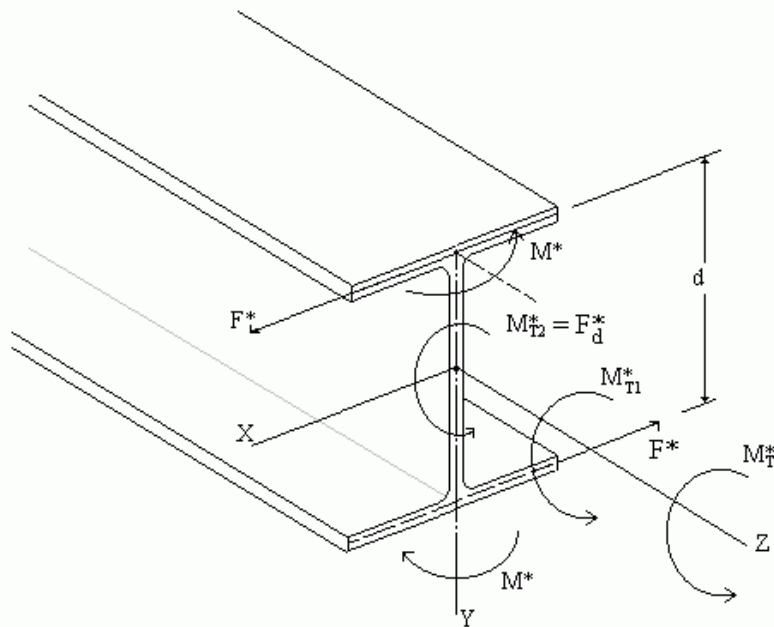
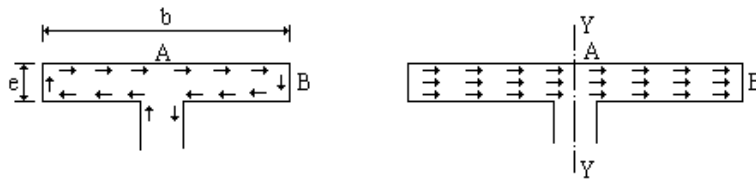


Figura 3.A3.1

Figura 3.A3.2 Tensiones en las alas de un perfil sometido a torsión no uniforme



| -       | Debidas a la torsión  | Debidas a la flexión   |
|---------|---|--|
| Punto A | $\sigma_z^* = 0$<br>$\tau_{xz}^* = \frac{M_{\text{T}}^*}{I_T} \cdot e$<br>$\tau_{yz}^* = 0$             | $\sigma_z^* = 0$<br>$\tau_{xz}^* = \frac{3 F^*}{2 b e}$<br>$\tau_{yz}^* = 0$       |
| Punto B | $\sigma_z^* = 0$<br>$\tau_{xz}^* = 0$<br>$\tau_{yz}^* = \frac{3}{4} \frac{M_{\text{T}}^*}{I_T} \cdot e$ | $\sigma_z^* = \frac{M^*}{\frac{W_y}{2}}$<br>$\tau_{xz}^* = 0$<br>$\tau_{yz}^* = 0$ |

## Anejo 3.A4 Pandeo lateral de vigas

Como se indicó en 3.4.5.2, la fórmula:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{I} \sqrt{E G I_y I_T}$$

es una fórmula envolvente aproximada, válida para vigas con eje de simetría horizontal o centro de simetría, simplemente apoyadas.

Si quiere realizarse una comprobación más exacta, o considerar otros tipos de sustentación, pueden utilizarse las fórmulas incluidas en este anejo.

### Ménsula de sección constante en doble T simétrica

En este caso el momento crítico viene dado por:

$$M_{cr} = \frac{\kappa}{I} \sqrt{E G I_y I_T}$$

donde:

$I$ ,  $E$ ,  $G$ ,  $I_y$  e  $I_T$  son los mismos parámetros indicados en 3.4.5.2;

$\kappa$  es un coeficiente que depende de la forma y punto de actuación de las cargas y del parámetro  $\alpha$ , de valor:

$$\alpha = \frac{EI_y}{GI_T} \left( \frac{h}{2l} \right)^2$$

donde:

$h$  es la distancia entre centros de ambas alas.

El valor de  $\kappa$ , para distintos tipo de carga, puede tomarse de la tabla 3.A4.1, válido en la hipótesis de que el alabeo de la sección esté impedido en la zona de empotramiento y sea libre en la sección extrema.

### Vigas de sección constante con simetría sencilla

El momento crítico en el caso de apoyo de horquilla (impedidos los recorridos y giros en el plano de la sección), en ambos extremos, al que se puede sumar un empotramiento elástico y una coacción también elástica del alabeo en las secciones extremas, puede calcularse, aproximadamente, mediante la expresión:

$$M_{cr} = \zeta \cdot P_E \left[ \sqrt{\left( 5e \cdot \frac{\beta^2}{\pi^2} + \frac{I_x}{3} - y_0 \right)^2 + i_T^2} - \left( \frac{5e \cdot \beta^2}{\pi^2} + \frac{r_x}{3} - y_0 \right) \right]$$

donde:



$$r_x = \sqrt{\frac{\int y(x^2 + y^2) dA}{I_x}}$$

$y_o$  es la ordenada del centro de esfuerzos cortantes referidos al baricentro;

$i_T$  es el radio de giro relativo a la torsión;

$$P_E = \frac{\pi^2 E I_y}{(\beta l)^2}$$

es la carga crítica de Euler correspondiente al pandeo en el plano perpendicular al del alma y es la vinculación efectiva de los extremos. Este empotramiento es el correspondiente al giro de la sección extrema alrededor del eje Y;

$\beta$  es la vinculación efectiva de los extremos:

$\beta = 1$  para empotramiento nulo en ambos extremos,

$\beta = 0.5$  para empotramiento perfecto en ambos extremos;

$l$  es la luz de la viga;

$e^*$  es la distancia entre la directriz y el punto de actuación de las cargas, positiva hacia el borde comprimido;

$\zeta$  es un coeficiente que depende de la ley de momentos a lo largo de la viga; puede calcularse, aproximadamente, con la figura 3.A4.1.

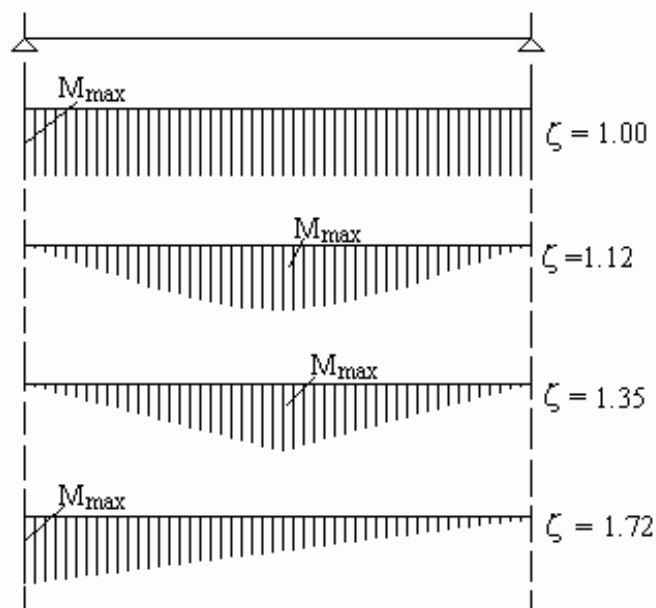
En el caso de sección doblemente simétrica.

Se tiene:

$$r_x = 0, y_o = 0$$

la expresión del momento crítico expuesto anteriormente se simplifica:

$$M_{cr} = \zeta P_E \left[ \sqrt{\left( 5e^* \frac{\beta^2}{\pi^2} \right) + i_T^2} - \frac{5e^* \beta^2}{\pi^2} \right]$$



**Figura 3.A4.1.- Valores del coeficiente  $\zeta$  según diagrama de momentos**

Cuando se trata de una viga de sección I simétrica (figura 3.A4.2), cargada uniformemente en toda su longitud con apoyos de horquilla en sus extremos y que esté unida firmemente a un arriostramiento longitudinal situado a la distancia  $f$  de la directriz (positiva hacia el borde

comprimido), el momento crítico viene dado por la fórmula:

$$M_{cr} = \frac{\kappa}{21} \sqrt{E G I_y I_T}$$

semejante al primer caso, en la que el coeficiente  $\kappa$  se obtiene mediante la expresión:

$$\kappa = \frac{\frac{1}{\sqrt{\alpha}} + \pi^2 \sqrt{\alpha} \left[ 1 + \left( \frac{2f}{h} \right)^2 \right]}{0.81 \left( \frac{2e^*}{h} \right) - 1.74 \left( \frac{2f}{h} \right)}$$

Es evidente que la función del arriostramiento es la de coartar la torsión fijando la posición del eje de la misma; y de la expresión que da valor de  $\kappa$  se deduce que, cuando:

$$f \geq 0.45 e^*$$

y el arriostramiento está situado por encima de la directriz, no puede existir el pandeo lateral.

**Tabla 3.A4.1 Coeficiente  $\kappa$  para ménsulas**

| Clase de acción y punto de actuación |                | Parámetro $\alpha$ |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|----------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                      |                | 0.00               | 0.05  | 0.10  | 0.15  | 0.20  | 0.25  |
| Momento flector en el extremo libre  |                | 1.53               | 1.88  | 2.17  | 2.40  | 2.58  | 2.73  |
| Carga aislada en el extremo libre    | Ala superior   | 4.01               | 4.08  | 3.70  | 3.60  | 3.60  | 3.60  |
|                                      | Centro sección | 4.01               | 6.10  | 7.70  | 8.70  | 9.30  | 9.70  |
|                                      | Ala inferior   | 4.01               | 7.90  | 10.00 | 11.90 | 13.90 | 14.80 |
| Carga uniforme                       | Ala superior   | 6.43               | 6.70  | 6.50  | 6.10  | 6.40  | 6.40  |
|                                      | Centro sección | 6.43               | 12.00 | 14.70 | 16.00 | 17.60 | 18.80 |

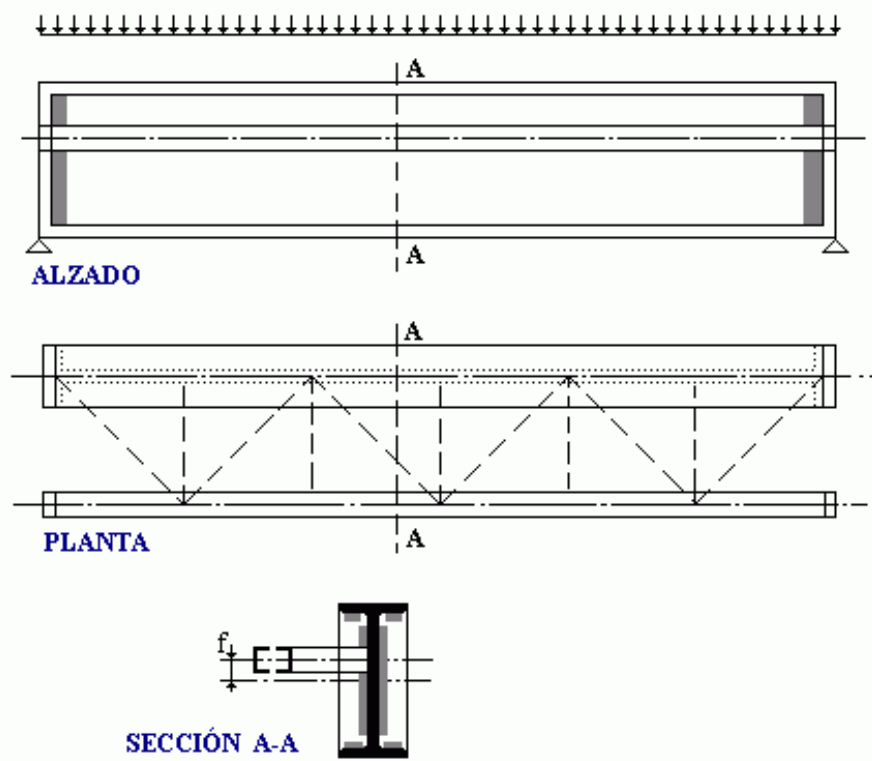


Figura 3.A4.2.- Viga con arriostramiento longitudinal

# Anejo 3.A5 Cálculo de los esfuerzos en los elementos de unión

## Solicitaciones que producen esfuerzo

Pueden utilizarse las fórmulas aproximadas que se dan a continuación, basadas en las hipótesis tradicionales, suficientemente sancionadas por la experiencia, de rigidez de la placa y elasticidad de los elementos de unión.

### **Unión solicitada por una fuerza $P^*$ en el plano de la costura y cuya línea de acción pasa por el centro de gravedad del conjunto de los elementos de unión**

El esfuerzo cortante sobre un elemento de unión, de sección  $A_m$  será:

$$R^* = \frac{P^* A_m}{\sum A_m}$$

y en el caso más frecuente de elementos de la misma sección, el esfuerzo cortante, común para cada uno de ellos:

$$R^* = \frac{P^*}{n}$$

donde:

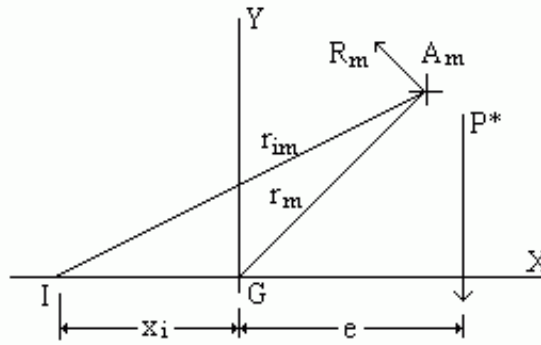
$n$  es el número de elementos de unión.

### **Unión solicitada por una fuerza $P^*$ con una excentricidad $e$ respecto del centro de gravedad $G$ del conjunto de los elementos de unión**

Siendo  $I$  el centro instantáneo de rotación (figura 3.A5.1), se tiene:

$$x_i = \frac{\sum A_m r_m^2}{e \sum A_m}$$

$$R_m^* = \frac{P^* \cdot e \cdot r_m \cdot A_m}{\sum A_m \cdot r_m^2}$$



**Figura 3.A5.1.- Fuerza excéntrica en el plano de la unión**

En el caso frecuente de elementos de la misma sección, los valores de  $x_i$  y  $R_m^*$  vienen dados por:

$$x_i = \frac{\sum r_m^2}{e \cdot n}$$

$$R_m^* = \frac{P^* \cdot e \cdot r_m}{\sum r_m^2}$$

donde:

$n$  es el número de elementos de unión.

### **Solicitaciones que producen esfuerzos de tracción en los elementos de unión**

Las fórmulas aproximadas que se indican sólo son aplicables en el caso en que los elementos unidos sean suficientemente rígidos o estén suficientemente rigidizados como para poder considerarlos como indeformables. En caso contrario, su resistencia está limitada por la flexión de las alas de las piezas de unión.

Puede considerarse que se cumple la condición anterior cuando se verifica, según la notación de la figura 3.A5.2, que:

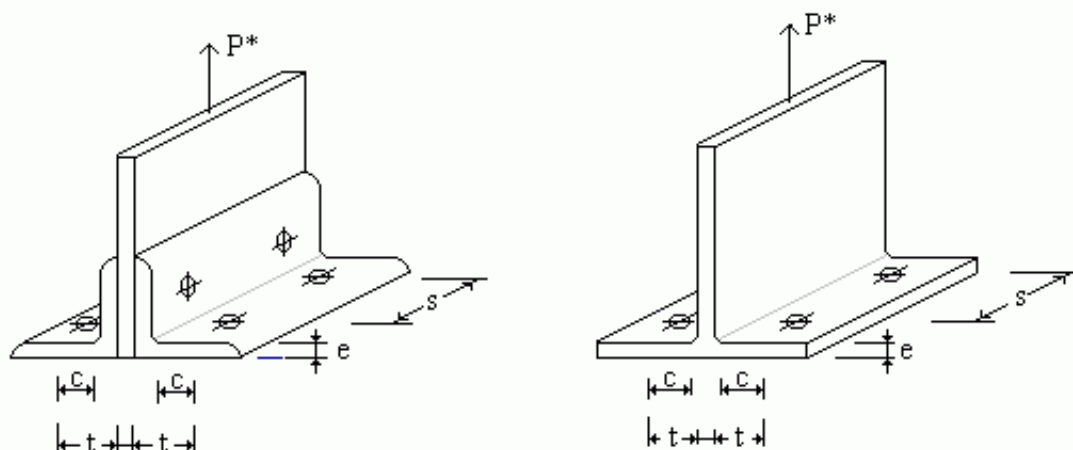
$$F^* \leq 375 e \frac{t}{c} \cdot \frac{s}{s+t}$$

donde:

$F^*$  es el esfuerzo de tracción ponderado que actúa sobre cada elemento de unión (roblón o tornillo) expresado en kg.

$$\left( F^* = \frac{P^*}{n} \right)$$

Los valores de  $e$ ,  $s$ ,  $t$  y  $c$  vienen expresados en mm.



**Figura 3.A5.2.- Notaciones**

Cuando se dispongan angulares iguales o menores que 100 mm, no será necesario realizar la comprobación de flexión de las alas siempre que el esfuerzo ponderado  $F^*$ , por roblón o tornillo, no exceda de 300 kg por cada milímetro de espesor del ala del angular.

En el caso en que la sollicitación sea un momento de eje paralelo al plano de la unión, el comportamiento de la misma es distinto según los elementos tengan una tensión inicial, como en los roblones y tornillos de alta resistencia, o estén colocados sin tensión inicial, como sucede en los tornillos ordinarios y calibrados.

A continuación se distinguen los diferentes casos para la determinación de esfuerzos en los elementos de unión.

#### **Uniones a flexión con roblones o tornillos de alta resistencia**

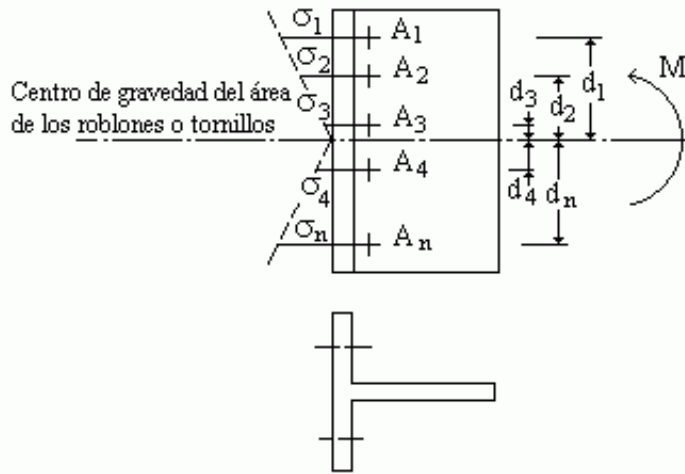
El esfuerzo en un elemento de sección  $A_m$ , a una distancia  $d_m$  del centro de gravedad (figura 3.A5.3) es:

$$F_m^* = \frac{M^* d_m A_m}{I} ; \quad I = \sum_{m=1}^n A_m d_m^2$$

y cuando todos los elementos tienen la misma sección ( $A_m = A$ ):

$$F_m^* = \frac{M^* d_m}{I'} ; \quad I' = \sum_{m=1}^n d_m^2$$

y el valor  $F_m^*$  se utilizará para la comprobación del roblón o tornillo de alta resistencia, considerando únicamente, en los casos normales en la práctica, los situados en la zona de tracción.



**Figura 3.A5.3.- Centro de gravedad de los roblones o tornillos**

### Uniones a flexión con tornillos ordinarios o calibrados

Se supone que el momento es resistido por los tornillos en la zona de tracción y por contacto en la zona de compresión.

La posición del eje neutro viene determinada por la ecuación:

$$\frac{c_1}{c} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

donde:

$a = \frac{A}{s} \cdot m$  es el ancho del área equivalente de la sección de los tornillos supuestos uniformes;

m es el número de filas paralelas de tornillos (véase figura 3.A5.4).

El esfuerzo máximo sobre el tornillo más alejado de la fibra neutra será:

$$F^* = \frac{M^* \cdot c}{I} \cdot \frac{a \cdot s}{m}$$

La máxima tensión de compresión en la placa es:

$$\sigma^* = \frac{M^* \cdot c_1}{I}$$

donde:

$$I = \frac{a \cdot c^3}{3} + \frac{b \cdot c_1^3}{3}$$



Figura 3.A5.4.- Posición del eje neutro



## Anejo 3.A6 Cálculo de soldaduras de ángulo que constituyen una unión

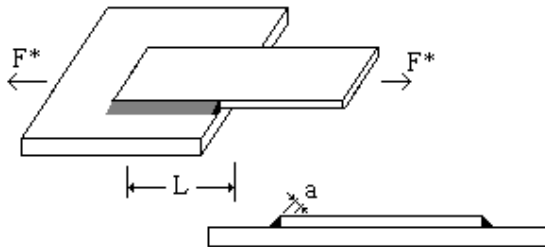
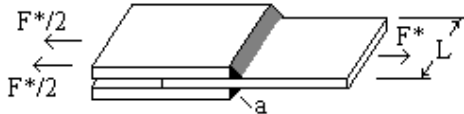
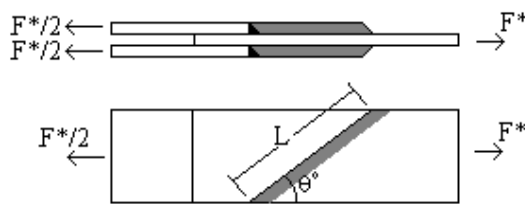
En la tabla 3.A6.1 se resumen los casos más usuales de uniones planas constituidas con soldaduras de ángulo, y en la tabla 3.A6.2 algunos casos de uniones espaciales.

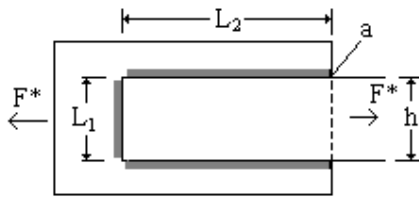
Para la confección de estas tablas se han seguido los criterios y procedimientos de la norma UNE 14 035.

Sin embargo, se han transformado las fórmulas para expresarlas en función de los esfuerzos ponderados y de la resistencia de cálculo del acero  $\sigma_u$ .

La notación es la misma de 3.7.3.1.

**Tabla 3.A6.1 Uniones planas**

| Unión   | Expresión práctica  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
|---|---|----------------|---------|---|------|----|------|----|------|----|------|
| <b>Caso 1. Tracción. Sólo soldaduras laterales</b>                                  |   |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
|   | $\frac{F^*}{0.75 \sum aL} \leq \sigma_u$  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| <b>Caso 2. Tracción. Sólo soldaduras frontales</b>                                  |   |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
|  | $\frac{F^*}{0.85 \sum aL} \leq \sigma_u$  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| <b>Caso 3. Tracción. Sólo soldaduras frontales y laterales, combinadas</b>          |   |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
|  | $\frac{F^*}{\beta \sum aL} \leq \sigma_u$ <table> <tr> <th><math>\theta^\circ</math></th><th><math>\beta</math></th></tr> <tr> <td>0</td><td>0.75</td></tr> <tr> <td>30</td><td>0.77</td></tr> <tr> <td>60</td><td>0.81</td></tr> <tr> <td>90</td><td>0.85</td></tr> </table> | $\theta^\circ$ | $\beta$ | 0 | 0.75 | 30 | 0.77 | 60 | 0.81 | 90 | 0.85 |
| $\theta^\circ$  | $\beta$   |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| 0   | 0.75  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| 30  | 0.77  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| 60  | 0.81  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| 90  | 0.85  |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |
| <b>Caso 4. Tracción. Sólo soldaduras oblicuas</b>                                   |   |                |         |   |      |    |      |    |      |    |      |



Para  $L_2 \geq 1.5h$ .

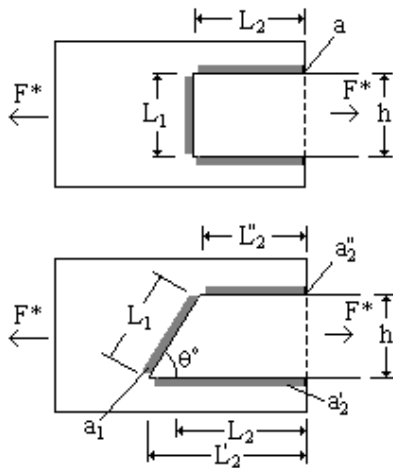
Sólo se consideran los cordones laterales.

$$\frac{F^*}{0.75 \sum aL} \leq \sigma_u$$

Se debe evitar:

El cordón  $L_3$  del caso 6

### Caso 5. Tracción. Soldaduras frontales y laterales, combinadas



Para  $0.5h < L_2 \leq 1.5h$ .

Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión.

$$F_{\max} = \kappa F_1 + F_2$$

$$F_1 = \beta L_1 a_1 \sigma_u$$

$$F_2 = 0.75 \sum a_2 L_2 \sigma_u$$

$$\kappa = \frac{1}{1 + 2 \sin^2 \theta}$$

En estas expresiones:

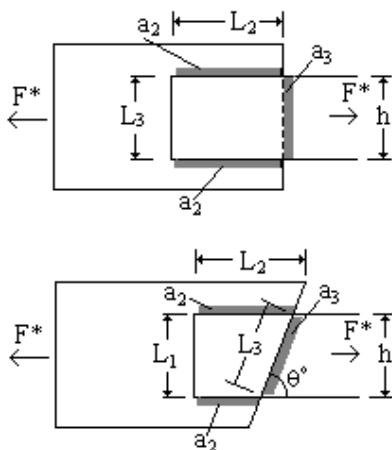
| $\theta^\circ$ | $\kappa$ |
|----------------|----------|
| 0              | 1.00     |
| 10             | 0.95     |
| 20             | 0.81     |
| 30             | 0.66     |
| 40             | 0.59     |
| 50             | 0.46     |
| 60             | 0.40     |
| 70             | 0.36     |
| 80             | 0.34     |
| 90             | 0.33     |

Los valores de  $\beta$  según el caso 3.

Debe cumplirse:

$$F^* \leq F_{\max}$$

### Caso 6. Tracción. Soldaduras frontales y laterales, combinadas



Para  $0.5h < L_2 \leq 1.5h$ .

Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión.

$$F_{\max} = 1/3 F_2 + F_3$$

$$F_2 = 0.75 \sum a_2 L_2 \sigma_u$$

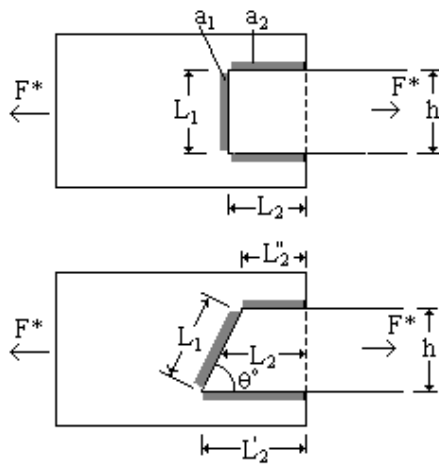
$$F_3 = \beta L_3 a_3 \sigma_u$$

Los valores de  $\beta$  según el caso 3.

Debe cumplirse:

$$F^* \leq F_{\max}$$

### Caso 7. Tracción. Soldaduras frontales y laterales, combinadas



Para  $L_2 \leq 0.5h$

Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión.

$$F_{\text{máx}} = F_1 + 1/3 F_2$$

$$F_1 = \beta L_1 a_1 \sigma_u$$

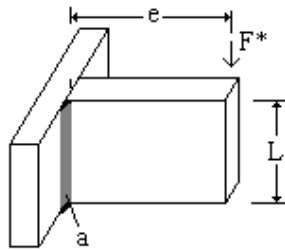
$$F_2 = 0.75 \sum a_2 L_2 \sigma_u$$

Los valores de  $\beta$  según el caso 3.

Debe cumplirse:

$$F^* \leq F_{\text{máx}}$$

### Caso 8. Flexión simple. Sólo soldaduras frontales longitudinales



Debe cumplirse:

$$\sigma_c \leq \sqrt{\sigma^2 + 1.8(\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leq \sigma_u$$

En estas expresiones:

$$\sigma = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^* e}{a L^2}$$

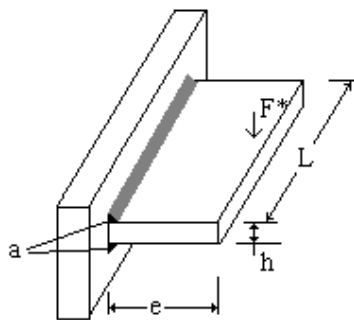
$$\tau_n = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^* e}{a L^2}$$

$$\tau_a = \frac{F^*}{2 a L}$$

Para  $e \gg L$

$$\sigma_c = 3.55 \frac{F^* e}{a L^2} \leq \sigma_u$$

### Caso 9. Flexión simple. Sólo soldaduras frontales transversales



$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^* e}{W}$$

$$\tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^* e}{W}$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1.8 \tau_n^2} = \frac{F^* e}{W} \sqrt{1.4} \cong$$

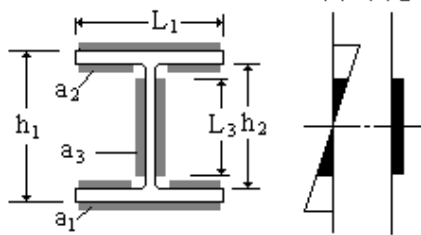
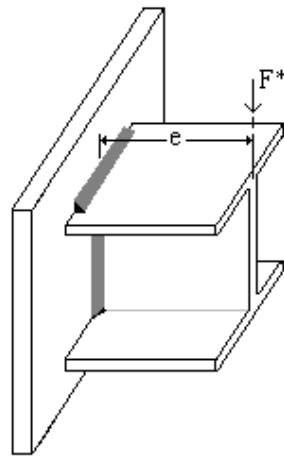
$$\cong 1.18 \frac{F^* e}{W} \leq \sigma_u$$

Siendo W el módulo resistente de las soldaduras.

Para  $h \gg a$

$$\sigma_c \cong 1.18 \frac{F^* e}{L h a} \leq \sigma_u$$

### Caso 10. Flexión simple. Soldaduras frontales, longitudinales y transversales



Soldaduras  $a_1$ :

$$\sigma_c = \sqrt{1.4 \frac{F^* e}{W}} \cong 1.18 \frac{F^* e}{W} \leq \sigma_u$$

Soldaduras  $a_2$ :

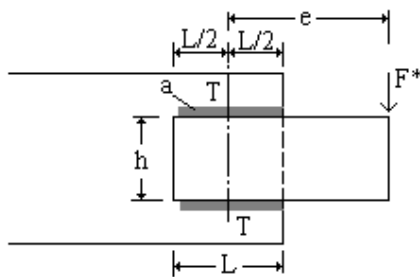
$$\sigma_c \cong 1.18 \frac{h_2 - a_2}{h_1 + a_1} \frac{F^* e}{W} \leq \sigma_u$$

Soldaduras  $a_3$ :

$$\sigma_c = \sqrt{1.4 \left( \frac{F^* e}{W} \cdot \frac{L_3}{h_1 + a_1} \right)^2 + 1.8 \left( \frac{F^*}{2L_3 a_3} \right)^2} \leq \sigma_u$$

Siendo W el módulo resistente de las soldaduras. Puede también considerarse absorbido el momento por las soldaduras  $a_1$  y  $a_2$  y el esfuerzo cortante por las soldaduras  $a_3$

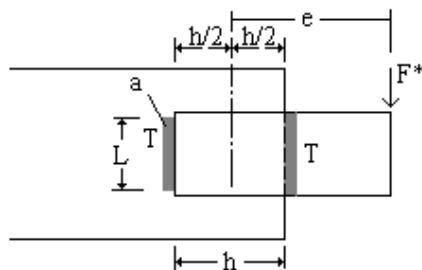
#### Caso 11. Torsión y esfuerzo cortante combinados. Sólo soldaduras laterales.



Para  $0.5 < L < 2h$

$$\sigma_c = \sqrt{0.35 \left( \frac{F^*}{La} \right)^2 + 1.8 \left( \frac{F^* e}{h+a} \cdot \frac{1}{La} \right)^2} = \frac{F^*}{La} \sqrt{0.35 + 1.8 \left( \frac{e}{h+a} \right)^2} \leq \sigma_u$$

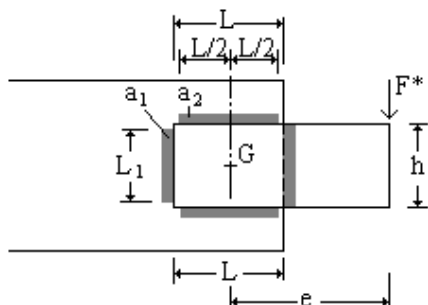
#### Caso 12. Torsión y esfuerzo cortante combinados. Sólo soldaduras frontales



Para  $0.5 < L < 2h$

$$\sigma_c = \sqrt{1.8 \frac{F^*}{La} \left( \frac{1}{2} + \frac{e}{h+a} \right)} \cong 1.34 \frac{F^*}{La} \left( \frac{1}{2} + \frac{e}{h+a} \right) \leq \sigma_u$$

#### Caso 13. Torsión y esfuerzo cortante combinados. Dos soldaduras laterales y dos frontales



Para  $0.5h < L_2 < 2h$

Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 1:

$$M_1 = 0.75 \sigma_u L_1 a_1 (L + a_1)$$

Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 2:

$$M_2 = 0.75 \sigma_u L_2 a_2 (h + a_2)$$

Máximo esfuerzo cortante admisible para las soldaduras 1:

$$F_1 = 1.5 \sigma_u L_1 a_1$$

Máximo esfuerzo cortante admisible para las soldaduras 2:

$$F_2 = 1.7 \sigma_u L_2 a_2$$

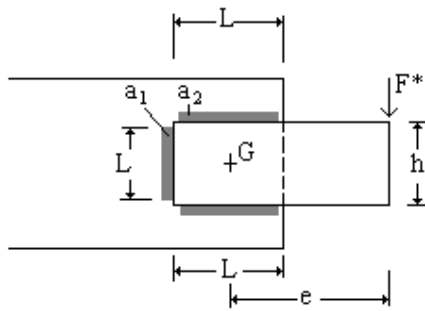
El momento torsor  $M^*_1 = F^* e$  se descompone

proporcionalmente a  $M_1$  y  $M_2$

El esfuerzo cortante  $F^*$  se descompone proporcionalmente a  $F_1$  y  $F_2$ .

Las soldaduras 1 se calculan como el caso 12.  
Las soldaduras 2 se calculan como el caso 11.

#### Caso 14. Torsión y esfuerzo cortante combinados. Dos soldaduras laterales y una frontal



Para  $0.5h < L_2 < 2h$

Máximo momento admisible para la soldadura 1:

$$M_1 = 0.14 \sigma_u L^2 a_1$$

Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 2:

$$M_2 = 0.75 \sigma_u L_2 a_2 (h + a_2)$$

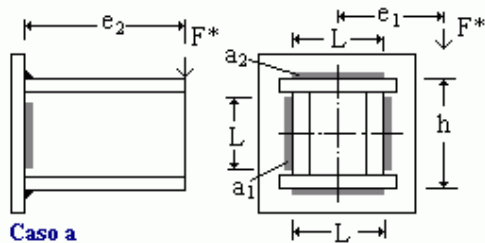
El momento torsor  $M^* = F^*e$  se descompone proporcionalmente a  $M_1$  y  $M_2$ .

El esfuerzo cortante  $F^*$  (si está contenido en el plano de la junta, o su excentricidad es pequeña) se considera absorbido por las soldaduras 2.

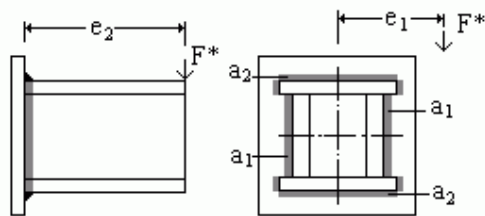
La soldadura 1 se calcula a flexión pura.

Las soldaduras 2 se calculan como el caso 11.

#### Caso 15. Flexión, torsión y esfuerzo cortante combinados



Caso a



Caso b

Para  $0.5h < L < 2h$ .

Caso a:

$$M_t^* = F^*e_2; M_t^* = F^*e_1$$

Los valores de  $\sigma$ ,  $\tau_n$  y  $\tau_a$ , debidos a  $M_t$  y  $F^*$ , se obtienen como en el caso 13.

Los valores de  $\sigma$  y  $\tau_n$ , debidos a  $M_t^*$ , se obtienen como en el caso 10 ( $\tau_{M_t^*} = 0$ ).

Caso b:

Debido a  $M_t^*$  obtenemos unas tensiones:

$$\tau_a^{Mt} = \frac{M_t^*}{2Aa}; \sigma^{Mt} = 0; \tau_n^{Mt} = 0$$

Donde:

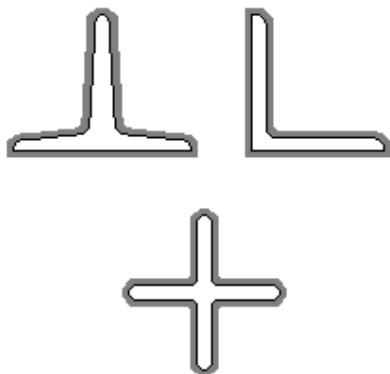
$A$  = Área encerrada por la línea media de la sección de garganta de las soldaduras, abatida sobre el plano de la unión.

$a$  = Dimensión de garganta de la soldadura en el punto que se considera.

El resto de las tensiones y la comprobación de las soldaduras como en el caso a. Debe cumplirse además en todos los casos:

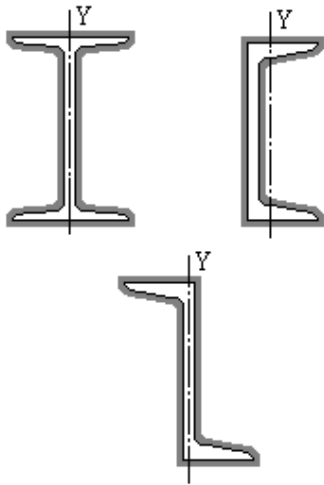
$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1.8(\tau_a^2 + \tau_n^2)} \leq \sigma_u$$

#### Caso 16. Torsión y esfuerzo cortante combinados



En general, se pueden omitir en estas uniones los cálculos de las tensiones debidas a la torsión.

#### Caso 17. Torsión y esfuerzo cortante combinados.



a) Cuando existen soldaduras a ambos lados de las alas:

$$n_{\text{máx}} = \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k$$

$$\sigma = \tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{e}{a_1 + a_2} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k$$

$$\sigma_c = 1.18 \cdot \frac{e}{a_1 + a_2} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k \leq \sigma_u$$

b) Cuando hay solamente soldaduras en el lado exterior de las alas:

$$\sigma = \tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{e}{a_1} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k$$

$$\sigma_c \cong 1.18 \cdot \frac{e}{a_1} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k \leq \sigma_u$$

Siendo:

$W_y$  = Módulo resistente de las soldaduras respecto a Y;

$e$  = Espesor medio del alma;

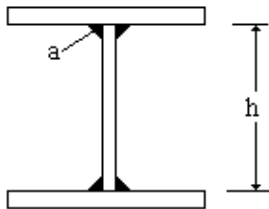
$a_1$  = Garganta de las soldaduras exteriores;

$a_2$  = Garganta de las soldaduras interiores;

$k$  = Coeficiente de forma.

| Perfil | I   | H         | L   | U   |
|--------|-----|-----------|-----|-----|
| k      | 4.5 | 6 a<br>10 | 5.5 | 7.5 |

### Caso 18. Unión de alma con platabanda



Debe cumplirse:

$$\frac{F^* \cdot S}{0.75 \cdot 2 a I_x} \leq \sigma_u$$

Siendo:

$F^*$  = Esfuerzo cortante que solicita a la sección;

$S$  = Momento estático de la platabanda respecto al eje de flexión pura;

$I_x$  = m.d.i. de la sección completa respecto al mismo eje.

Puede, del lado de la seguridad, utilizar la fórmula simplificada siguiente:

$$\frac{F^*}{0.75 \cdot 2 \cdot a \cdot h} \leq \sigma_u$$

### Caso I. Unión espacial sin cartelas

#### Tracción

Dimensiones de las soldaduras (figura 3.A6.1).

Soldadura A:  $L_A, a_A$

Soldadura B:  $L_B, a_B$

Soldadura C1:  $4 \times L_{C1}, a_{C1}$

Soldadura C2:  $2 \times L_{C2}, a_{C2}$

Soldadura C3:  $L_{C3}, a_{C3}$

1) Se calculan las fuerzas de agotamiento de cada soldadura:

$$F_A = 0.85 \sigma_u L_A a_A;$$

$$F_B = 0.75 \sigma_u L_B a_B;$$

$$F_{C1} = 4 \times 0.85 \sigma_u L_{C1} a_{C2};$$

$$F_{C2} = 2 \times 0.85 \sigma_u L_{C2} a_{C1};$$

$$F_{C3} = 0.85 \sigma_u L_{C3} a_{C3};$$

$$\text{Debe cumplirse: } F_A + F_B + F_{C1} + F_{C2} + F_{C3} \geq F^*;$$

2) Los esfuerzos que corresponden a cada soldadura son:

$$F_A^* = F^* \frac{F_A}{F_A + F_{C1} + F_{C2} + F_{C3}} = F^* \frac{F_A}{\sum F}; \quad F_B^* = F^* \frac{F_B}{\sum F}; \quad F_{C1}^* = F^* \frac{F_{C1}}{\sum F}; \quad \text{etc...}$$

3) Se comprueba cada soldadura con los esfuerzos obtenidos anteriormente, según los casos (1) y (2) de la tabla 3.A6.1.

### Flexión simple

Se determina el eje neutro y el módulo resistente de las soldaduras del esquema, considerando para las soldaduras "B" un área reducida =  $(0.75/0.85) L_B a_B$

El cálculo se realizará según el caso (10) de la tabla 3.A6.1. Las tensiones que deben considerarse en las distintas soldaduras para obtener la tensión de comparación son:

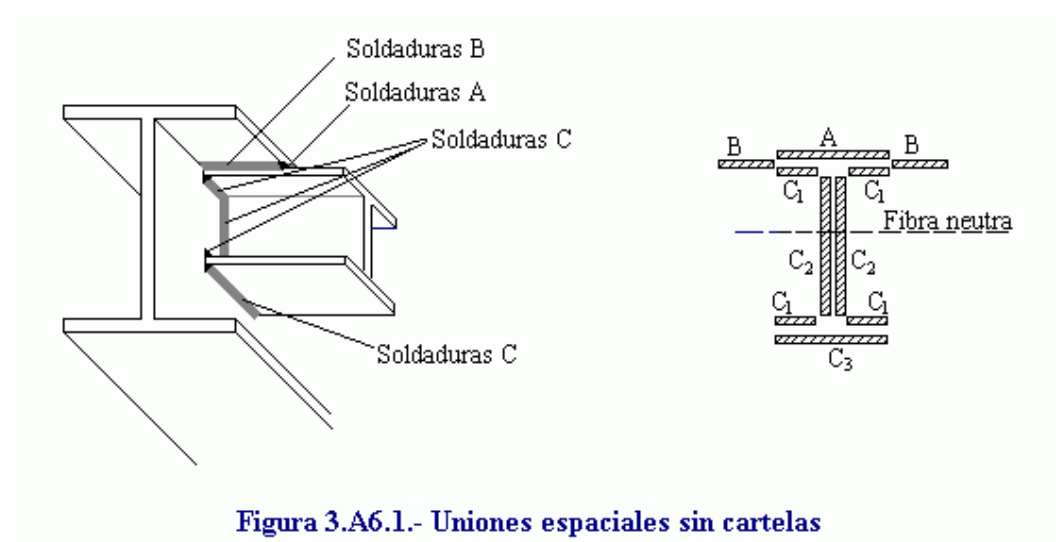
Soldadura B  $\tau_a$

Soldaduras A1, C1 y C3  $\sigma, \tau_a$

Soldadura C2  $\sigma, \tau_n, \tau_a$

### Torsión

Se prescinde de las soldaduras "B" en el esquema y se verifica el cálculo, según el caso (15) de la tabla 3.A6.1.



**Figura 3.A6.1.- Uniones espaciales sin cartelas**

## Caso II. Unión espacial con cartelas transversales

### Tracción

El cálculo se efectúa en forma análoga al caso anterior,

donde:

$F^*$  es la fuerza de tracción solicitante;  
 $F_{AB}$  es la fuerza de agotamiento de las soldaduras A y B;  
 $F_C$  es la fuerza de agotamiento de las soldaduras C.

Ha de verificarse:

$$F^* \leq F_{AB} + F_C \quad \text{y} \quad F_D \geq F_C$$

### Flexión

donde:

$M^*$  es el momento solicitante;  
 $M_{AB}$  es el momento flector de agotamiento de las soldaduras A y B;  
 $M_C$  es el momento torsor de agotamiento de las soldaduras C.

Ha de verificarse:

$$M^* \leq M_{AB} + M_C \quad \text{y} \quad M_D \geq M_C$$

$$M^*_{AB} = (M_{AB} / \Sigma M) M^* \quad ; \quad M^*_C = (M_C / \Sigma M) M^*$$

### Torsión

donde:

$M^*_T$  es el momento torsor solicitante;  
 $M_{AT}$  es el momento de agotamiento de las soldaduras A y B [cálculo según el caso (17) de la tabla 3.A6.1];  
 $M_C$  es el momento de agotamiento de las soldaduras C.  
 $M_C = F_C d$

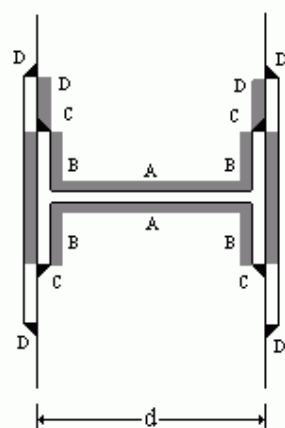
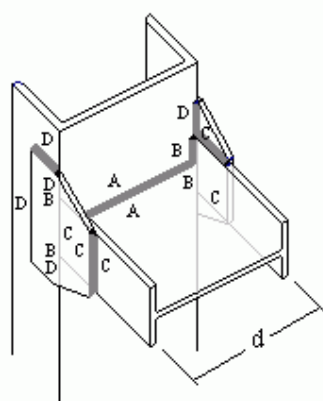
donde:

$F_C$  es la fuerza de agotamiento de cada grupo de soldaduras C de unión a una cartela, y  
 $d$  es la distancia entre cartelas.

Ha de verificarse:

$$M^*_T \leq M_{AB} + M_C \quad \text{y} \quad F_D \geq F_C$$





**Figura 3.A6.2.- Uniones espaciales con cartelas**

# Parte 4 Cálculo de las piezas de chapa conformada

## 4.0 Generalidades

### Objeto

En esta parte se aplican las reglas de la Parte 3 a los perfiles, placas y paneles de chapa conformada de acero.

En las piezas de chapa conformada de acero, debido a su reducido espesor y al endurecimiento que implica la conformación en frío, deben tenerse especialmente en cuenta las siguientes circunstancias:

La mayor influencia de los fenómenos de inestabilidad: abolladura, combadura, pandeo con torsión, etc.; y de la deformación de las secciones transversales.

El uso de procedimientos de unión específicos: remaches en frío, soldadura por puntos, etc., no empleados en la construcción con perfiles laminados de acero.

El importante efecto de la corrosión en espesores menores que 4 mm.

La posibilidad de tener en cuenta la elevación del límite elástico debida al endurecimiento por la conformación en frío, como se indica en 4.1.2

### Ambito de aplicación

Las reglas de esta parte son aplicables a las placas, paneles y perfiles de chapa conformada de la Parte 2 de esta norma, así como el caso de perfiles dobles o múltiples constituidos por agrupación de dos o más perfiles simples unidos por soldadura, tornillos, remaches u otros medios. También son aplicables a otras

piezas de chapa conformada, realizadas con los aceros indicados en la norma UNE 36 080 (EN 10 025).

En 2.3.6 se describen los perfiles de uso general, y se indica que pueden usarse perfiles de formas diferentes fijadas por el proyectista.

No se permite, sin justificación especial, el uso de piezas conformadas en las partes de las estructuras en las que exista el riesgo, en las condiciones normales de trabajo, de presiones o impacto que puedan producir deformaciones locales. Las reglas de esta parte no son aplicables, sin justificación especial, a estructuras sometidas a cargas dinámicas.

## 4.1 Bases de cálculo

### 4.1.1 Proceso de cálculo

En los estados límites últimos, las comprobaciones se realizarán con las acciones ponderadas, aplicando los coeficientes de ponderación descritos en 3.1.5.

Las tensiones ponderadas resultantes  $\sigma^*$  obtenidas con ellas no rebasarán la condición de agotamiento establecida en 3.1.6; la resistencia de cálculo  $\sigma_u$ , del acero en esta condición se calculará como se indica en 3.1.7. Las tensiones ponderadas  $\sigma^*$  y las resistencias de cálculo  $\sigma_u$  se expresan en esta norma en  $\text{kp/mm}^2$ .

En los estados límites de utilización, las comprobaciones se realizarán con las acciones características, definidas en 3.1.4.

### 4.1.2 Elevación del límite elástico del acero

La conformación en frío de la chapa de acero de una pieza produce en las zonas de pliegues un incremento de su límite elástico que, en valor medio en el conjunto de la pieza, puede evaluarse por la siguiente fórmula obtenida experimentalmente:

$$\Delta\sigma_e = 1.8 (n e^2 / A)$$

donde:

$\Delta\sigma_e$  es el incremento del límite elástico, en  $\text{kp/mm}^2$ ;

$n$  es el número de pliegues en la pieza;

$e$  es el espesor de la chapa, en  $\text{mm}$ ;

$A$  es el área total de la sección de la pieza, en  $\text{cm}^2$ .

Este incremento puede desaparecer por un recocido posterior, como el que puede producirse cuando se emplean uniones soldadas por la elevación de temperatura en las zonas contiguas a las soldaduras. Por ello el incremento del límite elástico sólo debe considerarse cuando haya seguridad de que no pueden tener lugar tales recocidos.

La resistencia de cálculo será:

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e + \Delta\sigma_e}{\gamma_a} \not\leq \sigma_e$$

donde:

$$\gamma_a = 1.1$$

### 4.1.3 Elementos planos de una pieza

Una pieza de chapa conformada de acero se compone en general de elementos planos, unidos mediante acuerdos cilíndricos de radio pequeño (figura 4.1.3). Los elementos planos pueden ser de las siguientes clases:

### Elemento no rigidizado

Elemento plano, unido solamente en un borde a otro elemento plano. Ejemplos de elementos no rigidizados son los designados con N en la figura 4.1.3.

### Elemento rigidizado

Elemento plano, unido en ambos bordes a otros elementos, o a un rigidizador de borde de eje paralelo a la dirección del esfuerzo.

Ejemplos de elementos rigidizados son los designados con R en la figura 4.1.3, en la que se designan con B los rigidizadores de borde.

### Elemento multirrigidizado

Elemento rigidizado, que además tiene rigidizadores intermedios, de eje paralelo a la dirección del esfuerzo. Ejemplos de elementos multirrigidizados son los designados con M en la figura 4.1.3 en la que se designan con los rigidizadores intermedios.

### Subelemento

Es la parte de un elemento multirrigidizado comprendida entre un elemento y un rigidizador intermedio, entre dos rigidizadores intermedios consecutivos o entre un rigidizador intermedio y un rigidizador de borde. Ejemplos de subelementos son las partes designadas con S en la figura 4.1.3.

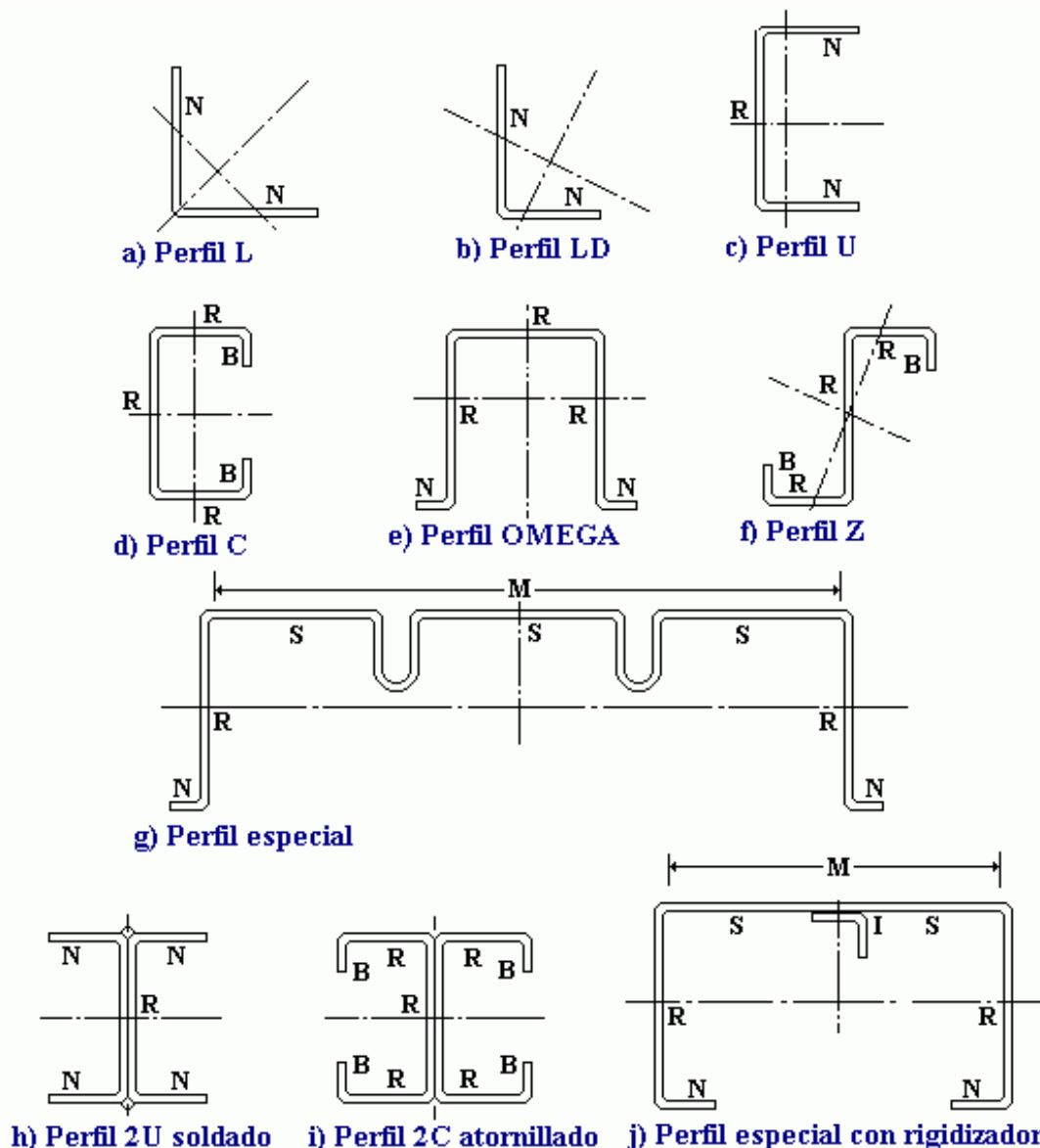


Figura 4.1.3.- Perfiles conformados de acero

#### 4.1.4 Dimensiones de un elemento plano

Las dimensiones de un elemento plano (figura 4.1.4) son su espesor  $e$ , su anchura recta  $b$  y su longitud  $l$ .

##### Espesor

Es el espesor  $e$  de la chapa con que está fabricado el perfil excluidos los recubrimientos.

##### Anchura recta

Es la anchura  $b_e$  de un elemento, o de un subelemento, excluyendo los acuerdos curvos. En un elemento multirrigidizado comprende los rigidizadores intermedios (figuras 4.1.4.d y g) verificándose que:

$$b_e \geq \sum b_s$$

##### Longitud

Es la distancia  $l$  medida sobre la directriz del perfil entre secciones sustentadas.

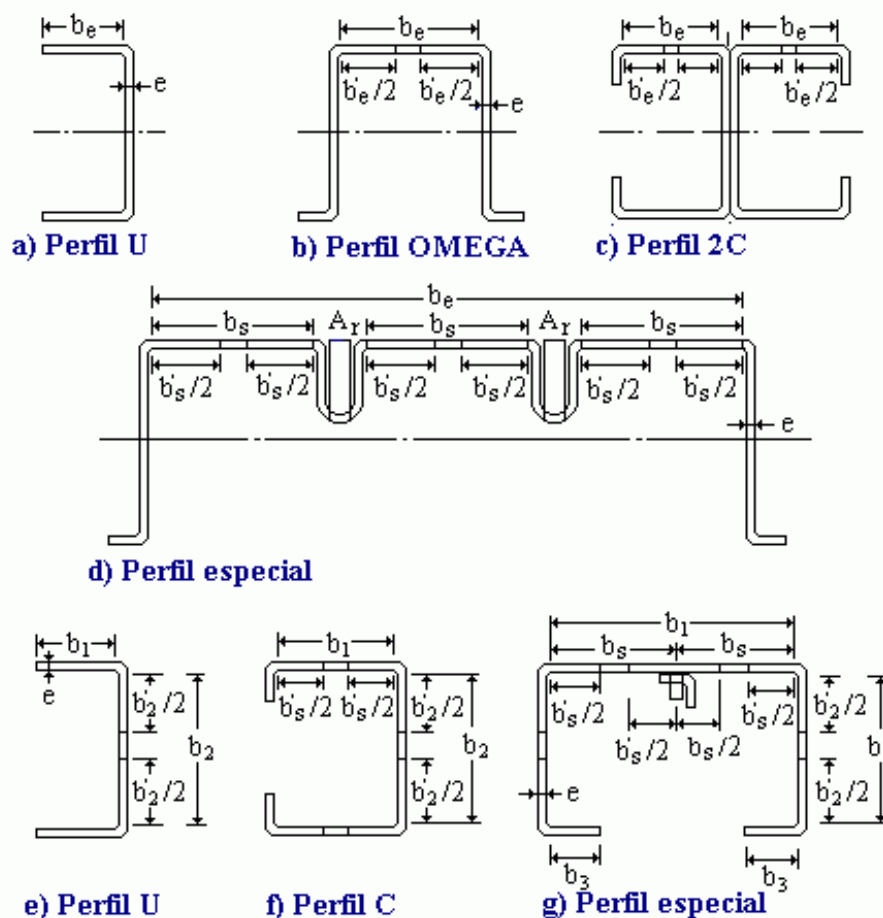


Figura 4.1.4.- Secciones eficaces de perfiles sometidos a flexión simple (casos a, b, c y d) y a compresión (casos e, f y g)

## Delgadez

En un elemento es la relación:  $\delta = b_e / e$ . En un subelemento es la relación:

$$\delta_s = b_s / e$$

No se admite que su valor sea mayor que los expresados en la tabla 4.1.4.

**Tabla 4.1.4 Delgadez máxima  $\delta_{\text{máx}}$  de un elemento**

| Elementos  | Delgadez máxima $\delta_{\text{máx}}$ |
|--|---------------------------------------|
| <b>Elementos comprimidos:</b>  |                                       |
| No rigidizado(figura 4.1.4.a)  | 60                                    |
| Con rigidizador de labio(figura 4.1.5.1.a)   | 60                                    |
| Con rigidizador de pliego(figura 4.1.5.1.b)  | 90                                    |
| Unido en ambos bordes a otro elemento(figura 4.1.4.d)  | 500                                   |
| Subelementos comprimidos   | 250                                   |
|  |                                       |
| <b>Elementos con cortadura:</b>  |                                       |
| Cuando $ \alpha'\tau^*  > 0.5\tau_u$ (4.2.5)   | 150                                   |
| Alma simple de pieza flectada(figura 4.1.4.a)  | 150                                   |
| Cada chapa en alma múltiple(figura 4.1.4.c)(1)   | 150                                   |
| En otros casos   | 250                                   |
| Elementos traccionados   | 500                                   |
| (1) Si las dos o más chapas de un alma están unidas por puntos de soldadura u otros medios, a distancia: $s = t \geq 0.5b$ , como delgadez de cada chapa se tomará: $\delta = s : e$ |                                       |

### 4.1.5 Rigidizadores

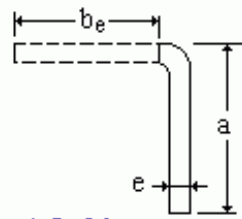
Para reducir el efecto de la abolladura en los elementos comprimidos, pueden disponerse rigidizadores longitudinales, que son de dos clases: rigidizadores de borde o rigidizadores intermedios. No es usual disponer rigidizadores transversales.

La sección de un rigidizador de borde o de uno intermedio se extiende hasta el encuentro con el elemento o con los subelementos, es decir, incluye las zonas curvas de acuerdo.

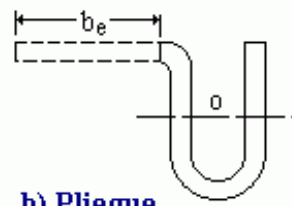
#### 4.1.5.1 Rigidizador de borde

Puede ser de labio (figura 4.1.5.1.a), o de otro tipo (figura 4.1.5.1.b) unido al elemento en su extremo, cuya sección tenga un momento de inercia respecto al eje que pasa por su baricentro, paralelo al elemento, no menor que  $I_b$ :

$$I_b = x_b e^4 ; \quad x_b = 1.83 \sqrt{\delta^2 - 117 \frac{24}{\sigma_u}} \not\geq 10$$



a) Labio



b) Pliegue

**Figura 4.1.5.1.- Rigidizadores de borde**

Cuando el rigidizador sea un labio en ángulo recto (figura 4.1.5.1.a) su anchura  $a$  no será menor que  $a_b$ :

$$a_b = \delta_b e ; \quad \delta_b = 2.8 \sqrt{\delta^2 - 117 \frac{24}{\sigma_u}} \not\geq 5$$

Los valores de  $x_b$  y  $\delta_b$  se indican en la tabla 4.1.5.1

**Tabla 4.1.5.1.- Características mínimas de los rigidizadores de borde**

| Delgadez del elemento o subelemento | Rigidizador de labio $\delta_b$ en acero |      |      | Rigidizador de otro tipo $x_b$ en acero |     |     |
|-------------------------------------|--|------|------|---|-----|-----|
|                                     | A37                                      | A42  | A52  | A37                                     | A42 | A52 |
| $\delta, \delta_s$                  |  |      |      |   |     |     |
| 10                                  | 5.0                                      | 5.0  | 5.0  | 10                                      | 10  | 10  |
| 11                                  | 5.0                                      | 5.0  | 5.2  | 10                                      | 10  | 12  |
| 12                                  | 5.0                                      | 5.1  | 5.6  | 10                                      | 11  | 15  |
| 13                                  | 5.4                                      | 5.6  | 5.9  | 13                                      | 14  | 18  |
| 14                                  | 5.8                                      | 5.9  | 6.2  | 16                                      | 17  | 20  |
| 16                                  | 6.4                                      | 6.4  | 6.6  | 22                                      | 22  | 24  |
| 18                                  | 6.8                                      | 6.9  | 7.0  | 26                                      | 27  | 29  |
| 20                                  | 7.2                                      | 7.2  | 7.3  | 31                                      | 31  | 33  |
| 25                                  | 7.9                                      | 7.9  | 8.0  | 41                                      | 42  | 43  |
| 30                                  | 8.5                                      | 8.5  | 8.6  | 51                                      | 52  | 53  |
| 40                                  | 9.5                                      | 9.5  | 9.5  | 71                                      | 71  | 71  |
| 50                                  | 10.2                                     | 10.2 | 10.2 | 89                                      | 90  | 90  |
| 60                                  | 10.9                                     | 10.9 | 10.9 | 108                                     | 108 | 109 |
| 70                                  | -  | -    | -    | 127                                     | 127 | 127 |
| 80                                  | -  | -    | -    | 150                                     | 150 | 150 |
| 90                                  | -  | -    | -    | 164                                     | 164 | 164 |

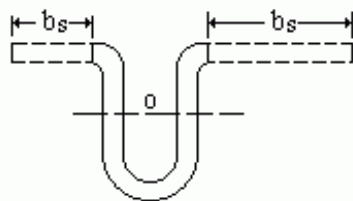


#### 4.1.5.2 Rigidizador intermedio

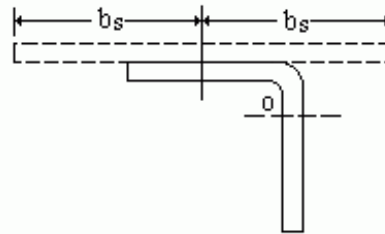
Puede ser un pliegue, un perfil unido, o combinación de ambos, en el interior de un elemento multirrigidizado (figura 4.1.5.2), cuya sección tenga un momento de inercia respecto al eje que pasa por su baricentro, paralelo al elemento, no menor que  $I_i$ :

$$I_i = x_i e^4 ; x_i = 3.66 \sqrt{\delta_s^2 - 117 \frac{24}{\sigma_u}} \not\geq 20$$

Los valores de  $x_i$  se indican en la tabla 4.1.5.2.



a) Pliegue



b) Perfil unido

**Figura 4.1.5.2.- Rigidizadores intermedios**

**Tabla 4.1.5.2 Características mínimas de los rigidizadores intermedios**

| Delgadez del subelemento<br>$\delta_s$ | $X_i$ en acero |     |     |
|--|----------------|-----|-----|
|  | A37            | A42 | A52 |
| 10                                     | 20             | 20  | 20  |
| 20                                     | 62             | 63  | 66  |
| 30                                     | 102            | 103 | 105 |
| 40                                     | 141            | 141 | 143 |
| 50                                     | 179            | 179 | 180 |
| 60                                     | 216            | 216 | 217 |
| 70                                     | 253            | 253 | 254 |
| 80                                     | 290            | 290 | 291 |
| 90                                     | 327            | 327 | 328 |
| 100                                    | 364            | 364 | 365 |
| 110                                    | 401            | 401 | 401 |
| 120                                    | 437            | 437 | 438 |
| 130                                    | 474            | 474 | 475 |
| 140                                    | 511            | 511 | 511 |
| 150                                    | 548            | 548 | 548 |
| 160                                    | 584            | 584 | 585 |

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 170 | 621 | 621 | 621 |
| 180 | 658 | 658 | 658 |
| 190 | 694 | 694 | 695 |
| 200 | 731 | 731 | 731 |
| 210 | 768 | 768 | 768 |
| 220 | 804 | 804 | 804 |
| 230 | 841 | 841 | 841 |
| 240 | 878 | 878 | 878 |
| 250 | 914 | 914 | 914 |

## 4.2 Abolladura

### 4.2.1 Concepto

Una pieza de chapa conformada con sollicitación de flexión simple, flexión compuesta, o compresión tiene elementos planos sometidos a compresión o a cortadura. Cuando la delgadez de uno de estos elementos es mayor que la delgadez límite que corresponde a su caso, antes de que la tensión ponderada resultante alcance la resistencia de cálculo, el elemento sufre abolladura, es decir, se deforma normalmente a su plano, lo que reduce la sollicitación de agotamiento.

### 4.2.2 Abolladura por tensiones normales

Un elemento no rigidizado comprimido (4.1.3) de delgadez  $\delta$  mayor que la delgadez límite:

$$\delta_{lm} = 10.8 \frac{24}{\sigma_u}$$

sufre abolladura de forma ondulada (figura 4.2.2.a).

Un elemento rigidizado comprimido (4.1.3) de longitud mayor que la anchura recta y delgadez mayor que la delgadez límite:

$$\delta_{lr} = 40.8 \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}}$$

sufre abolladura formando paneles aproximadamente cuadrados (figura 4.2.2.b) que se deforman alternativamente a un lado y a otro. La deformación de las fibras longitudinales del elemento se reduce por efecto de las fibras transversales que las cruzan, que trabajan a tracción. La tensión en las fibras longitudinales es variable a lo largo de la anchura recta  $b_e$  (figura 4.2.2.c), con ley de variación que depende de la tensión ponderada máxima  $\sigma^*$  que se produce en los bordes.

La resultante  $R^*$  de las compresiones puede expresarse así:

$$R^* = \sigma^* b'_e e < \sigma^* b_e e$$

siendo  $b'_e$  la denominada anchura eficaz del elemento definida a continuación.

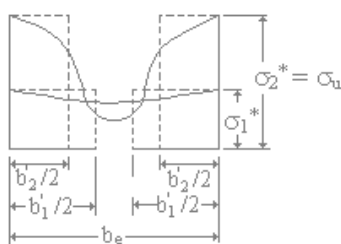
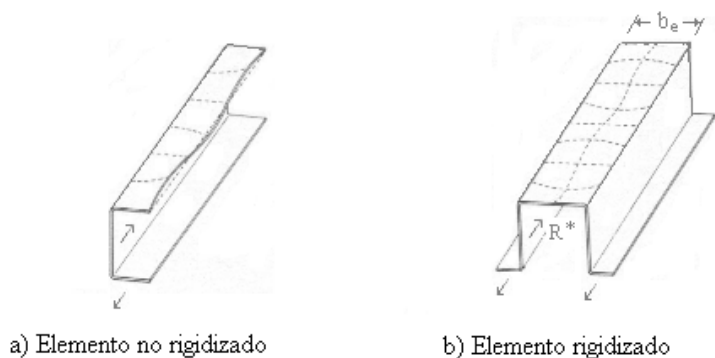


Figura 4.2.2.- Abolladura de elementos planos comprimidos

#### 4.2.2.1 Anchura eficaz

Es la anchura  $b'_e = \beta b_e$  de un elemento rigidizado, o  $b'_s = \beta b_s$  de un subelemento que correspondería a una distribución uniforme de  $\sigma^*$  (figura 4.2.2.c).

El factor de eficacia,  $\beta \leq 1$ , es función de la delgadez y de la tensión ponderada resultante  $\sigma^*$ , y se obtiene en 4.2.4 y 4.2.6. Como a su vez  $\sigma^*$  depende de  $\beta$ , se requiere operar por aproximaciones sucesivas o emplear procedimientos simplificados (4.3.2 y 4.4.2).

#### 4.2.2.2 Sección eficaz de un perfil

Para la comprobación tensional en la sección de un perfil conformado que tenga elementos rigidizados comprimidos, la sección total se sustituye por la sección eficaz (figura 4.1.4), en la cual:

- La anchura recta  $b_e$  de los elementos no rigidizados comprimidos se mantiene (figura 4.1.4.e).
- La de los elementos rigidizados comprimidos se sustituye por su anchura eficaz  $b'_e$  (figura 4.1.4.b, c, d, e, f, g).
- La anchura eficaz de un elemento o subelemento se considera dividida en dos partes iguales situadas a partir de los extremos de aquél.
- El área  $A_r$  de cada rigidizador se sustituye por su área eficaz  $A'_r$  definida en 4.2.4.2.
- El baricentro de la sección eficaz de un rigidizador coincide con el de su sección total (figura 4.1.4.d y g).
- Los rigidizadores conservan su momento de inercia.

### 4.2.3 Tensiones en los elementos no rigidizados

El efecto de la abolladura  $\alpha$  en estos elementos se tendrá en cuenta aplicando a la tensión ponderada de compresión  $\sigma^*$  (4.4.5), el coeficiente de abolladura calculado a continuación, debiendo cumplirse:

$$|\alpha \sigma^*| \leq \sigma_u$$

#### 4.2.3.1 Coeficiente de abolladura

El coeficiente de abolladura  $\alpha$  de un elemento no rigidizado, de delgadez tiene el valor siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Si } \delta \leq \delta_m &= 10.8 \frac{24}{\sigma_u}; \alpha = 1 \\ \text{Si } \delta > \delta_m &: \alpha = 1 + \frac{(\sigma_u + 9)(\delta - \delta_m)^2}{\xi} \end{aligned}$$

En un elemento unido a un elemento no rigidizado, como el ala de un perfil L, si

$$l : b_e \geq 4.45 \quad ; \quad \xi = 10000$$

En un elemento unido a un elemento rigidizado, como el ala de un perfil U, si





$$l : b_e \geq 1.48 \quad ; \quad \xi = 18000$$

En elementos cortos de ambos tipos, en que  $l : b_e$  es menor que los correspondientes límites anteriores:

$$\xi = 9000 + \frac{19800}{\left(\frac{l}{b_e}\right)^2} \geq 88200$$

Los valores de  $\alpha$  en función de  $\delta$ , y para elementos cortos en función además de  $l/b_e$ , en acero A37 se dan en la tabla 4.2.3.1.

**Tabla 4.2.3.1.- Coeficiente de abolladura  $\alpha$  en elementos rectos no rigidizados**

| Delgadez<br>del<br>elemento<br>δ  | Coeficiente de abolladura α   |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |  |
|---|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|--|
|   |   |   | Con acero A37   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |  |
|   | Elemento unido a otro<br>elemento   |   | Elemento corto, siendo: l/b <sub>e</sub>  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |  |
|   | Rigidizado<br>l:b <sub>e</sub> ≥ 1.40   | No<br>rigidizado<br>l:b <sub>e</sub> ≥ 4.45 |  |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |      |      |      |  |
|  |  | ≤ 0.5                                       | 0.6   | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 1.8  | 2.0   | 2.5  | 3.0  | 3.5  | 4.0  |  |
| 11  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
| 12  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
| 13  | 1.01  | 1.02  | 1.00  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01  | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 |  |
| 14  | 1.02  | 1.03  | 1.00  | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.02  | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |  |
| 15  | 1.03  | 1.06  | 1.01  | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04  | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |  |
| 16  | 1.05  | 1.09  | 1.01  | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.06  | 1.06 | 1.07 | 1.08 | 1.08 |  |
| 17  | 1.07  | 1.13  | 1.01  | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.06 | 1.07 | 1.08 | 1.08  | 1.09 | 1.10 | 1.11 | 1.12 |  |
| 18  | 1.10  | 1.17  | 1.02  | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.08 | 1.09 | 1.10 | 1.11  | 1.12 | 1.14 | 1.15 | 1.16 |  |
| 19  | 1.12  | 1.22  | 1.03  | 1.03 | 1.04 | 1.06 | 1.07 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.13 | 1.15  | 1.16 | 1.18 | 1.20 | 1.21 |  |
| 20  | 1.16  | 1.28  | 1.03  | 1.04 | 1.06 | 1.07 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.15 | 1.17 | 1.18  | 1.20 | 1.23 | 1.25 | 1.26 |  |
| 21  | 1.19  | 1.34  | 1.04  | 1.05 | 1.07 | 1.09 | 1.10 | 1.12 | 1.15 | 1.18 | 1.21 | 1.23  | 1.25 | 1.28 | 1.31 | 1.32 |  |
| 22  | 1.23  | 1.41  | 1.05  | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.18 | 1.22 | 1.25 | 1.27  | 1.30 | 1.34 | 1.37 | 1.39 |  |
| 23  | 1.27  | 1.49  | 1.06  | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.15 | 1.17 | 1.22 | 1.26 | 1.29 | 1.33  | 1.35 | 1.40 | 1.44 | 1.46 |  |
| 24  | 1.32  | 1.57  | 1.06  | 1.09 | 1.12 | 1.14 | 1.17 | 1.20 | 1.25 | 1.30 | 1.34 | 1.38  | 1.41 | 1.47 | 1.51 | 1.54 |  |
| 25  | 1.37  | 1.67  | 1.08  | 1.10 | 1.13 | 1.17 | 1.20 | 1.23 | 1.29 | 1.35 | 1.40 | 1.44  | 1.48 | 1.55 | 1.59 | 1.63 |  |
| 26  | 1.42  | 1.76  | 1.09  | 1.12 | 1.15 | 1.19 | 1.23 | 1.26 | 1.34 | 1.40 | 1.46 | 1.50  | 1.55 | 1.63 | 1.68 | 1.72 |  |
| 27  | 1.48  | 1.87  | 1.10  | 1.14 | 1.17 | 1.22 | 1.26 | 1.30 | 1.38 | 1.45 | 1.52 | 1.57  | 1.62 | 1.71 | 1.77 | 1.82 |  |
| 28  | 1.54  | 1.98  | 1.11  | 1.15 | 1.20 | 1.24 | 1.29 | 1.34 | 1.43 | 1.51 | 1.58 | 1.65  | 1.70 | 1.80 | 1.87 | 1.92 |  |
| 29  | 1.61  | 2.09  | 1.12  | 1.17 | 1.22 | 1.27 | 1.33 | 1.38 | 1.48 | 1.57 | 1.65 | 1.72  | 1.78 | 1.90 | 1.98 | 2.03 |  |
| 30  | 1.68  | 2.22  | 1.14  | 1.19 | 1.25 | 1.30 | 1.36 | 1.42 | 1.54 | 1.64 | 1.73 | 1.81  | 1.87 | 2.00 | 2.09 | 2.15 |  |
| 31  | 1.75  | 2.35  | 1.15  | 1.21 | 1.27 | 1.34 | 1.40 | 1.48 | 1.59 | 1.71 | 1.81 | 1.89  | 1.97 | 2.11 | 2.20 | 2.27 |  |
| 32  | 1.82  | 2.48  | 1.17  | 1.23 | 1.30 | 1.37 | 1.44 | 1.51 | 1.65 | 1.78 | 1.87 | 1.98  | 2.06 | 2.22 | 2.32 | 2.39 |  |
| 33  | 1.90  | 2.63  | 1.18  | 1.25 | 1.33 | 1.41 | 1.49 | 1.56 | 1.72 | 1.85 | 1.97 | 2.08  | 2.17 | 2.34 | 2.45 | 2.53 |  |
| 34  | 1.99  | 2.78  | 1.20  | 1.28 | 1.36 | 1.44 | 1.53 | 1.62 | 1.78 | 1.93 | 2.06 | 2.18  | 2.27 | 2.46 | 2.59 | 2.67 |  |
| 35  | 2.07  | 2.93  | 1.22  | 1.30 | 1.39 | 1.48 | 1.58 | 1.67 | 1.85 | 2.01 | 2.16 | 2.28  | 2.39 | 2.59 | 2.73 | 2.82 |  |
| 36  | 2.16  | 3.10  | 1.24  | 1.33 | 1.42 | 1.52 | 1.63 | 1.73 | 1.92 | 2.10 | 2.15 | 2.39  | 2.50 | 2.72 | 2.87 | 2.97 |  |
| 37  | 2.27  | 3.27  | 1.26  | 1.35 | 1.46 | 1.57 | 1.68 | 1.79 | 2.00 | 2.19 | 2.35 | 2.50  | 2.69 | 2.86 | 3.02 | 3.13 |  |
| 38  | 2.36  | 3.44  | 1.28  | 1.38 | 1.49 | 1.61 | 1.73 | 1.85 | 2.07 | 2.28 | 2.46 | 2.62  | 2.75 | 3.01 | 3.22 | 3.30 |  |
| 39  | 2.46  | 3.62  | 1.30  | 1.41 | 1.52 | 1.66 | 1.78 | 1.91 | 2.15 | 2.38 | 2.57 | 2.74  | 2.88 | 3.16 | 3.34 | 3.47 |  |
| 40  | 2.56  | 3.81  | 1.32  | 1.44 | 1.57 | 1.70 | 1.84 | 1.98 | 2.24 | 2.47 | 2.68 | 2.86  | 3.02 | 3.31 | 3.51 | 3.65 |  |
| 41  | 2.67  | 4.01  | 1.34  | 1.47 | 1.61 | 1.75 | 1.90 | 2.04 | 2.32 | 2.58 | 2.80 | 2.99  | 3.16 | 3.47 | 3.69 | 3.84 |  |
| 42  | 2.79  | 4.21  | 1.36  | 1.50 | 1.65 | 1.80 | 1.96 | 2.11 | 2.41 | 2.68 | 2.92 | 3.13  | 3.30 | 3.64 | 3.87 | 4.03 |  |
| 43  | 2.90  | 4.42  | 1.39  | 1.53 | 1.69 | 1.86 | 2.02 | 2.19 | 2.51 | 2.79 | 3.05 | 3.27  | 3.45 | 3.81 | 4.06 | 4.22 |  |
| 44  | 3.02  | 4.64  | 1.41  | 1.57 | 1.73 | 1.91 | 2.09 | 2.26 | 2.60 | 2.91 | 3.18 | 3.41  | 3.61 | 3.99 | 4.25 | 4.43 |  |
| 45  | 3.14  | 4.86  | 1.44  | 1.60 | 1.78 | 1.96 | 2.15 | 2.34 | 2.70 | 3.02 | 3.31 | 3.56  | 3.77 | 4.17 | 4.45 | 4.64 |  |
| 46  | 3.27  | 5.09  | 1.46  | 1.64 | 1.83 | 2.02 | 2.22 | 2.42 | 2.80 | 3.14 | 3.45 | 3.71  | 3.93 | 4.36 | 4.65 | 4.85 |  |
| 47  | 3.40  | 5.32  | 1.49  | 1.67 | 1.87 | 2.08 | 2.29 | 2.50 | 2.90 | 3.27 | 3.59 | 3.86  | 4.10 | 4.55 | 4.86 | 5.07 |  |
| 48  | 3.54  | 5.57  | 1.52  | 1.71 | 1.92 | 2.14 | 2.37 | 2.58 | 3.01 | 3.39 | 3.73 | 4.02  | 4.27 | 4.75 | 5.06 | 5.30 |  |
| 49  | 3.68  | 5.82  | 1.54  | 1.75 | 1.97 | 2.20 | 2.44 | 2.67 | 3.12 | 3.52 | 3.88 | 4.19  | 4.45 | 4.96 | 5.30 | 5.54 |  |
| 50  | 3.82  | 6.07  | 1.57  | 1.79 | 2.02 | 2.27 | 2.52 | 2.76 | 3.23 | 3.66 | 4.03 | 4.36  | 4.64 | 5.17 | 5.53 | 5.78 |  |
| 51  | 3.96  | 6.33  | 1.60  | 1.83 | 2.08 | 2.33 | 2.59 | 2.85 | 3.35 | 3.79 | 4.19 | 4.53  | 4.82 | 5.38 | 5.76 | 6.02 |  |

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52 | 4.11 | 6.60 | 1.63 | 1.87 | 2.13 | 2.40 | 2.67 | 2.94 | 3.46 | 3.94 | 4.35 | 4.71 | 5.02 | 5.60 | 6.00 | 6.28 | 6.47 |
| 53 | 4.27 | 6.88 | 1.66 | 1.92 | 2.19 | 2.47 | 2.76 | 3.04 | 3.59 | 4.08 | 4.51 | 4.89 | 5.21 | 5.83 | 6.25 | 6.54 | 6.74 |
| 54 | 4.42 | 7.16 | 1.70 | 1.96 | 2.24 | 2.54 | 2.84 | 3.14 | 3.71 | 4.23 | 4.68 | 5.08 | 5.42 | 6.06 | 6.50 | 6.80 | 7.01 |
| 55 | 4.58 | 7.45 | 1.73 | 2.01 | 2.42 | 2.61 | 2.93 | 3.24 | 3.84 | 4.38 | 4.86 | 5.27 | 5.62 | 6.30 | 6.76 | 7.07 | 7.29 |
| 56 | 4.75 | 7.74 | 1.76 | 2.05 | 2.36 | 2.69 | 3.02 | 3.34 | 3.97 | 4.53 | 5.03 | 5.38 | 5.83 | 6.54 | 7.02 | 7.35 | 7.58 |
| 57 | 4.91 | 8.04 | 1.80 | 2.10 | 2.42 | 2.76 | 3.11 | 3.44 | 4.10 | 4.69 | 5.21 | 5.46 | 6.05 | 6.79 | 7.29 | 7.64 | 7.87 |
| 58 | 5.08 | 8.35 | 1.83 | 2.15 | 2.49 | 2.84 | 3.20 | 3.55 | 4.23 | 4.85 | 5.40 | 5.87 | 6.27 | 7.04 | 7.57 | 7.93 | 8.17 |
| 59 | 5.26 | 8.67 | 1.87 | 2.20 | 2.55 | 2.91 | 3.29 | 3.66 | 4.37 | 5.02 | 5.58 | 6.08 | 6.50 | 7.30 | 7.85 | 8.22 | 8.48 |
| 60 | 5.44 | 8.99 | 1.90 | 2.25 | 2.61 | 3.00 | 3.39 | 3.77 | 4.51 | 5.19 | 5.78 | 6.29 | 6.73 | 7.55 | 8.13 | 8.52 | 8.80 |

#### 4.2.4 Tensiones en los elementos rigidizados

El efecto de la abolladura, en estos elementos, se tendrá en cuenta obteniendo la tensión ponderada resultante  $\sigma^*$  con la sección eficaz (4.2.2.2), debiendo cumplirse:

$$|\sigma^*| \leq \sigma_u$$

La sección eficaz de un elemento rigidizado comprimido se determina en función de la tensión ponderada resultante  $\sigma^*$ , en kg/mm<sup>2</sup>, en cada uno de los siguientes casos.

##### 4.2.4.1 Elemento rigidizado entre dos almas

Area eficaz:

$$A' = \beta b_e e$$

$$\text{Si } \delta \leq \delta_{lr} = 40.8 \frac{\sqrt{24}}{\sigma^*} ; \beta = 1$$

$$\text{Si } \delta > \delta_{lr} ; \beta = \frac{56.1}{15.3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}}$$

Los valores de  $\beta$  en función de  $\delta$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 4.2.4.1.

**Tabla 4.2.4.1 Factor de eficacia en un elemento rigidizado entre dos almas**

| delgadez<br>del<br>elemento<br>$\delta$ | Factor de eficacia $\beta$ siendo $\sigma^*$ en kp/mm <sup>2</sup> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 0  | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    | 30    | 32    | 34    | 36    |
| $\leq 30$                               | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 40                                      | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.985 | 0.959 | 0.935 | 0.912 | 0.892 | 0.873 |
| 50                                      | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.957 | 0.921 | 0.888 | 0.859 | 0.833 | 0.809 | 0.788 | 0.768 | 0.750 | 0.733 |
| 60                                      | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.971 | 0.918 | 0.873 | 0.834 | 0.801 | 0.771 | 0.745 | 0.722 | 0.700 | 0.681 | 0.663 | 0.647 | 0.632 |
| 70                                      | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.928 | 0.866 | 0.816 | 0.774 | 0.739 | 0.708 | 0.681 | 0.658 | 0.636 | 0.617 | 0.600 | 0.584 | 0.569 | 0.555 |
| 80                                      | 1  | 1     | 1     | 1     | 0.912 | 0.838 | 0.781 | 0.734 | 0.696 | 0.663 | 0.635 | 0.610 | 0.589 | 0.569 | 0.552 | 0.536 | 0.521 | 0.508 | 0.495 |
| 90                                      | 1  | 1     | 1     | 0.930 | 0.834 | 0.764 | 0.711 | 0.668 | 0.632 | 0.602 | 0.576 | 0.553 | 0.533 | 0.515 | 0.499 | 0.484 | 0.471 | 0.458 | 0.447 |
| 100                                     | 1  | 1     | 1     | 0.859 | 0.768 | 0.703 | 0.652 | 0.612 | 0.579 | 0.551 | 0.526 | 0.505 | 0.487 | 0.470 | 0.455 | 0.441 | 0.429 | 0.418 | 0.407 |
| 110                                     | 1  | 1     | 0.932 | 0.798 | 0.712 | 0.650 | 0.603 | 0.565 | 0.534 | 0.507 | 0.485 | 0.465 | 0.448 | 0.432 | 0.418 | 0.406 | 0.394 | 0.384 | 0.374 |
| 120                                     | 1  | 1     | 0.873 | 0.745 | 0.663 | 0.605 | 0.560 | 0.525 | 0.495 | 0.471 | 0.449 | 0.431 | 0.415 | 0.400 | 0.387 | 0.375 | 0.365 | 0.355 | 0.346 |
| 130                                     | 1  | 1     | 0.821 | 0.699 | 0.621 | 0.565 | 0.523 | 0.490 | 0.462 | 0.439 | 0.419 | 0.401 | 0.386 | 0.372 | 0.360 | 0.349 | 0.339 | 0.330 | 0.321 |
| 140                                     | 1  | 1     | 0.774 | 0.658 | 0.584 | 0.531 | 0.491 | 0.459 | 0.433 | 0.411 | 0.392 | 0.376 | 0.361 | 0.348 | 0.337 | 0.326 | 0.317 | 0.308 | 0.300 |
| 150                                     | 1  | 0.957 | 0.733 | 0.621 | 0.551 | 0.500 | 0.462 | 0.432 | 0.407 | 0.386 | 0.369 | 0.353 | 0.339 | 0.327 | 0.316 | 0.307 | 0.298 | 0.289 | 0.282 |
| 160                                     | 1  | 0.912 | 0.696 | 0.589 | 0.521 | 0.473 | 0.437 | 0.408 | 0.384 | 0.365 | 0.348 | 0.333 | 0.320 | 0.309 | 0.298 | 0.289 | 0.280 | 0.273 | 0.266 |
| 170                                     | 1  | 0.871 | 0.662 | 0.559 | 0.494 | 0.449 | 0.414 | 0.387 | 0.364 | 0.345 | 0.329 | 0.315 | 0.303 | 0.292 | 0.282 | 0.273 | 0.265 | 0.258 | 0.251 |
| 180                                     | 1  | 0.834 | 0.632 | 0.533 | 0.471 | 0.427 | 0.393 | 0.367 | 0.346 | 0.328 | 0.312 | 0.299 | 0.287 | 0.277 | 0.267 | 0.259 | 0.251 | 0.244 | 0.238 |

|     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 190 | 1 | 0.800 | 0.604 | 0.509 | 0.449 | 0.407 | 0.375 | 0.350 | 0.329 | 0.312 | 0.297 | 0.284 | 0.273 | 0.263 | 0.254 | 0.246 | 0.239 | 0.232 | 0.226 |
| 200 | 1 | 0.768 | 0.579 | 0.487 | 0.429 | 0.389 | 0.358 | 0.334 | 0.314 | 0.298 | 0.284 | 0.271 | 0.261 | 0.251 | 0.243 | 0.235 | 0.228 | 0.221 | 0.216 |
| 210 | 1 | 0.739 | 0.555 | 0.466 | 0.411 | 0.372 | 0.343 | 0.319 | 0.300 | 0.285 | 0.271 | 0.259 | 0.249 | 0.240 | 0.232 | 0.224 | 0.218 | 0.211 | 0.206 |
| 220 | 1 | 0.712 | 0.534 | 0.448 | 0.394 | 0.357 | 0.328 | 0.306 | 0.288 | 0.273 | 0.260 | 0.248 | 0.238 | 0.230 | 0.222 | 0.215 | 0.208 | 0.202 | 0.197 |
| 230 | 1 | 0.687 | 0.514 | 0.431 | 0.379 | 0.343 | 0.315 | 0.294 | 0.276 | 0.262 | 0.249 | 0.238 | 0.229 | 0.220 | 0.213 | 0.206 | 0.200 | 0.194 | 0.189 |
| 240 | 1 | 0.663 | 0.495 | 0.415 | 0.365 | 0.330 | 0.303 | 0.282 | 0.266 | 0.251 | 0.239 | 0.229 | 0.220 | 0.212 | 0.204 | 0.198 | 0.192 | 0.186 | 0.181 |
| 250 | 1 | 0.641 | 0.478 | 0.400 | 0.351 | 0.318 | 0.292 | 0.272 | 0.256 | 0.242 | 0.230 | 0.220 | 0.211 | 0.204 | 0.197 | 0.190 | 0.185 | 0.179 | 0.175 |
| 260 | 1 | 0.621 | 0.462 | 0.386 | 0.339 | 0.306 | 0.282 | 0.262 | 0.246 | 0.233 | 0.222 | 0.212 | 0.204 | 0.196 | 0.189 | 0.183 | 0.178 | 0.173 | 0.168 |
| 270 | 1 | 0.602 | 0.447 | 0.373 | 0.328 | 0.296 | 0.272 | 0.253 | 0.238 | 0.225 | 0.214 | 0.205 | 0.197 | 0.189 | 0.183 | 0.177 | 0.172 | 0.167 | 0.162 |
| 280 | 1 | 0.584 | 0.433 | 0.361 | 0.317 | 0.286 | 0.263 | 0.245 | 0.230 | 0.218 | 0.207 | 0.198 | 0.190 | 0.183 | 0.177 | 0.171 | 0.166 | 0.161 | 0.157 |
| 290 | 1 | 0.567 | 0.420 | 0.350 | 0.307 | 0.277 | 0.255 | 0.237 | 0.223 | 0.211 | 0.200 | 0.191 | 0.184 | 0.177 | 0.171 | 0.165 | 0.160 | 0.156 | 0.151 |
| 300 | 1 | 0.551 | 0.407 | 0.339 | 0.298 | 0.268 | 0.247 | 0.230 | 0.216 | 0.204 | 0.194 | 0.185 | 0.178 | 0.171 | 0.165 | 0.160 | 0.155 | 0.151 | 0.147 |
| 310 | 1 | 0.535 | 0.395 | 0.329 | 0.289 | 0.260 | 0.239 | 0.223 | 0.209 | 0.198 | 0.188 | 0.180 | 0.172 | 0.166 | 0.160 | 0.155 | 0.150 | 0.146 | 0.142 |
| 320 | 1 | 0.521 | 0.384 | 0.320 | 0.280 | 0.253 | 0.232 | 0.216 | 0.203 | 0.192 | 0.182 | 0.174 | 0.167 | 0.161 | 0.155 | 0.150 | 0.146 | 0.142 | 0.138 |
| 330 | 1 | 0.507 | 0.374 | 0.311 | 0.273 | 0.246 | 0.226 | 0.210 | 0.197 | 0.186 | 0.177 | 0.169 | 0.162 | 0.156 | 0.151 | 0.146 | 0.142 | 0.137 | 0.134 |
| 340 | 1 | 0.494 | 0.364 | 0.303 | 0.265 | 0.239 | 0.219 | 0.204 | 0.192 | 0.181 | 0.172 | 0.165 | 0.158 | 0.152 | 0.147 | 0.142 | 0.138 | 0.134 | 0.130 |
| 350 | 1 | 0.482 | 0.355 | 0.295 | 0.258 | 0.233 | 0.213 | 0.199 | 0.186 | 0.176 | 0.168 | 0.160 | 0.154 | 0.148 | 0.143 | 0.138 | 0.134 | 0.130 | 0.126 |
| 360 | 1 | 0.471 | 0.346 | 0.287 | 0.251 | 0.227 | 0.208 | 0.193 | 0.181 | 0.172 | 0.163 | 0.156 | 0.149 | 0.144 | 0.139 | 0.134 | 0.130 | 0.126 | 0.123 |
| 370 | 1 | 0.459 | 0.337 | 0.280 | 0.245 | 0.221 | 0.203 | 0.188 | 0.177 | 0.167 | 0.159 | 0.152 | 0.146 | 0.140 | 0.135 | 0.131 | 0.127 | 0.123 | 0.120 |
| 380 | 1 | 0.449 | 0.329 | 0.273 | 0.239 | 0.215 | 0.198 | 0.184 | 0.172 | 0.163 | 0.155 | 0.148 | 0.142 | 0.137 | 0.132 | 0.127 | 0.124 | 0.120 | 0.117 |
| 390 | 1 | 0.439 | 0.321 | 0.267 | 0.233 | 0.210 | 0.193 | 0.179 | 0.168 | 0.159 | 0.151 | 0.144 | 0.138 | 0.133 | 0.129 | 0.124 | 0.120 | 0.117 | 0.114 |
| 400 | 1 | 0.429 | 0.314 | 0.261 | 0.228 | 0.205 | 0.188 | 0.175 | 0.164 | 0.155 | 0.147 | 0.141 | 0.135 | 0.130 | 0.125 | 0.121 | 0.118 | 0.114 | 0.111 |
| 410 | 1 | 0.420 | 0.307 | 0.255 | 0.223 | 0.200 | 0.184 | 0.171 | 0.160 | 0.151 | 0.144 | 0.138 | 0.132 | 0.127 | 0.122 | 0.118 | 0.115 | 0.111 | 0.108 |
| 420 | 1 | 0.411 | 0.300 | 0.249 | 0.218 | 0.196 | 0.180 | 0.167 | 0.157 | 0.148 | 0.141 | 0.134 | 0.129 | 0.124 | 0.120 | 0.116 | 0.112 | 0.109 | 0.106 |
| 430 | 1 | 0.402 | 0.294 | 0.244 | 0.213 | 0.192 | 0.176 | 0.163 | 0.153 | 0.145 | 0.138 | 0.131 | 0.126 | 0.121 | 0.117 | 0.113 | 0.110 | 0.106 | 0.104 |
| 440 | 1 | 0.394 | 0.288 | 0.238 | 0.208 | 0.187 | 0.172 | 0.160 | 0.150 | 0.142 | 0.135 | 0.129 | 0.123 | 0.119 | 0.114 | 0.111 | 0.107 | 0.104 | 0.101 |
| 450 | 1 | 0.286 | 0.282 | 0.233 | 0.204 | 0.183 | 0.168 | 0.156 | 0.147 | 0.139 | 0.132 | 0.126 | 0.121 | 0.116 | 0.112 | 0.108 | 0.105 | 0.102 | 0.099 |
| 460 | 1 | 0.379 | 0.276 | 0.229 | 0.200 | 0.180 | 0.165 | 0.153 | 0.144 | 0.136 | 0.129 | 0.123 | 0.118 | 0.114 | 0.110 | 0.106 | 0.103 | 0.100 | 0.097 |
| 470 | 1 | 0.372 | 0.271 | 0.224 | 0.196 | 0.176 | 0.161 | 0.150 | 0.141 | 0.133 | 0.126 | 0.121 | 0.116 | 0.111 | 0.107 | 0.104 | 0.101 | 0.098 | 0.095 |
| 480 | 1 | 0.365 | 0.266 | 0.220 | 0.192 | 0.173 | 0.158 | 0.147 | 0.138 | 0.130 | 0.124 | 0.118 | 0.113 | 0.109 | 0.105 | 0.102 | 0.098 | 0.096 | 0.093 |
| 490 | 1 | 0.358 | 0.261 | 0.216 | 0.188 | 0.169 | 0.155 | 0.144 | 0.135 | 0.128 | 0.121 | 0.116 | 0.111 | 0.107 | 0.103 | 0.100 | 0.097 | 0.094 | 0.091 |
| 500 | 1 | 0.351 | 0.256 | 0.211 | 0.185 | 0.166 | 0.152 | 0.141 | 0.132 | 0.125 | 0.119 | 0.114 | 0.109 | 0.105 | 0.101 | 0.098 | 0.095 | 0.092 | 0.089 |

#### 4.2.4.2 Elemento rigidizado entre un alma y un rigidizador de borde

El área eficaz vale:

$$A' = \beta b_e e + A'_r$$

donde:

$\beta$  es el factor de eficacia del elemento (tabla 4.2.4.1);

$A'_r = \beta_r A_r$  es el área eficaz del rigidizador de borde;

$A_r$  es el área de la sección del rigidizador de borde (4.1.5.1);

$\beta_r$  es el factor de eficacia del rigidizador (tabla 4.2.4.2).

Si  $\delta \leq 60$

$$\beta = \frac{56.1}{15.3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma}{24}}} \leq 1 ; \quad \beta_r = 1$$

Si  $60 < \delta \leq 90$

$$\beta = \frac{56.1 - 0.1(\delta - 60) \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}}{15.3 + \delta \sqrt{\frac{\sigma^*}{24}}} \geq 1$$

$$\beta_r = 1 - \left[ \frac{\delta}{30} - 2 \right] (1 - \beta) \geq 1$$

Los valores de  $\beta$  y de  $\beta_r$  en función de  $\delta$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 4.2.4.2.

**Tabla 4.2.4.2 Factores de eficacia de un elemento rigidizado entre un alma y un rigidizador de borde**

| Delgadez del elemen.<br>$\delta$ |           | Factor de eficacia $\beta$ y $\beta_r$ siendo $\sigma^*$ en $\text{kp/mm}^2$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|-----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  |           | $\leq 4$   | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    | 30    | 32    | 34    | 36    |
| $\leq 30$                        | $\beta$   | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 40                               |           | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.985 | 0.968 | 0.935 | 0.912 | 0.892 | 0.873 |
| 50                               |           | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.957 | 0.921 | 0.888 | 0.859 | 0.833 | 0.809 | 0.788 | 0.768 | 0.750 | 0.733 |
| 60                               |           | 1  | 1     | 1     | 1     | 0.971 | 0.918 | 0.873 | 0.834 | 0.801 | 0.771 | 0.745 | 0.722 | 0.700 | 0.681 | 0.663 | 0.647 | 0.632 |
| 70                               |           | 1  | 1     | 0.997 | 0.917 | 0.855 | 0.805 | 0.763 | 0.728 | 0.697 | 0.670 | 0.646 | 0.625 | 0.605 | 0.588 | 0.572 | 0.557 | 0.543 |
| 80                               |           | 1  | 0.996 | 0.894 | 0.819 | 0.761 | 0.714 | 0.676 | 0.643 | 0.614 | 0.590 | 0.568 | 0.548 | 0.530 | 0.514 | 0.500 | 0.486 | 0.474 |
| 90                               |           | 1  | 0.905 | 0.808 | 0.738 | 0.684 | 0.640 | 0.604 | 0.574 | 0.548 | 0.525 | 0.504 | 0.486 | 0.470 | 0.455 | 0.441 | 0.429 | 0.418 |
| $\leq 60$                        | $\beta_r$ | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 70                               |           | 1  | 1     | 0.999 | 0.972 | 0.952 | 0.935 | 0.921 | 0.909 | 0.899 | 0.890 | 0.882 | 0.875 | 0.868 | 0.863 | 0.857 | 0.852 | 0.848 |
| 80                               |           | 1  | 0.998 | 0.929 | 0.879 | 0.841 | 0.810 | 0.784 | 0.762 | 0.743 | 0.726 | 0.712 | 0.699 | 0.687 | 0.676 | 0.666 | 0.657 | 0.649 |
| 90                               |           | 1  | 0.905 | 0.808 | 0.738 | 0.684 | 0.640 | 0.604 | 0.574 | 0.548 | 0.525 | 0.504 | 0.486 | 0.470 | 0.455 | 0.441 | 0.429 | 0.418 |

#### 4.2.4.3 Elemento multirrigidizado entre dos almas

Su área eficaz se determina por el método I y por el método II, y se adopta la menor de las obtenidas:

##### Método I:

El área eficaz vale:

$$A' = \beta_1 A \quad ; \quad \beta_1 = 1 - \left[ 1 - \frac{28}{\delta_v} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \right]^2 \quad \text{con} \quad \frac{28}{\delta_v} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \geq 1$$

donde:

A es el área de la sección del elemento, incluidos los rigidizadores intermedios;

I es el momento de inercia de dicha sección, respecto al eje que pase por su baricentro, paralelo al elemento;

$b_e$  es la anchura recta total del elemento;

$$e_v = \sqrt[3]{\frac{12I}{b_e}} \quad \text{es el espesor virtual del elemento;}$$

$\delta_v = b_e / e_v$  es la delgadez virtual del elemento.

Los valores de  $\beta_1$  en función de  $\delta_v$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 4.2.4.1.A.

##### Método II:

El área eficaz vale:

$$A' = \sum \beta_s b_s e + \sum A'_r$$

donde:



$A'_r = \beta_r A_r$  es el área eficaz de cada rigidizador intermedio.

a) Caso de uno o dos rigidizadores intermedios:

Si  $\delta_s \leq 60$

$$\beta_s = 1 - \left[ 1 - \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \right]^2 \quad \text{con} \quad \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \geq 1$$

$$\beta_r = 1$$

Si  $\delta_s > 60$

$$\beta_s = 1 - \left[ 1 - \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \right]^2 - \frac{0,1}{\delta_s} [\delta_s - 60] \quad \text{con} \quad \frac{28}{\delta_s} \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} \geq 1$$

$$\beta_r = \frac{200 + (\delta_s - 60)^2 \beta_s}{200 + (\delta_s - 60)^2}$$

Los valores de  $\beta_s$  y de  $\beta_r$  en función de  $\delta_s$  y  $\sigma^*$  se dan en la tabla 4.2.4.3.B.

b) Caso de más de dos rigidizadores intermedios (figura 4.2.4.3).

La anchura eficaz:  $b'_{s1} = \beta_s b_{s1}$  de los elementos contiguos a almas, y el área eficaz:  $A'_r = \beta_r A_r$  de los rigidizadores intermedios unidos a éstos, se calculan con las fórmulas anteriores.

La zona central, de anchura total  $b_s$ , incluye los demás rigidizadores intermedios, que no se consideran. Su anchura eficaz:  $b'_{s2} = \beta_s b_{s2}$  se calcula con las fórmulas anteriores.

**Tabla 4.2.4.3.A Factor de eficacia de un elemento multirrigidizado entre dos almas (Método I)**

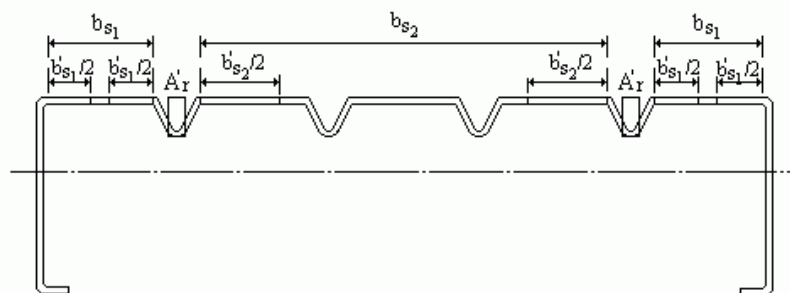
| Delgadez virtual del elemen.<br>$\delta$ | Factor de eficacia $\beta_1$ siendo $\sigma^*$ en kp/mm <sup>2</sup> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|  | 0  | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    | 30    | 32    | 34    | 36    |  |
| $\leq 20$                                | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |  |
| 30                                       | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 0.996 | 0.989 | 0.982 | 0.973 | 0.963 | 0.953 | 0.943 |  |
| 40                                       | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1.000 | 0.993 | 0.980 | 0.963 | 0.946 | 0.928 | 0.910 | 0.893 | 0.876 | 0.860 | 0.845 | 0.830 | 0.816 |  |
| 50                                       | 1  | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 0.982 | 0.957 | 0.929 | 0.901 | 0.875 | 0.851 | 0.828 | 0.806 | 0.787 | 0.768 | 0.751 | 0.735 | 0.720 | 0.705 |  |
| 60                                       | 1  | 1     | 1     | 0.996 | 0.963 | 0.923 | 0.884 | 0.849 | 0.816 | 0.787 | 0.761 | 0.737 | 0.716 | 0.696 | 0.677 | 0.661 | 0.645 | 0.630 | 0.617 |  |
| 70                                       | 1  | 1     | 1.000 | 0.960 | 0.906 | 0.855 | 0.811 | 0.773 | 0.740 | 0.710 | 0.684 | 0.661 | 0.640 | 0.621 | 0.604 | 0.588 | 0.573 | 0.559 | 0.547 |  |
| 80                                       | 1  | 1     | 0.980 | 0.910 | 0.845 | 0.790 | 0.745 | 0.707 | 0.674 | 0.645 | 0.620 | 0.597 | 0.577 | 0.559 | 0.543 | 0.528 | 0.514 | 0.502 | 0.490 |  |
| 90                                       | 1  | 1     | 0.943 | 0.857 | 0.787 | 0.732 | 0.686 | 0.649 | 0.617 | 0.589 | 0.565 | 0.544 | 0.525 | 0.508 | 0.493 | 0.479 | 0.466 | 0.454 | 0.444 |  |
| 100                                      | 1  | 0.999 | 0.901 | 0.806 | 0.735 | 0.679 | 0.635 | 0.599 | 0.568 | 0.542 | 0.519 | 0.499 | 0.482 | 0.466 | 0.451 | 0.438 | 0.426 | 0.415 | 0.405 |  |
| 110                                      | 1  | 0.986 | 0.858 | 0.759 | 0.687 | 0.633 | 0.590 | 0.555 | 0.526 | 0.501 | 0.480 | 0.461 | 0.444 | 0.429 | 0.416 | 0.404 | 0.392 | 0.382 | 0.372 |  |
| 120                                      | 1  | 0.963 | 0.816 | 0.716 | 0.645 | 0.592 | 0.551 | 0.518 | 0.490 | 0.466 | 0.446 | 0.428 | 0.412 | 0.398 | 0.385 | 0.374 | 0.363 | 0.354 | 0.345 |  |
| 130                                      | 1  | 0.936 | 0.777 | 0.676 | 0.607 | 0.556 | 0.516 | 0.484 | 0.458 | 0.436 | 0.416 | 0.399 | 0.384 | 0.371 | 0.359 | 0.348 | 0.338 | 0.329 | 0.321 |  |
| 140                                      | 1  | 0.906 | 0.740 | 0.640 | 0.573 | 0.524 | 0.486 | 0.455 | 0.430 | 0.409 | 0.390 | 0.374 | 0.360 | 0.347 | 0.336 | 0.326 | 0.316 | 0.308 | 0.300 |  |
| 150                                      | 1  | 0.875 | 0.705 | 0.607 | 0.542 | 0.495 | 0.458 | 0.429 | 0.405 | 0.385 | 0.367 | 0.352 | 0.338 | 0.327 | 0.316 | 0.306 | 0.297 | 0.289 | 0.282 |  |
| 160                                      | 1  | 0.845 | 0.674 | 0.577 | 0.514 | 0.469 | 0.434 | 0.406 | 0.383 | 0.363 | 0.347 | 0.332 | 0.319 | 0.308 | 0.298 | 0.289 | 0.280 | 0.272 | 0.265 |  |
| 170                                      | 1  | 0.816 | 0.644 | 0.550 | 0.489 | 0.445 | 0.412 | 0.385 | 0.363 | 0.344 | 0.328 | 0.314 | 0.302 | 0.291 | 0.282 | 0.273 | 0.265 | 0.258 | 0.251 |  |
| 180                                      | 1  | 0.787 | 0.617 | 0.525 | 0.466 | 0.424 | 0.392 | 0.366 | 0.345 | 0.327 | 0.312 | 0.299 | 0.287 | 0.277 | 0.267 | 0.259 | 0.251 | 0.244 | 0.238 |  |
| 190                                      | 1  | 0.760 | 0.592 | 0.503 | 0.445 | 0.404 | 0.373 | 0.349 | 0.328 | 0.311 | 0.297 | 0.284 | 0.273 | 0.263 | 0.254 | 0.246 | 0.239 | 0.232 | 0.226 |  |
| 200                                      | 1  | 0.735 | 0.568 | 0.482 | 0.426 | 0.387 | 0.357 | 0.333 | 0.314 | 0.297 | 0.283 | 0.271 | 0.260 | 0.251 | 0.242 | 0.235 | 0.228 | 0.221 | 0.216 |  |
| 210                                      | 1  | 0.710 | 0.547 | 0.462 | 0.409 | 0.370 | 0.342 | 0.319 | 0.300 | 0.284 | 0.271 | 0.259 | 0.249 | 0.240 | 0.232 | 0.224 | 0.218 | 0.211 | 0.206 |  |
| 220                                      | 1  | 0.687 | 0.526 | 0.444 | 0.392 | 0.355 | 0.328 | 0.306 | 0.287 | 0.272 | 0.259 | 0.248 | 0.238 | 0.230 | 0.222 | 0.215 | 0.208 | 0.202 | 0.197 |  |
| 230                                      | 1  | 0.666 | 0.507 | 0.428 | 0.377 | 0.342 | 0.315 | 0.293 | 0.276 | 0.261 | 0.249 | 0.238 | 0.229 | 0.220 | 0.213 | 0.206 | 0.200 | 0.194 | 0.189 |  |
| 240                                      | 1  | 0.645 | 0.490 | 0.412 | 0.363 | 0.329 | 0.303 | 0.282 | 0.265 | 0.251 | 0.239 | 0.229 | 0.220 | 0.212 | 0.204 | 0.198 | 0.192 | 0.186 | 0.181 |  |
| 250                                      | 1  | 0.625 | 0.473 | 0.398 | 0.350 | 0.317 | 0.292 | 0.272 | 0.256 | 0.242 | 0.230 | 0.220 | 0.211 | 0.204 | 0.197 | 0.190 | 0.185 | 0.179 | 0.175 |  |
| 260                                      | 1  | 0.607 | 0.458 | 0.384 | 0.338 | 0.306 | 0.281 | 0.262 | 0.246 | 0.233 | 0.222 | 0.212 | 0.204 | 0.196 | 0.189 | 0.183 | 0.178 | 0.173 | 0.168 |  |

|     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 270 | 1 | 0.589 | 0.444 | 0.372 | 0.327 | 0.296 | 0.272 | 0.253 | 0.238 | 0.225 | 0.214 | 0.205 | 0.197 | 0.189 | 0.183 | 0.177 | 0.172 | 0.167 | 0.162 |
| 280 | 1 | 0.573 | 0.430 | 0.360 | 0.316 | 0.286 | 0.263 | 0.245 | 0.230 | 0.218 | 0.207 | 0.198 | 0.190 | 0.183 | 0.177 | 0.171 | 0.166 | 0.161 | 0.157 |
| 290 | 1 | 0.557 | 0.417 | 0.349 | 0.306 | 0.277 | 0.254 | 0.237 | 0.223 | 0.211 | 0.200 | 0.192 | 0.184 | 0.177 | 0.171 | 0.165 | 0.160 | 0.156 | 0.151 |
| 300 | 1 | 0.542 | 0.405 | 0.338 | 0.297 | 0.268 | 0.247 | 0.229 | 0.216 | 0.204 | 0.194 | 0.185 | 0.178 | 0.171 | 0.165 | 0.160 | 0.155 | 0.151 | 0.147 |
| 310 | 1 | 0.528 | 0.394 | 0.329 | 0.288 | 0.260 | 0.239 | 0.223 | 0.209 | 0.198 | 0.188 | 0.180 | 0.172 | 0.166 | 0.160 | 0.155 | 0.150 | 0.146 | 0.142 |
| 320 | 1 | 0.514 | 0.383 | 0.319 | 0.280 | 0.253 | 0.232 | 0.216 | 0.203 | 0.192 | 0.183 | 0.174 | 0.167 | 0.161 | 0.155 | 0.150 | 0.146 | 0.142 | 0.138 |
| 330 | 1 | 0.501 | 0.372 | 0.311 | 0.272 | 0.246 | 0.226 | 0.210 | 0.197 | 0.186 | 0.177 | 0.169 | 0.162 | 0.156 | 0.151 | 0.146 | 0.142 | 0.137 | 0.134 |
| 340 | 1 | 0.489 | 0.363 | 0.302 | 0.265 | 0.239 | 0.219 | 0.204 | 0.192 | 0.181 | 0.172 | 0.165 | 0.158 | 0.152 | 0.147 | 0.142 | 0.138 | 0.134 | 0.130 |
| 350 | 1 | 0.477 | 0.354 | 0.294 | 0.258 | 0.233 | 0.213 | 0.199 | 0.186 | 0.176 | 0.168 | 0.160 | 0.154 | 0.148 | 0.143 | 0.138 | 0.134 | 0.130 | 0.126 |
| 360 | 1 | 0.466 | 0.345 | 0.287 | 0.251 | 0.226 | 0.208 | 0.193 | 0.181 | 0.172 | 0.163 | 0.156 | 0.150 | 0.144 | 0.139 | 0.134 | 0.130 | 0.126 | 0.123 |
| 370 | 1 | 0.456 | 0.336 | 0.280 | 0.245 | 0.221 | 0.203 | 0.188 | 0.177 | 0.167 | 0.159 | 0.152 | 0.146 | 0.140 | 0.135 | 0.131 | 0.127 | 0.123 | 0.120 |
| 380 | 1 | 0.445 | 0.328 | 0.273 | 0.239 | 0.215 | 0.198 | 0.184 | 0.172 | 0.163 | 0.155 | 0.148 | 0.142 | 0.137 | 0.132 | 0.127 | 0.124 | 0.120 | 0.117 |
| 390 | 1 | 0.436 | 0.321 | 0.267 | 0.233 | 0.210 | 0.193 | 0.178 | 0.168 | 0.159 | 0.151 | 0.144 | 0.138 | 0.133 | 0.129 | 0.124 | 0.120 | 0.117 | 0.114 |
| 400 | 1 | 0.426 | 0.314 | 0.260 | 0.228 | 0.205 | 0.188 | 0.175 | 0.164 | 0.155 | 0.147 | 0.141 | 0.135 | 0.130 | 0.125 | 0.121 | 0.118 | 0.114 | 0.111 |
| 410 | 1 | 0.417 | 0.307 | 0.255 | 0.223 | 0.200 | 0.184 | 0.171 | 0.160 | 0.151 | 0.144 | 0.138 | 0.132 | 0.127 | 0.122 | 0.118 | 0.115 | 0.111 | 0.108 |
| 420 | 1 | 0.409 | 0.300 | 0.249 | 0.218 | 0.196 | 0.180 | 0.167 | 0.157 | 0.148 | 0.141 | 0.134 | 0.129 | 0.124 | 0.120 | 0.116 | 0.112 | 0.109 | 0.106 |
| 430 | 1 | 0.400 | 0.294 | 0.244 | 0.213 | 0.192 | 0.176 | 0.163 | 0.153 | 0.145 | 0.138 | 0.131 | 0.126 | 0.121 | 0.117 | 0.113 | 0.110 | 0.106 | 0.104 |
| 440 | 1 | 0.392 | 0.287 | 0.238 | 0.208 | 0.187 | 0.172 | 0.160 | 0.150 | 0.142 | 0.135 | 0.129 | 0.123 | 0.119 | 0.114 | 0.111 | 0.107 | 0.104 | 0.101 |
| 450 | 1 | 0.385 | 0.282 | 0.233 | 0.204 | 0.183 | 0.168 | 0.156 | 0.147 | 0.139 | 0.132 | 0.126 | 0.121 | 0.116 | 0.112 | 0.108 | 0.105 | 0.102 | 0.099 |
| 460 | 1 | 0.377 | 0.276 | 0.229 | 0.200 | 0.180 | 0.165 | 0.153 | 0.144 | 0.136 | 0.129 | 0.123 | 0.118 | 0.114 | 0.110 | 0.106 | 0.103 | 0.100 | 0.097 |
| 470 | 1 | 0.370 | 0.271 | 0.224 | 0.196 | 0.176 | 0.161 | 0.150 | 0.141 | 0.133 | 0.126 | 0.121 | 0.116 | 0.111 | 0.107 | 0.104 | 0.101 | 0.098 | 0.095 |
| 480 | 1 | 0.363 | 0.265 | 0.220 | 0.192 | 0.173 | 0.158 | 0.147 | 0.138 | 0.130 | 0.124 | 0.118 | 0.113 | 0.109 | 0.105 | 0.102 | 0.098 | 0.096 | 0.093 |
| 490 | 1 | 0.357 | 0.260 | 0.216 | 0.188 | 0.169 | 0.155 | 0.144 | 0.135 | 0.128 | 0.121 | 0.116 | 0.111 | 0.107 | 0.103 | 0.100 | 0.097 | 0.094 | 0.091 |
| 500 | 1 | 0.350 | 0.256 | 0.211 | 0.185 | 0.166 | 0.152 | 0.141 | 0.132 | 0.125 | 0.119 | 0.114 | 0.109 | 0.105 | 0.101 | 0.098 | 0.095 | 0.092 | 0.089 |

**Tabla 4.2.4.3.B Factor de eficacia de un elemento multirrigidizado entre dos almas (Método II)**

| Delgadez del subelemen.<br>$\delta_s$ | Factor de eficacia $\beta_s$ , en la parte superior, y $\beta_r$ en la inferior, siendo $\sigma^*$ en kp/mm <sup>2</sup> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 0  | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    | 30    | 32    | 34    | 36    |
| ≤20                                   | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 30                                    | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 0.996 | 0.989 | 0.982 | 0.973 | 0.963 | 0.953 | 0.943 |
| 40                                    | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.993 | 0.980 | 0.963 | 0.946 | 0.928 | 0.910 | 0.893 | 0.876 | 0.860 | 0.845 | 0.830 | 0.816 |
| 50                                    | 1  | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 0.982 | 0.957 | 0.929 | 0.901 | 0.875 | 0.851 | 0.828 | 0.806 | 0.787 | 0.768 | 0.751 | 0.735 | 0.720 | 0.705 |
| 60                                    | 1  | 1     | 1     | 0.996 | 0.963 | 0.923 | 0.884 | 0.849 | 0.816 | 0.787 | 0.761 | 0.737 | 0.716 | 0.696 | 0.677 | 0.661 | 0.645 | 0.630 | 0.617 |
| 70                                    | 0.986  | 0.986 | 0.986 | 0.946 | 0.891 | 0.841 | 0.797 | 0.759 | 0.726 | 0.696 | 0.670 | 0.647 | 0.626 | 0.607 | 0.589 | 0.573 | 0.559 | 0.545 | 0.532 |
| 80                                    | 0.975  | 0.975 | 0.955 | 0.885 | 0.820 | 0.765 | 0.720 | 0.682 | 0.649 | 0.620 | 0.595 | 0.572 | 0.552 | 0.534 | 0.518 | 0.503 | 0.489 | 0.477 | 0.465 |
| 90                                    | 0.967  | 0.967 | 0.910 | 0.824 | 0.754 | 0.698 | 0.653 | 0.615 | 0.584 | 0.556 | 0.532 | 0.511 | 0.492 | 0.475 | 0.460 | 0.446 | 0.433 | 0.421 | 0.410 |
| 100                                   | 0.960  | 0.959 | 0.861 | 0.766 | 0.695 | 0.639 | 0.595 | 0.559 | 0.528 | 0.502 | 0.479 | 0.459 | 0.442 | 0.426 | 0.411 | 0.398 | 0.386 | 0.375 | 0.365 |
| 110                                   | 0.955  | 0.941 | 0.813 | 0.714 | 0.642 | 0.588 | 0.545 | 0.510 | 0.481 | 0.456 | 0.434 | 0.416 | 0.399 | 0.384 | 0.370 | 0.358 | 0.347 | 0.337 | 0.327 |
| 120                                   | 0.950  | 0.913 | 0.766 | 0.666 | 0.595 | 0.542 | 0.501 | 0.468 | 0.440 | 0.416 | 0.396 | 0.378 | 0.362 | 0.348 | 0.335 | 0.324 | 0.313 | 0.304 | 0.295 |
| 130                                   | 0.946  | 0.882 | 0.723 | 0.622 | 0.553 | 0.502 | 0.463 | 0.431 | 0.404 | 0.382 | 0.362 | 0.345 | 0.331 | 0.317 | 0.305 | 0.294 | 0.284 | 0.275 | 0.267 |
| 140                                   | 0.943  | 0.848 | 0.683 | 0.583 | 0.516 | 0.467 | 0.429 | 0.398 | 0.373 | 0.351 | 0.333 | 0.317 | 0.303 | 0.290 | 0.279 | 0.269 | 0.259 | 0.251 | 0.243 |
| 150                                   | 0.940  | 0.815 | 0.645 | 0.547 | 0.482 | 0.435 | 0.398 | 0.369 | 0.345 | 0.325 | 0.307 | 0.292 | 0.278 | 0.267 | 0.256 | 0.246 | 0.237 | 0.229 | 0.222 |
| 160                                   | 0.938  | 0.782 | 0.611 | 0.515 | 0.452 | 0.406 | 0.371 | 0.343 | 0.320 | 0.301 | 0.284 | 0.270 | 0.257 | 0.245 | 0.235 | 0.226 | 0.218 | 0.210 | 0.203 |
| 170                                   | 0.935  | 0.751 | 0.579 | 0.486 | 0.424 | 0.381 | 0.347 | 0.320 | 0.298 | 0.279 | 0.264 | 0.250 | 0.238 | 0.227 | 0.217 | 0.208 | 0.200 | 0.193 | 0.186 |
| 180                                   | 0.933  | 0.721 | 0.550 | 0.459 | 0.400 | 0.357 | 0.325 | 0.299 | 0.278 | 0.260 | 0.245 | 0.232 | 0.220 | 0.210 | 0.210 | 0.192 | 0.185 | 0.178 | 0.171 |
| 190                                   | 0.932  | 0.692 | 0.523 | 0.434 | 0.377 | 0.336 | 0.305 | 0.280 | 0.260 | 0.243 | 0.228 | 0.216 | 0.205 | 0.195 | 0.186 | 0.178 | 0.171 | 0.164 | 0.158 |
| 200                                   | 0.930  | 0.665 | 0.498 | 0.412 | 0.356 | 0.317 | 0.287 | 0.263 | 0.244 | 0.227 | 0.213 | 0.201 | 0.190 | 0.181 | 0.172 | 0.165 | 0.158 | 0.151 | 0.146 |
| 210                                   | 0.929  | 0.639 | 0.475 | 0.291 | 0.337 | 0.299 | 0.270 | 0.247 | 0.229 | 0.213 | 0.199 | 0.188 | 0.177 | 0.168 | 0.160 | 0.153 | 0.146 | 0.140 | 0.134 |
| 220                                   | 0.927  | 0.615 | 0.454 | 0.372 | 0.320 | 0.283 | 0.255 | 0.233 | 0.215 | 0.200 | 0.187 | 0.175 | 0.166 | 0.157 | 0.149 | 0.142 | 0.136 | 0.130 | 0.124 |
| 230                                   | 0.926  | 0.592 | 0.434 | 0.354 | 0.303 | 0.268 | 0.241 | 0.219 | 0.202 | 0.187 | 0.175 | 0.164 | 0.155 | 0.146 | 0.139 | 0.132 | 0.126 | 0.120 | 0.115 |
| 240                                   | 0.925  | 0.570 | 0.415 | 0.337 | 0.288 | 0.254 | 0.228 | 0.207 | 0.190 | 0.176 | 0.164 | 0.154 | 0.145 | 0.137 | 0.129 | 0.123 | 0.117 | 0.111 | 0.106 |

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 250 | 0.924 | 0.549 | 0.397 | 0.322 | 0.274 | 0.241 | 0.216 | 0.196 | 0.180 | 0.166 | 0.154 | 0.144 | 0.135 | 0.128 | 0.121 | 0.114 | 0.109 | 0.103 | 0.099 |
| ≤60 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 70  | 0.995 | 0.995 | 0.995 | 0.982 | 0.964 | 0.947 | 0.932 | 0.920 | 0.909 | 0.899 | 0.890 | 0.882 | 0.875 | 0.869 | 0.863 | 0.858 | 0.853 | 0.848 | 0.844 |
| 80  | 0.983 | 0.983 | 0.970 | 0.923 | 0.880 | 0.844 | 0.813 | 0.788 | 0.766 | 0.747 | 0.730 | 0.715 | 0.702 | 0.690 | 0.679 | 0.669 | 0.660 | 0.651 | 0.643 |
| 90  | 0.973 | 0.973 | 0.926 | 0.856 | 0.799 | 0.753 | 0.716 | 0.685 | 0.659 | 0.637 | 0.617 | 0.600 | 0.584 | 0.571 | 0.558 | 0.547 | 0.536 | 0.526 | 0.517 |
| 100 | 0.964 | 0.964 | 0.877 | 0.792 | 0.729 | 0.679 | 0.640 | 0.608 | 0.581 | 0.557 | 0.537 | 0.519 | 0.504 | 0.489 | 0.477 | 0.465 | 0.454 | 0.445 | 0.436 |
| 110 | 0.959 | 0.945 | 0.827 | 0.735 | 0.668 | 0.618 | 0.579 | 0.546 | 0.519 | 0.496 | 0.476 | 0.459 | 0.443 | 0.429 | 0.417 | 0.406 | 0.385 | 0.386 | 0.377 |
| 120 | 0.953 | 0.918 | 0.779 | 0.633 | 0.616 | 0.566 | 0.527 | 0.496 | 0.469 | 0.447 | 0.428 | 0.411 | 0.396 | 0.382 | 0.370 | 0.359 | 0.349 | 0.340 | 0.332 |
| 130 | 0.949 | 0.886 | 0.734 | 0.637 | 0.571 | 0.522 | 0.484 | 0.452 | 0.428 | 0.406 | 0.387 | 0.371 | 0.357 | 0.344 | 0.332 | 0.322 | 0.312 | 0.304 | 0.296 |
| 140 | 0.945 | 0.853 | 0.692 | 0.595 | 0.530 | 0.483 | 0.446 | 0.416 | 0.392 | 0.371 | 0.353 | 0.338 | 0.324 | 0.312 | 0.301 | 0.291 | 0.282 | 0.273 | 0.266 |
| 150 | 0.941 | 0.820 | 0.654 | 0.558 | 0.495 | 0.448 | 0.413 | 0.384 | 0.361 | 0.341 | 0.324 | 0.309 | 0.296 | 0.284 | 0.274 | 0.264 | 0.256 | 0.248 | 0.240 |
| 160 | 0.939 | 0.787 | 0.619 | 0.525 | 0.463 | 0.418 | 0.384 | 0.356 | 0.334 | 0.315 | 0.298 | 0.284 | 0.271 | 0.260 | 0.250 | 0.241 | 0.233 | 0.225 | 0.218 |
| 170 | 0.936 | 0.755 | 0.586 | 0.494 | 0.434 | 0.391 | 0.358 | 0.331 | 0.309 | 0.291 | 0.276 | 0.262 | 0.250 | 0.239 | 0.230 | 0.221 | 0.213 | 0.206 | 0.199 |
| 180 | 0.934 | 0.725 | 0.556 | 0.466 | 0.408 | 0.366 | 0.334 | 0.309 | 0.288 | 0.270 | 0.255 | 0.242 | 0.231 | 0.221 | 0.212 | 0.203 | 0.196 | 0.189 | 0.183 |
| 190 | 0.933 | 0.696 | 0.529 | 0.441 | 0.384 | 0.344 | 0.313 | 0.289 | 0.269 | 0.252 | 0.237 | 0.225 | 0.214 | 0.204 | 0.195 | 0.187 | 0.180 | 0.174 | 0.168 |
| 200 | 0.931 | 0.668 | 0.503 | 0.418 | 0.363 | 0.324 | 0.294 | 0.270 | 0.251 | 0.235 | 0.221 | 0.209 | 0.199 | 0.189 | 0.181 | 0.173 | 0.166 | 0.160 | 0.154 |
| 210 | 0.930 | 0.642 | 0.480 | 0.396 | 0.343 | 0.305 | 0.277 | 0.254 | 0.235 | 0.220 | 0.206 | 0.195 | 0.185 | 0.176 | 0.168 | 0.160 | 0.154 | 0.148 | 0.142 |
| 220 | 0.928 | 0.618 | 0.458 | 0.376 | 0.325 | 0.288 | 0.261 | 0.239 | 0.221 | 0.206 | 0.193 | 0.182 | 0.172 | 0.163 | 0.156 | 0.149 | 0.142 | 0.136 | 0.131 |
| 230 | 0.927 | 0.594 | 0.437 | 0.358 | 0.308 | 0.273 | 0.246 | 0.225 | 0.208 | 0.193 | 0.181 | 0.170 | 0.161 | 0.152 | 0.145 | 0.138 | 0.132 | 0.126 | 0.121 |
| 240 | 0.926 | 0.573 | 0.418 | 0.341 | 0.293 | 0.258 | 0.232 | 0.212 | 0.195 | 0.181 | 0.169 | 0.159 | 0.150 | 0.142 | 0.135 | 0.128 | 0.122 | 0.117 | 0.112 |
| 250 | 0.924 | 0.552 | 0.401 | 0.326 | 0.278 | 0.245 | 0.220 | 0.200 | 0.184 | 0.171 | 0.159 | 0.149 | 0.140 | 0.132 | 0.125 | 0.119 | 0.113 | 0.108 | 0.103 |



**Figura 4.2.4.3 Sección eficaz con elemento multirrigidizable con más de dos rigidizadores**

#### 4.2.4.4 Elemento multirrigidizado entre un alma y un rigidizador

El área eficaz se calcula como en el caso del elemento multirrigidizado entre dos almas antes expuesto, teniendo en cuenta que se considera efectivo solamente el rigidizador intermedio contiguo al alma.

El área eficaz del rigidizador de borde se determinará como en el caso del elemento entre un alma y un rigidizador de borde.

### 4.2.5 Abolladura por tensiones tangenciales

En los elementos planos, salvo excepciones, no pueden disponerse rigidizadores transversales (4.1.5). El efecto de la abolladura en un elemento se tendrá en cuenta aplicando a la tensión tangencial ponderada  $\tau^*$  el coeficiente de abolladura por cortadura  $\alpha'$  que se calcula a continuación, debiendo cumplirse:

$$|\alpha' \tau^*| \leq \tau_u = 0.577 \sigma_u$$

#### 4.2.5.1 Coeficiente de abolladura por cortadura

El coeficiente  $\alpha'$  de un elemento de delgadez  $\delta$  tiene el siguiente valor:

$$\text{Si } \delta \leq 65 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}; \alpha' = 1$$

$$\text{Si } 65 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}} \leq \delta \leq 95 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}; \alpha' = \frac{\delta}{65} \sqrt{\frac{\sigma_u}{24}}$$

$$\text{Si } \delta > 95 \sqrt{\frac{24}{\sigma_u}}; \alpha' = \frac{\delta^2 \sigma_u}{148.200}$$

Los valores de  $\alpha'$  en función de  $\delta$  para acero A37 se dan en la tabla 4.2.5.1.

**Tabla 4.2.5.1 Coeficiente de abolladura por cortadura para acero A37**

| Coeficiente $\alpha'$ |            |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\delta$              | $\delta +$ |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|                       | 0          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     |
| 60                    | 1          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1.02 | 1.03 | 1.05 | 1.06  |
| 70                    | 1.08       | 1.09 | 1.11 | 1.12 | 1.14 | 1.15 | 1.17 | 1.18 | 1.20 | 1.22  |
| 80                    | 1.23       | 1.25 | 1.26 | 1.28 | 1.29 | 1.31 | 1.32 | 1.34 | 1.35 | 1.37  |
| 90                    | 1.38       | 1.40 | 1.42 | 1.43 | 1.45 | 1.46 | 1.49 | 1.52 | 1.56 | 1.59  |
| 100                   | 1.62       | 1.65 | 1.68 | 1.72 | 1.75 | 1.79 | 1.82 | 1.85 | 1.89 | 1.92  |
| 110                   | 1.96       | 2.00 | 2.03 | 2.07 | 2.10 | 2.14 | 2.18 | 2.22 | 2.25 | 2.29  |
| 120                   | 2.33       | 2.37 | 2.41 | 2.45 | 2.49 | 2.53 | 2.57 | 2.61 | 2.65 | 2.69  |
| 130                   | 2.74       | 2.78 | 2.82 | 2.86 | 2.91 | 2.95 | 3.00 | 3.04 | 3.08 | 3.13  |
| 140                   | 3.17       | 3.22 | 3.27 | 3.31 | 3.36 | 3.40 | 3.45 | 3.50 | 3.55 | 3.60  |
| 150                   | 3.64       | 3.69 | 3.74 | 3.79 | 3.84 | 3.89 | 3.94 | 3.99 | 4.04 | 4.09  |
| 160                   | 4.15       | 4.20 | 4.25 | 4.30 | 4.36 | 4.41 | 4.46 | 4.52 | 4.57 | 4.63  |
| 170                   | 4.68       | 4.74 | 4.79 | 4.85 | 4.90 | 4.96 | 5.02 | 5.07 | 5.13 | 5.19  |
| 180                   | 5.25       | 5.31 | 5.36 | 5.42 | 5.48 | 5.54 | 5.60 | 5.66 | 5.72 | 5.78  |
| 190                   | 5.85       | 5.91 | 5.97 | 6.03 | 6.09 | 6.16 | 6.22 | 6.28 | 6.35 | 6.41  |
| 200                   | 6.48       | 6.54 | 6.61 | 6.67 | 6.74 | 6.81 | 6.87 | 6.94 | 7.01 | 7.07  |
| 210                   | 7.14       | 7.21 | 7.28 | 7.35 | 7.42 | 7.49 | 7.56 | 7.63 | 7.70 | 7.77  |
| 220                   | 7.84       | 7.91 | 7.98 | 8.05 | 8.13 | 8.20 | 8.27 | 8.34 | 8.42 | 8.49  |
| 230                   | 8.57       | 8.64 | 8.72 | 8.79 | 8.87 | 8.94 | 9.02 | 9.10 | 9.17 | 9.25  |
| 240                   | 9.33       | 9.41 | 9.48 | 9.56 | 9.64 | 9.72 | 9.80 | 9.88 | 9.96 | 10.04 |
| 250                   | 10.12      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |

#### 4.2.6 Abolladura por tensiones normales y tangenciales

Cuando actúan simultáneamente tensión normal y tensión tangencial debe cumplirse según la clase del elemento, la condición que se indica:

$$\left[ \frac{\alpha \sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

Elemento rigidizado:

$$\left[ \frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

## 4.3 Combadura

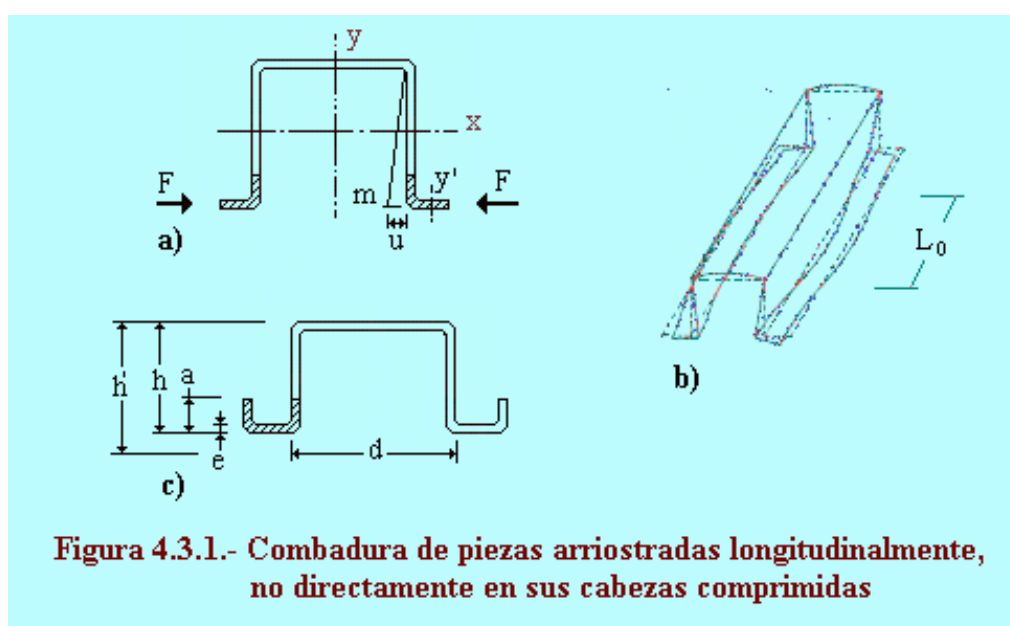
### 4.3.1 Concepto

La combadura es un fenómeno de inestabilidad de las cabezas comprimidas de la pieza (4.3.2), denominado pandeo lateral en la Parte 3, que se produce entre secciones arriostradas, extremas o interiores, con sujeción que impide el giro.

No es necesario considerar la combadura cuando el momento de inercia de la sección respecto al eje normal al plano de flexión es menor o igual que el correspondiente al eje contenido en dicho plano. Si el plano de flexión pasa por el eje  $y$ :

$$I_x \leq I_y$$

Tampoco es necesario considerarla en las piezas con arriostramiento efectivo a lo largo de su directriz (4.4.4) por su unión a un forjado o cubierta directamente en sus cabezas comprimidas. Sin embargo, es preceptivo considerarla en las piezas arriostradas a lo largo de su directriz, no directamente en sus cabezas comprimidas. Así ocurre en las zonas de momentos negativos de las correas de cubierta: en ménsula, o junto a los apoyos intermedios en tramos continuos (figura 4.3.1) (4.3.5).



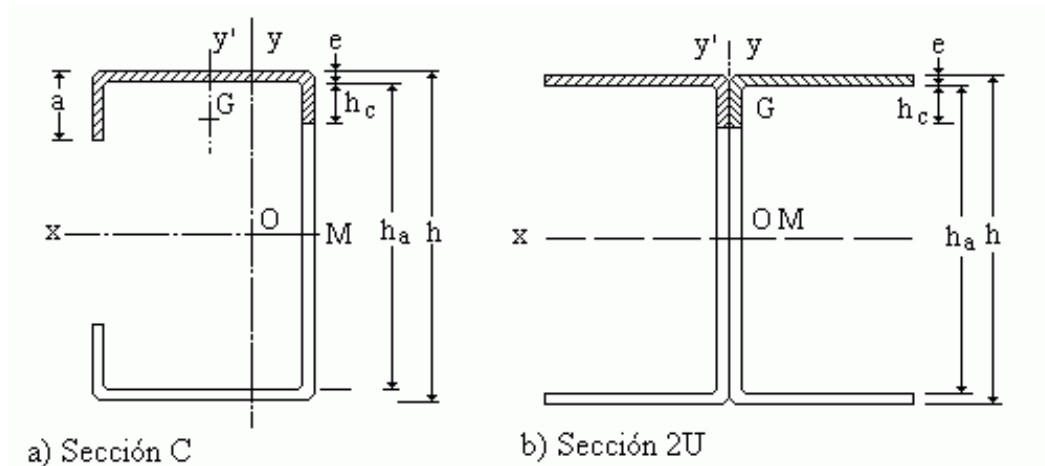
**Figura 4.3.1.- Combadura de piezas arriostradas longitudinalmente, no directamente en sus cabezas comprimidas**

El efecto de la combadura se tendrá en cuenta mediante el coeficiente de combadura  $\kappa$  calculado según 4.3.4, que multiplica a las tensiones normales ponderadas  $\sigma^*$  debiendo cumplirse:

$$|\kappa \sigma^*| \leq \sigma_u$$

### 4.3.2 Cabezas comprimidas

La cabeza comprimida, o parte de la pieza en que dominan las tensiones de compresión, puede considerarse compuesta de un elemento, su rigidizador si existe, y parte del elemento adyacente o alma, cuando resulte favorable, con altura  $h_c \leq h_a/6$  (figura 4.3.2.a) o de dos elementos en piezas compuestas (figura 4.3.2.b).



**Figura 4.3.2.- Pieza virtual para la consideración de la combadura**

El radio de giro de una cabeza comprimida es:

$$i_c = \frac{\sqrt{I_c}}{A_c}$$

donde:

$A_c$  es el área de la cabeza comprimida

$I_c$  es el momento de inercia de este área respecto al eje  $y'$  que pasa por su baricentro.

Algunas piezas (figura 4.3.1.a) tienen dos cabezas comprimidas, una en cada extremo de la sección.

### 4.3.3 Longitud de combadura

La longitud de combadura  $l_c$  de una pieza de longitud  $l$ , sin arriostramiento continuo y efectivo a lo largo de su directriz, es la máxima separación entre secciones consecutivas arriostradas con sujeción que impide el giro.

En una pieza que tenga arriostradas solamente las secciones extremas es :

$$l_c = l$$

En una pieza en voladizo, que tenga arriostrada solamente la sección del empotramiento, puede tomarse:

$$l_c = 2 l$$

En una pieza con arriostramiento longitudinal continuo y efectivo que tenga dos cabezas comprimidas simétricas respecto al plano de flexión, no directamente arriostradas (figura 4.3.1.a) puede tenerse en cuenta la coacción elástica que en dichas cabezas producen las almas que las unen al resto de la sección, tomando como longitud de combadura la indicada en 4.3.5.

### 4.3.4 Coeficiente de combadura

El coeficiente de combadura  $\kappa$  puede calcularse, en valor aproximado por exceso, en función de la esbeltez  $\lambda$  de la cabeza comprimida:

$$\lambda = \frac{l_c}{i_c}$$

donde:

$l_c$  es la longitud de combadura (4.3.3);

$i_c$  es el radio de giro de la cabeza comprimida (4.3.2).

Se tomará  $\kappa = \omega$ , siendo el coeficiente de pandeo que corresponde a  $\lambda$  en la tabla 4.3.4.A.

En el caso de flexión recta en el plano que pasa por el eje y, sin torsión, es más exacto para  $\kappa$  el valor dado en la tabla 4.3.4.B en función del parámetro:

$$\zeta = \frac{l_c^2 I_x}{h \sqrt{I_y \left( I_t l_c^2 + \pi^2 I_a \frac{E}{G} \right)}}$$

donde:

$h$  es el canto de la sección en dicho plano;

$I_x, I_y, I_t, I_a$  son los términos de la sección total (4.4.1);

$E$  es el módulo de elasticidad longitudinal del acero;

$G$  es su módulo de elasticidad transversal del acero.

**Tabla 4.3.4.A Coeficiente de pandeo del acero**

| Tipo del acero | Coeficiente $\lambda$ de pandeo función de la esbeltez $\lambda = l_c/i$ |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|--|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | $\lambda$  | $\lambda +$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                |  | 0           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|                | 20   | 1.01        | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
|                | 30   | 1.03        | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.06 |
|                | 40   | 1.07        | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.09 | 1.09 | 1.10 | 1.10 | 1.11 |
|                | 50   | 1.12        | 1.12 | 1.13 | 1.14 | 1.14 | 1.15 | 1.16 | 1.17 | 1.17 | 1.18 |
|                | 60   | 1.19        | 1.20 | 1.21 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.28 | 1.29 |
|                | 70   | 1.30        | 1.31 | 1.33 | 1.34 | 1.36 | 1.37 | 1.39 | 1.40 | 1.42 | 1.44 |
|                | 80   | 1.45        | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 |
|                | 90   | 1.65        | 1.67 | 1.70 | 1.72 | 1.74 | 1.77 | 1.79 | 1.82 | 1.84 | 1.87 |
|                | 100  | 1.89        | 1.92 | 1.95 | 1.97 | 2.00 | 2.03 | 2.06 | 2.09 | 2.12 | 2.15 |
|                | 110  | 2.18        | 2.21 | 2.24 | 2.27 | 2.30 | 2.33 | 2.37 | 2.40 | 2.43 | 2.47 |
|                | 120  | 2.50        | 2.53 | 2.57 | 2.60 | 2.64 | 2.68 | 2.71 | 2.75 | 2.78 | 2.82 |

A37

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 130 | 2.86 | 2.90 | 2.94 | 2.97 | 3.01 | 3.05 | 3.09 | 3.13 | 3.17 | 3.21 |
| 140 | 3.25 | 3.29 | 3.33 | 3.38 | 3.42 | 3.46 | 3.50 | 3.55 | 3.59 | 3.63 |
| 150 | 3.68 | 3.72 | 3.77 | 3.81 | 3.86 | 3.90 | 3.95 | 4.00 | 4.04 | 4.09 |
| 160 | 4.14 | 4.18 | 4.23 | 4.28 | 4.33 | 4.38 | 4.43 | 4.48 | 4.53 | 4.58 |
| 170 | 4.63 | 4.68 | 4.73 | 4.78 | 4.83 | 4.88 | 4.94 | 4.99 | 5.04 | 5.09 |
| 180 | 5.15 | 5.20 | 5.26 | 5.31 | 5.36 | 5.42 | 5.48 | 5.53 | 5.59 | 5.64 |
| 190 | 5.70 | 5.76 | 5.81 | 5.87 | 5.93 | 5.99 | 6.05 | 6.11 | 6.16 | 6.22 |
| 200 | 6.28 | 6.34 | 6.40 | 6.46 | 6.53 | 6.59 | 6.65 | 6.71 | 6.77 | 6.84 |
| 210 | 6.90 | 6.96 | 7.03 | 7.09 | 7.15 | 7.22 | 7.28 | 7.35 | 7.41 | 7.48 |
| 220 | 7.54 | 7.61 | 7.67 | 7.74 | 7.81 | 7.88 | 7.94 | 8.01 | 8.08 | 8.15 |
| 230 | 8.22 | 8.29 | 8.36 | 8.43 | 8.49 | 8.57 | 8.64 | 8.71 | 8.78 | 8.85 |
| 240 | 8.92 | 8.99 | 9.07 | 9.14 | 9.21 | 9.29 | 9.36 | 9.43 | 9.51 | 9.58 |
| 250 | 9.66 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

A42

|     |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |
|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20  | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.03  | 1.03  | 1.03  | 1.03  | 1.04  |
| 30  | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05  | 1.06  | 1.06  | 1.07  | 1.07  |
| 40  | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.09 | 1.09 | 1.10  | 1.10  | 1.11  | 1.12  | 1.12  |
| 50  | 1.13 | 1.14 | 1.14 | 1.15 | 1.16 | 1.17  | 1.18  | 1.19  | 1.20  | 1.21  |
| 60  | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.27  | 1.29  | 1.30  | 1.31  | 1.33  |
| 70  | 1.34 | 1.36 | 1.37 | 1.39 | 1.40 | 1.42  | 1.44  | 1.46  | 1.47  | 1.49  |
| 80  | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.60 | 1.62  | 1.64  | 1.66  | 1.69  | 1.71  |
| 90  | 1.74 | 1.76 | 1.79 | 1.81 | 1.84 | 1.86  | 1.89  | 1.92  | 1.95  | 1.98  |
| 100 | 2.01 | 2.03 | 2.06 | 2.09 | 2.13 | 2.16  | 2.19  | 2.22  | 2.25  | 2.29  |
| 110 | 2.32 | 2.35 | 2.39 | 2.42 | 2.46 | 2.49  | 2.53  | 2.56  | 2.60  | 2.64  |
| 120 | 2.67 | 2.71 | 2.75 | 2.79 | 2.82 | 2.86  | 2.90  | 2.94  | 2.98  | 3.02  |
| 130 | 3.06 | 3.11 | 3.15 | 3.19 | 3.23 | 3.27  | 3.32  | 3.36  | 3.40  | 3.45  |
| 140 | 3.49 | 3.54 | 3.58 | 3.63 | 3.67 | 3.72  | 3.77  | 3.81  | 3.86  | 3.91  |
| 150 | 3.96 | 4.00 | 4.05 | 4.10 | 4.15 | 4.20  | 4.25  | 4.30  | 4.35  | 4.40  |
| 160 | 4.45 | 4.51 | 4.56 | 4.61 | 4.66 | 4.72  | 4.77  | 4.82  | 4.88  | 4.93  |
| 170 | 4.99 | 5.04 | 5.10 | 5.15 | 5.21 | 5.26  | 5.32  | 5.38  | 5.44  | 5.49  |
| 180 | 5.55 | 5.61 | 5.67 | 5.73 | 5.79 | 5.85  | 5.91  | 5.97  | 6.03  | 6.09  |
| 190 | 6.15 | 6.21 | 6.27 | 6.34 | 6.40 | 6.46  | 6.53  | 6.59  | 6.65  | 6.72  |
| 200 | 6.78 | 6.85 | 6.91 | 6.98 | 7.05 | 7.11  | 7.18  | 7.25  | 7.31  | 7.38  |
| 210 | 7.45 | 7.52 | 7.59 | 7.66 | 7.72 | 7.79  | 7.86  | 7.93  | 8.01  | 8.08  |
| 220 | 8.15 | 8.22 | 8.29 | 8.36 | 8.44 | 8.51  | 8.58  | 8.66  | 8.73  | 8.80  |
| 230 | 8.88 | 8.95 | 9.03 | 9.11 | 9.18 | 9.26  | 9.33  | 9.41  | 9.49  | 9.57  |
| 240 | 9.64 | 9.72 | 9.80 | 9.88 | 9.96 | 10.04 | 10.12 | 10.20 | 10.28 | 10.36 |



|     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | 250 | 10.44 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| A52 | 20  | 1.02  | 1.02  | 1.03  | 1.03  | 1.03  | 1.04  | 1.04  | 1.04  | 1.05  | 1.05  |
|     | 30  | 1.05  | 1.06  | 1.06  | 1.07  | 1.07  | 1.08  | 1.08  | 1.09  | 1.10  | 1.10  |
|     | 40  | 1.11  | 1.12  | 1.13  | 1.13  | 1.14  | 1.15  | 1.16  | 1.17  | 1.18  | 1.19  |
|     | 50  | 1.20  | 1.22  | 1.23  | 1.24  | 1.25  | 1.27  | 1.28  | 1.30  | 1.31  | 1.33  |
|     | 60  | 1.35  | 1.37  | 1.39  | 1.41  | 1.43  | 1.45  | 1.47  | 1.49  | 1.51  | 1.54  |
|     | 70  | 1.56  | 1.59  | 1.61  | 1.64  | 1.66  | 1.69  | 1.72  | 1.75  | 1.78  | 1.81  |
|     | 80  | 1.84  | 1.87  | 1.90  | 1.94  | 1.97  | 2.01  | 2.04  | 2.08  | 2.11  | 2.15  |
|     | 90  | 2.18  | 2.22  | 2.26  | 2.30  | 2.34  | 2.38  | 2.42  | 2.46  | 2.50  | 2.54  |
|     | 100 | 2.59  | 2.63  | 2.67  | 2.72  | 2.76  | 2.81  | 2.85  | 2.90  | 2.95  | 2.99  |
|     | 110 | 3.04  | 3.09  | 3.14  | 3.19  | 3.24  | 3.29  | 3.34  | 3.39  | 3.44  | 3.49  |
|     | 120 | 3.55  | 3.60  | 3.65  | 3.71  | 3.76  | 3.82  | 3.87  | 3.93  | 3.98  | 4.04  |
|     | 130 | 4.10  | 4.16  | 4.22  | 4.27  | 4.33  | 4.39  | 4.45  | 4.52  | 4.58  | 4.64  |
|     | 140 | 4.70  | 4.76  | 4.83  | 4.89  | 4.95  | 5.02  | 5.08  | 5.15  | 5.22  | 5.28  |
|     | 150 | 5.35  | 5.42  | 5.48  | 5.55  | 5.62  | 5.69  | 5.76  | 5.83  | 5.90  | 5.97  |
|     | 160 | 6.04  | 6.12  | 6.19  | 6.26  | 6.34  | 6.41  | 6.48  | 6.56  | 6.63  | 6.71  |
|     | 170 | 6.79  | 6.86  | 6.94  | 7.02  | 7.09  | 7.17  | 7.25  | 7.33  | 7.41  | 7.49  |
|     | 180 | 7.57  | 7.65  | 7.73  | 7.82  | 7.90  | 7.98  | 8.07  | 8.15  | 8.24  | 8.32  |
|     | 190 | 8.40  | 8.49  | 8.58  | 8.66  | 8.75  | 8.84  | 8.93  | 9.02  | 9.10  | 9.19  |
|     | 200 | 9.28  | 9.37  | 9.47  | 9.56  | 9.65  | 9.74  | 9.83  | 9.92  | 10.02 | 10.11 |
|     | 210 | 10.21 | 10.30 | 10.40 | 10.49 | 10.59 | 10.69 | 10.78 | 10.88 | 10.98 | 11.08 |
|     | 220 | 11.18 | 11.27 | 11.38 | 11.48 | 11.57 | 11.68 | 11.78 | 11.88 | 11.98 | 12.09 |
|     | 230 | 12.19 | 12.29 | 12.40 | 12.50 | 12.61 | 12.72 | 12.82 | 12.93 | 13.03 | 13.14 |
|     | 240 | 13.25 | 13.36 | 13.47 | 13.58 | 13.69 | 13.80 | 13.91 | 14.02 | 14.13 | 14.25 |
|     | 250 | 14.36 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**Tabla 4.3.4.B Coeficiente de combadura**

| Tipo de acero | Coeficiente $\kappa$ siendo $\zeta$ |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | $\zeta +$                           | 0    | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 |
| A37           | 0                                   | 1.00 | 1.20 | 2.35 | 3.52 | 4.69 | 5.86 | 7.03 |
|               | 100                                 | 1.01 | 1.29 | 2.46 | 3.64 | 4.81 | 5.98 | 7.15 |
|               | 200                                 | 1.02 | 1.41 | 2.58 | 3.76 | 4.93 | 6.10 | 7.27 |
|               | 300                                 | 1.03 | 1.52 | 2.70 | 3.87 | 5.05 | 6.21 | 7.39 |
|               | 400                                 | 1.05 | 1.64 | 2.82 | 3.99 | 5.16 | 6.33 | 7.50 |

|            |     |      |      |      |      |      |       |       |
|------------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|
|            | 500 | 1.07 | 1.76 | 2.93 | 4.10 | 5.28 | 6.45  | 7.62  |
|            | 600 | 1.09 | 1.88 | 3.05 | 4.22 | 5.39 | 6.57  | 7.74  |
|            | 700 | 1.11 | 1.99 | 3.17 | 4.34 | 5.51 | 6.68  | 7.86  |
|            | 800 | 1.13 | 2.11 | 3.28 | 4.45 | 5.63 | 6.80  | 7.97  |
|            | 900 | 1.16 | 2.23 | 3.40 | 4.57 | 5.75 | 6.92  | 8.09  |
| <b>A42</b> | 0   | 1.00 | 1.27 | 2.54 | 3.81 | 5.08 | 6.35  | 7.62  |
|            | 100 | 1.01 | 1.40 | 2.67 | 3.94 | 5.21 | 6.48  | 7.75  |
|            | 200 | 1.02 | 1.52 | 2.79 | 4.06 | 5.33 | 6.60  | 7.87  |
|            | 300 | 1.04 | 1.65 | 2.92 | 4.19 | 5.46 | 6.73  | 8.00  |
|            | 400 | 1.06 | 1.78 | 3.05 | 4.32 | 5.59 | 6.86  | 8.13  |
|            | 500 | 1.08 | 1.91 | 3.18 | 4.45 | 5.72 | 6.99  | 8.26  |
|            | 600 | 1.10 | 2.03 | 3.30 | 4.57 | 5.84 | 7.11  | 8.38  |
|            | 700 | 1.12 | 2.16 | 3.43 | 4.70 | 5.97 | 7.24  | 8.51  |
|            | 800 | 1.15 | 2.29 | 3.56 | 4.83 | 6.10 | 7.37  | 8.64  |
|            | 900 | 1.19 | 2.41 | 3.68 | 4.95 | 6.22 | 7.49  | 8.76  |
| <b>A52</b> | 0   | 1.00 | 1.76 | 3.52 | 5.28 | 7.03 | 8.79  | 10.60 |
|            | 100 | 1.02 | 1.93 | 3.69 | 5.45 | 7.21 | 8.97  | 10.70 |
|            | 200 | 1.04 | 2.11 | 3.87 | 5.63 | 7.39 | 9.15  | 10.90 |
|            | 300 | 1.06 | 2.29 | 4.04 | 5.80 | 7.56 | 9.32  | 11.10 |
|            | 400 | 1.08 | 2.46 | 4.22 | 5.98 | 7.74 | 9.50  | 11.30 |
|            | 500 | 1.11 | 2.64 | 4.40 | 6.16 | 7.91 | 9.67  | 11.40 |
|            | 600 | 1.16 | 2.81 | 4.57 | 6.33 | 8.09 | 9.85  | 11.60 |
|            | 700 | 1.24 | 2.99 | 4.75 | 6.51 | 8.27 | 10.00 | 11.80 |
|            | 800 | 1.40 | 3.17 | 4.92 | 6.68 | 8.44 | 10.20 | 12.00 |
|            | 900 | 1.58 | 3.34 | 5.10 | 6.86 | 8.62 | 10.40 | 12.10 |

#### 4.3.5 Piezas arriostradas a lo largo de su directriz

En una pieza con arriostramiento eficaz a lo largo de su directriz que tenga dos cabezas comprimidas, no directamente arriostradas, simétricas respecto al plano de flexión (figura 4.3.1.a) puede tenerse en cuenta la coacción elástica que en las cabezas comprimidas producen las almas que las unen al resto de la sección. Estas cabezas comprimidas se comban formando ondas de semilongitud  $l_0$  (figura 4.3.1.b) que se calculan por la expresión:

$$l_0 = \pi \sqrt[4]{\frac{E I_c}{k}}$$

donde:

$I_c$  es el momento de inercia respecto al eje  $y'$  de la cabeza comprimida (4.3.2);

$k$  es una constante de muelle del alma, que es igual a la relación entre una fuerza lineal  $F$ , aplicada en el centro de esfuerzos cortantes  $m$  de cada cabeza, y la deformación  $u$  del alma correspondiente en dicho punto (figura 4.3.1.a).

En el perfil representado en la figura 4.3.1.c el valor de la constante de muelle es:

$$k = \frac{Ee^3}{h'^2 (6d + 4h')}$$

con  $h' = h + 0.4a$

donde:

$a$  es la altura del labio si el ala no tiene rigidizador;

$h' = h$ .

Como longitud de combadura se tomará:

$$l_c = \frac{l_o}{\sqrt{2}}$$

## 4.4 Piezas sometidas a flexión y a torsión

### 4.4.1 Consideraciones generales

En este capítulo se exponen los métodos de cálculo de piezas de sección abierta y pared delgada sometidas a flexión y a torsión.

Se tendrán en cuenta el Anejo 3.A2. Cálculo de tensiones en piezas flexionadas de pared delgada y directriz recta y el Anejo 3.A3. Piezas solicitadas a torsión. Para los perfiles conformados en frío, empleados como correas, los métodos de cálculo se establecen en 4.4.4.

En la sección de la pieza (figura 4.4.1) se empleará la notación siguiente:

- e, cm espesor de la pared (habitualmente en mm en las tablas);
- s, cm coordenada curvilínea sobre la línea media de la sección medida desde su extremo 0;
- a, cm valor máximo de s;
- r, cm distancia desde el centro de esfuerzos cortantes M, a la tangente a la línea media de la sección en el punto de coordenada curvilínea s; positiva, cuando ds gira alrededor de M en sentido positivo (x→y);
- $\Omega$ , cm<sup>2</sup> coordenada de alabeo, respecto al centro de esfuerzos cortantes.

$$\Omega = \int_0^s r ds - \frac{1}{A} \left[ \int_0^a \left[ \int_0^s r ds \right] e ds \right]$$

A, cm<sup>2</sup> área de la sección:

$$A = \int_0^a e ds$$

$S_x$ , cm<sup>3</sup> momento estático respecto al eje x, de la parte de sección comprendida entre 0 y s:

$$S_x = \int_0^s y e ds$$

$S_y$ , cm<sup>3</sup> momento estático respecto al eje y, de la parte de sección comprendida entre 0 y s:

$$S_y = \int_0^s x e ds$$

$I_x$ , cm<sup>4</sup> momento de inercia de la sección respecto al eje x:

$$I_x = \int_0^a y^2 e ds$$

$I_y$ , cm<sup>4</sup> momento de inercia de la sección respecto al eje y:

$$I_y = \int_0^s x^2 e ds$$

$I_{xy}$ ,  $\text{cm}^4$  producto de inercia:

$$I_{xy} = \int_0^s x y e ds$$

que es nulo cuando  $x$ ,  $y$  son los ejes principales de inercia.

$I_t$ ,  $\text{cm}^4$  módulo de torsión:

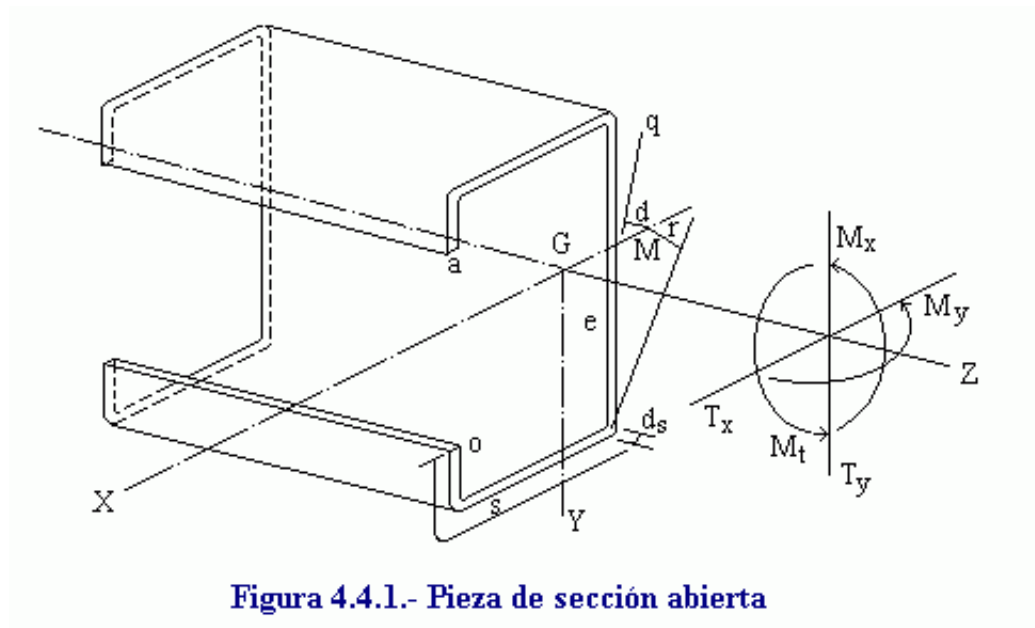
$$I_t = \int_0^s \frac{e^3}{3} ds$$

$S_a$ ,  $\text{cm}^4$  momento estático de alabeo de la parte de sección comprendida entre 0 y  $s$ :

$$S_a = \int_0^s \Omega e ds$$

$I_a$ ,  $\text{cm}^6$  módulo de alabeo de la sección:

$$I_a = \int_0^s \Omega^2 e ds$$



**Figura 4.4.1.- Pieza de sección abierta**

En el Anejo 4.A1 se presenta un método de cálculo numérico iterativo para determinar en una sección abierta cualquiera de pared delgada: el baricentro, el centro de esfuerzos cortantes, los términos de sección y las funciones coordenadas antes indicadas.

#### 4.4.2 Piezas sometidas a flexión

Las tensiones normales y tangenciales producidas por la flexión simple vienen dadas por las fórmulas que se indican a continuación. La notación complementaria y el convenio de signos se indican en la figura 4.4.1.

La flexión esviada, en una sección cualquiera referida a los ejes x, y que no coinciden con sus ejes principales de inercia, sometida a momento flector de componentes  $M_x$ ,  $M_y$  y a esfuerzo cortante de componentes  $T_x$ ,  $T_y$ , viene dada por:

$$\sigma_f = \frac{1}{D} [M_x (yI_y - xI_{xy}) + M_y (xI_x - yI_{xy})]$$

$$\tau_f = -\frac{1}{eD} [T_y (S_x I_y - S_y I_{xy}) + T_x (S_y I_x - S_x I_{xy})]$$

donde:

$$D = I_x I_y - I_{xy}^2$$

La flexión esviada en una sección cualquiera, referida a los ejes x, y que coinciden con sus ejes principales de inercia, sometida a momento flector de componentes  $M_x$ ,  $M_y$  y a esfuerzo cortante de componentes  $T_x$ ,  $T_y$ , viene dada por:

$$\sigma_f = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y} ; \quad \tau_f = \frac{-T_y S_x}{e I_x} - \frac{T_x S_y}{e I_y}$$

La flexión recta en el plano principal y, z de una sección cualquiera viene dada por:

$$\sigma_f = \frac{M_x y}{I_x} ; \quad \tau_f = \frac{-T_y S_x}{e I_x}$$

#### 4.4.3 Piezas sometidas a torsión

Las piezas conformadas en frío de sección abierta y pared delgada no son adecuadas para resistir torsiones, por lo que esta sollicitación debe evitarse en lo posible mediante las oportunas disposiciones constructivas.

Cuando la carga q actúa con excentricidad d respecto al centro de esfuerzos cortantes M de la sección (figura 4.4.1), se produce sollicitación con las componentes:

$M_t = M_r + M_a$  momento torsor;  
 $M_r$  momento torsor de rotación (Corresponde a la torsión de Saint Venant);  
 $M_a$  momento torsor de alabeo;  
 B bimomento.

Entre la carga, la sollicitación y el giro  $\phi$  de la sección existen las relaciones:

$$\frac{dM_t}{dz} = qd ; \quad \frac{d^2 \phi}{dz^2} = \frac{B}{E I_a}$$

$$\frac{d\phi}{dz} = \frac{M_r}{G I_t} ; \quad \frac{d^3 \phi}{dz^3} = -\frac{M_a}{E I_a}$$

y la ecuación diferencial de la torsión:

$$t^2 \frac{d^4 \phi}{dz^4} - \frac{d^2 \phi}{dz^2} = - \frac{qd}{G I_t}$$

donde:

$t$  es la longitud característica de la torsión de la sección, que vale:

$$t = \sqrt{\frac{E I_a}{G I_t}} = 1.61 \sqrt{\frac{I_a}{I_t}}$$

La solución de la ecuación diferencial con las condiciones de contorno permite obtener la sollicitación.

Las tensiones producidas por la torsión son:

$$\sigma_t = \frac{B\Omega}{I_a}; \quad \tau_t = \pm \frac{M_r e}{I_t} - \frac{M_a S_a}{e I_a}$$

Cuando haya además flexión, las tensiones serán:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_f + \sigma_t \\ \tau &= \tau_f + \tau_t\end{aligned}$$

donde:

$\sigma_f$  y  $\tau_f$  son las dadas en 4.4.2.

Cuando la longitud  $l$  (4.1.4) cumpla  $l > 6t$ , puede despreciarse el momento torsor de alabeo:

$$M_t = M_r; \quad M_a = 0; \quad B = 0$$

Cuando  $l < t$ , puede despreciarse el momento torsor de rotación:

$$M_r = 0; \quad M_t = M_a; \quad B \neq 0$$

En las piezas de chapa conformada de sección abierta es preciso, en general, evaluar los efectos de segundo orden en las tensiones normales de compresión, debidos a la abolladura (4.2) y a la combadura (4.3).

#### 4.4.4 Correas

Para el cálculo de las correas se consideran tres casos, según el tipo de elemento de cobertura empleado y el sistema de fijación de ésta a las correas.

Se establece el eje  $x$  en el plano de la cobertura, y el eje  $y$  normal a dicho plano.

**Caso 1.** Cobertura de amianto-cemento.

No puede contarse con la colaboración de la cobertura, calculándose con la sollicitación

completa según 4.4.3.

**Caso 2.** cobertura de placas o paneles dispuesta de modo que pueda considerarse impedido el desplazamiento en su plano. Fijación a las correas mediante ganchos. La sollicitación tendrá las componentes  $T_y$  y  $M_x$ , admitiendo  $T_x = 0$ ,  $M_y = 0$ . Para peso propio y presión del viento se considerará  $M_t = 0$ , pero para succión  $q_s$  del viento se considerará un momento torsor  $M_t$  definido por:

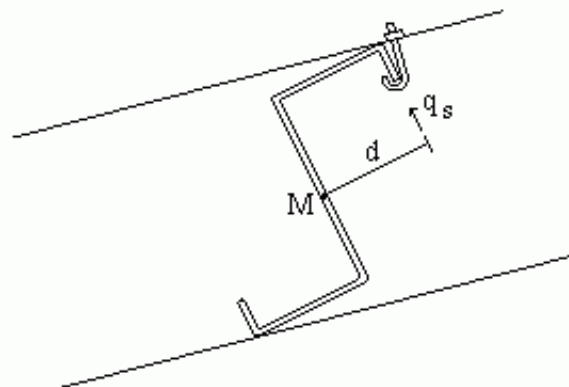
$$dM/dz = -q_s d$$

siendo  $d$  la distancia de la línea de acción del gancho al centro de esfuerzos cortantes de la sección (figura 4.4.4). Con esta sollicitación se calculan las tensiones según 4.4.3.

**Caso 3.** Cobertura de placas o paneles dispuesta de modo que pueda considerarse impedido el desplazamiento en su plano. Fijación a las correas que impide la torsión de éstas.

Las tensiones en las correas se calculan según 4.4.2 con  $T_y$  y  $M_x$ , admitiendo:

$$T_x = 0, \quad M_y = 0, \quad M_t = 0$$



**Figura 4.4.4.- Correa fijada con ganchos**

#### 4.4.5 Comprobación de las tensiones

La tensión normal ponderada en un punto de una sección:

$$\sigma^* = \sigma_f^* + \sigma_t^*$$

se calculará según 4.4.2 y 4.4.3 con las componentes de sollicitación en valores ponderados:  $M_x^*$ ,  $M_y^*$ ,  $B^*$ .

La tensión tangencial ponderada en un punto de una sección:

$$\tau^* = \tau_f^* + \tau_t^*$$

se calculará según 4.4.3 con las componentes de sollicitación en valores ponderados:  $T_x^*$ ,  $T_y^*$ ,  $M_x^*$ ,  $M_y^*$ .



Las condiciones de agotamiento con consideración de la abolladura y de la combadura se establecen a continuación para piezas con elementos comprimidos no rigidizados, y para piezas con elementos comprimidos rigidizados.

### ***Piezas con elementos comprimidos no rigidizados***

Cuando la pieza tiene su cabeza comprimida constituida por un elemento plano no rigidizado (figura 4.4.5.A.a) o más de uno (figura 4.4.5.A.b), las tensiones ponderadas deben cumplir en todo punto:

#### **Compresión:**

$$\left[ \frac{\alpha k \sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

#### **Tracción:**

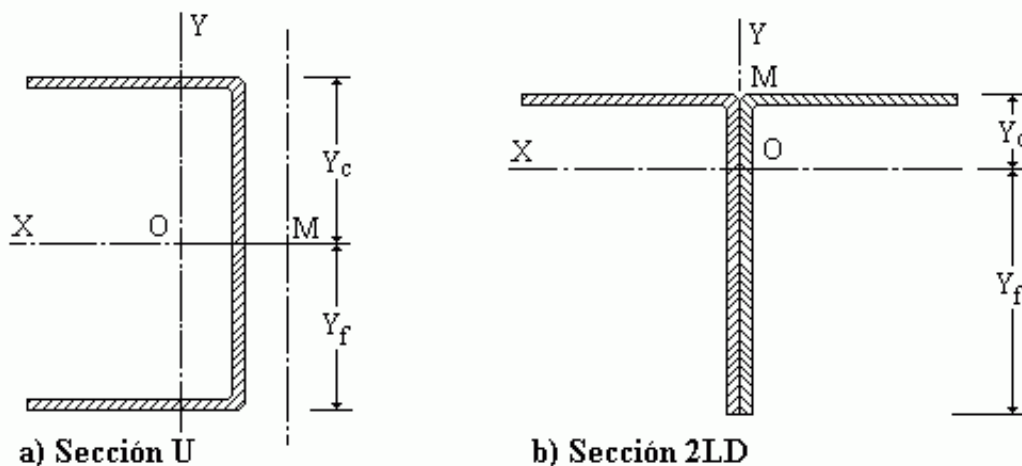
$$\left[ \frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

donde:

$k$  es el coeficiente de combadura de la pieza (4.3.4);

$\alpha$  es el coeficiente de abolladura del elemento que se calcula (4.2.3.1);

$\alpha'$  es el coeficiente de abolladura por cortadura (4.2.5.1) del elemento en que se calcula la tensión;



**Figura 4.4.5A.- Secciones con elementos no rigidizados**

### ***Piezas con elementos comprimidos rigidizados***

Cuando la pieza tiene su cabeza comprimida constituida por un elemento plano rigidizado (figuras 4.1.4.b y d) o por más de uno (figura 4.4.5.B), se considera la sección eficaz (4.2.2). En cada sección eficaz se obtienen los nuevos ejes, las coordenadas  $x'$ ,  $y'$ ,  $\Omega'$ , de cada punto y los términos de sección  $I'_x$ ,  $I'_y$ ,  $I'_a$ , y con ellos se calculan, según 4.4.3 las tensiones ponderadas.

Dichas tensiones ponderadas deben cumplir en todo punto las dos condiciones

siguientes:

### Compresión:

$$\left[ \frac{\kappa \sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

### Tracción:

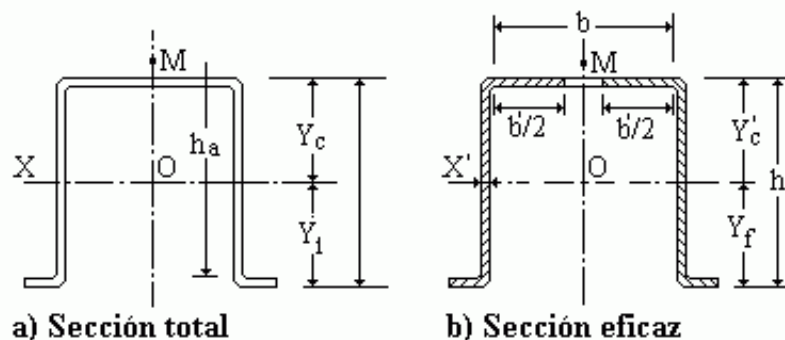
$$\left[ \frac{\sigma^*}{\sigma_u} \right]^2 + \left[ \frac{\alpha' \tau^*}{\tau_u} \right]^2 \leq 1$$

Como la sección eficaz depende de  $\sigma^*$ , es preciso proceder por aproximaciones sucesivas.

Se tantea una sección (figura 4.4.5.B, a) que tenga un momento de inercia prudencialmente mayor que el que se obtenga de las condiciones de agotamiento con los términos de la sección total. Se determina el ancho eficaz de cada elemento comprimido de dicha sección en la hipótesis  $\sigma^* = \sigma_u$  (figura 4.4.5.B, b). Se calculan los términos de dicha sección eficaz, y con las ecuaciones de resistencia se obtienen las tensiones resultantes  $\sigma^*$ .

Si no cumple alguna de las dos condiciones anteriores la sección es insuficiente y se elige otra mayor.

Si se cumplen ambas condiciones la sección es válida, y puede tantearse otra menor.



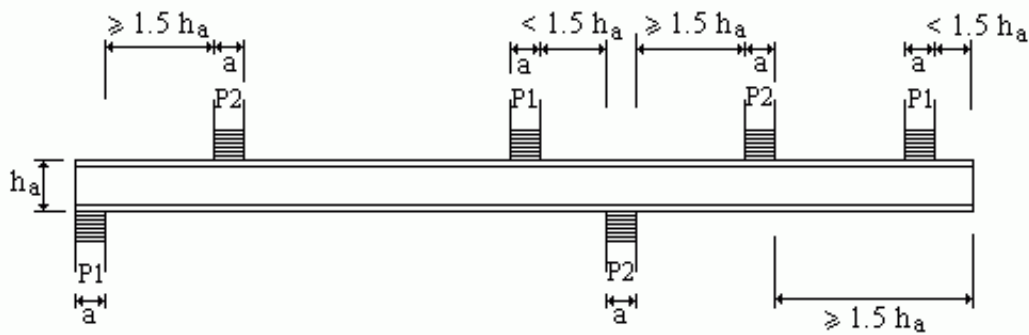
**Figura 4.4.5B.- Perfil a flexión simple**

### 4.4.6 Cargas concentradas

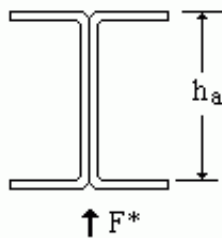
Se denomina carga concentrada la que actúa en una longitud  $a \leq h_a$ , siendo  $h_a$  la altura del alma (figura 4.4.6.A).

Las reacciones de sustentación tienen en general la consideración de cargas concentradas.

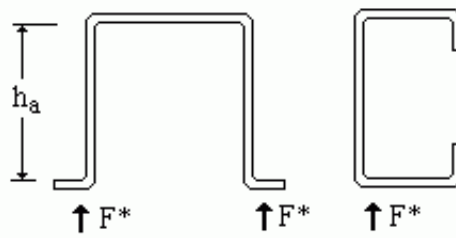
Las cargas concentradas producen dos efectos: en el alma, un efecto de abolladura local; en las alas comprimidas o traccionadas de piezas cortas, un efecto de variación de tensiones. Ambos se calculan a continuación.



a) Posición de la pieza



b) Fuerza centrada



c) Fuerzas excéntricas

**Figura 4.4.6.A.- Cargas concentradas**

### **Efecto de abolladura local del alma**

En una pieza cuya alma tiene altura  $h_a$  (figura 4.4.6.A), unida a las alas mediante redondeo de radio inferior  $r \leq 4e$ , en la que se aplica una carga concentrada de valor ponderado  $F^*$ , se considera que no origina abolladura del alma si  $F^*$  no es mayor que el máximo admisible  $F_m$ , que depende de la posición de la fuerza y cuyos valores, para cargas coincidentes con el alma, y para cargas no coincidentes, se definen a continuación.

### **Posiciones de una carga concentrada**

Una carga concentrada acción o reacción, puede tener dos tipos de posición (figura 4.4.6.A.a):

Posición P.1: Reacciones en los extremos de las piezas. Cargas cercanas a los apoyos o al extremo de una ménsula.

Posición P.2: Reacciones no situadas en los extremos de las piezas. Cargas no cercanas a los apoyos o al extremo de una ménsula.

Una carga se considera cercana si las distancias a los bordes, indicados en la figura 4.4.6.A.a son menores que  $1.5 h_a$ .

### **Carga concentrada coincidente con el alma**

Una carga concentrada es coincidente con el alma de una pieza cuando su resultante está en su plano medio. Salvo casos especiales, esto ocurre solamente en perfiles dobles (figura 4.4.6.A.b).

Su valor máximo admisible, por alma, se calcula con las fórmulas empíricas:

En posición P.1:

$$F_m = \left[ 7.4 + 0.93 \sqrt{\frac{a}{e}} \right] e^2 \sigma_u$$

En posición P.2:

$$F_m = \left[ 11.1 + 2.41 \sqrt{\frac{a}{e}} \right] e^2 \sigma_u$$

### ***Carga concentrada no coincidente con el alma***

Una carga concentrada es no coincidente con el alma de una pieza cuando su resultante está fuera de su plano medio. Es el caso general de los perfiles simples (figura 4.4.6.A.c).

Su valor máximo admisible se calcula con las fórmulas empíricas:

En posición P.1:

$$F_m = \left[ 1.33 + 0.0583 \left( 1 - \frac{h_a}{191e} \right) \left( \frac{a}{e} + 0.5 \right) \right] \left[ 4 - \frac{\sigma_u}{24} \right] \left[ 1.15 - 0.15 \frac{r}{e} \right] e^2 \sigma_u$$

En posición P.2:

$$F_m = \left[ 1.64 + 0.0213 \left( 1 - \frac{h_a}{256e} \right) \left( \frac{a}{e} + 55.5 \right) \right] \left[ 5.5 - \frac{\sigma_u}{24} \right] \left[ 1.06 - 0.6 \frac{r}{e} \right] e^2 \sigma_u$$

### ***Piezas cortas con cargas concentradas***

Se denomina pieza corta aquella en que se cumple la condición:

$$l_v < 30 b_v$$

donde:

$l_v$  es la luz virtual, igual a la distancia entre apoyos en piezas apoyadas, a la distancia entre puntos de inflexión en piezas continuas, y al doble de la luz en ménsulas.

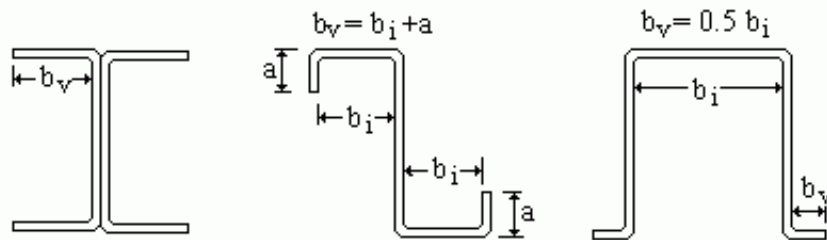
$b_v$  es la anchura virtual de la cabeza que la tenga menor, entendiendo por anchura virtual la que se indica en la figura 4.4.6.B.

En una pieza corta con una o varias cargas concentradas, cuando la distancia libre entre cada dos cargas o entre una carga y el borde interior del apoyo es mayor que  $2b_v$ , la anchura virtual recta de cada cabeza (4.1.4), tanto la comprimida como la traccionada, se disminuye en la longitud  $\rho b_v$

donde:

$$\rho = \frac{30b_v - l_v}{30b_v + 4l_v} \text{ no } \leq 0$$

Los valores de  $\rho$  se dan en la tabla 4.4.6.



**Figura 4.4.6.B.- Anchura virtual  $b_v$  de las cabezas de las piezas**

**Tabla 4.4.6.- Factor de disminución de la anchura virtual**

| Factor de disminución $\rho$ siendo $l_v : b_v$ |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $l_v : b_v$                                     | $l_v : b_v +$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 0             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 0   | -             | -    | -    | -    | -    | -    | 0.45 | 0.40 | 0.35 | 0.32 |
| 10  | 0.28          | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 0.18 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.10 |
| 20  | 0.09          | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |

#### 4.4.7 Deformaciones

Las deformaciones pueden calcularse por los métodos habituales de resistencia de materiales.

Cuando la deformación se calcule para comprobar el cumplimiento de las condiciones de un estado límite de utilización, se aplicarán las acciones características, y las flechas y los demás componentes de deformación se calcularán utilizando los términos de la sección total de la pieza, en las secciones con elementos planos rigidizados y no rigidizados.

Cuando la deformación se calcule como etapa intermedia en la comprobación de la estabilidad correspondiente a un estado límite último, se aplicarán las acciones ponderadas. La variación de tensiones en la sección, consecuencia de los fenómenos de inestabilidad, que complica mucho el cálculo de deformaciones, puede simplificarse en las secciones con elementos rigidizados utilizando los términos de la sección eficaz de la pieza.

## 4.5 Piezas sometidas a compresión simple y compuesta

### 4.5.1 Generalidades

La compresión tiene lugar en las piezas sometidas a un esfuerzo normal de compresión que pasa por el baricentro de la sección.

La compresión compuesta tiene lugar en las piezas sometidas a un esfuerzo normal de compresión que pasa por el baricentro de la sección y a un momento flector que puede tener componentes en ambos planos principales.

En ellas se produce pandeo por razón de su esbeltez. Este puede ser pandeo simple (4.5.2) y pandeo con torsión (4.5.3).

### 4.5.2 Pandeo simple

Se produce pandeo simple en una pieza comprimida cuando el centro de esfuerzos cortantes de la sección coincide con su baricentro, y el radio de giro polar  $i_o$  de la sección es menor que el radio de torsión  $i_t$  de la pieza.

$$i_o \leq i_t$$

siendo

$$i_o = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}; \quad i_t = \sqrt{\frac{I_a}{I_y} \left( \frac{\beta}{\gamma} \right)^2 + 0.039 \beta^2 l^2 \frac{I_t}{I_y}}$$

donde:

$I_a$  es el módulo de alabeo de la sección;

$I_t$  es el módulo de torsión de la sección;

$I_y$  es el momento de inercia de la sección respecto al eje y perpendicular al plano de pandeo, que pasa por el eje de la pieza y corresponde a la máxima esbeltez de ésta, definida a continuación;

$l$  es la longitud de la pieza;

$\beta$  es el coeficiente de esbeltez;

$\gamma$  es el coeficiente de coacción al alabeo de las secciones extremas:  $\gamma = 1.0$  alabeo libre,  $\gamma = 0.5$  alabeo impedido.

En una pieza cuya sección tenga elementos con delgadez no mayor que 80, el pandeo simple con consideración de la abolladura y combadura puede calcularse por el método aproximado que se describe, y que comprende las determinaciones siguientes: coeficiente de abolladura, sección eficaz, esbeltez, coeficiente de combadura y condiciones de agotamiento.

Si la sección tiene elementos con delgadez mayor que 80 es preciso considerar la interacción no lineal de los fenómenos siguientes: pandeo general de la pieza, abolladura de los rigidizadores con distorsión de la sección.

### **Coeficiente de abolladura**

Si la sección contiene uno o más elementos no rigidizados se determina el coeficiente de abolladura  $\alpha$ , según 4.2.3.1, para el elemento que tenga mayor delgadez  $\delta$ . Si todos los elementos de la sección están rigidizados se toma:  $\alpha = 1$ .

### **Sección eficaz**

La sección eficaz de la pieza se determina según 4.2.2.2, para la tensión:

$$\sigma^* = \sigma_u : \alpha$$

La sección eficaz se refiere a sus ejes principales de inercia  $x'$ ,  $y'$ , y sus términos de sección se designan:

$A'$  área de la sección eficaz;

$I'_x$ ,  $I'_y$  momentos de inercia de la sección eficaz respecto a los ejes  $x'$ ,  $y'$ , respectivamente.

$$i'_x = \sqrt{\frac{I'_x}{A'}} ; \quad i'_y = \sqrt{\frac{I'_y}{A'}} ;$$

Radios de giro respectivos

### **Esbeltez**

La esbeltez de la pieza en cada plano principal viene dada por las expresiones

Plano xz:

$$\lambda_x = \frac{\beta_x l_x}{i'_x \sqrt{\alpha}}$$

Plano yz:

$$\lambda_y = \frac{\beta_y l_y}{i'_y \sqrt{\alpha}}$$

en las que intervienen el coeficiente de abolladura  $\alpha$  por su influencia en las condiciones de agotamiento expuestas más adelante, y donde:

$l_x, l_y$  son las longitudes de la pieza (4.1.4) en los planos xz e yz, respectivamente. Generalmente  $l_x = l_y$ , pero pueden ser diferentes si la pieza tiene vinculación en su longitud que impida el desplazamiento solamente en un plano.

$\beta_x, \beta_y$  son los coeficientes de esbeltez en cada plano principal de las vinculaciones. También generalmente  $\beta_x = \beta_y$ , pero pueden ser diferentes.

Los valores frecuentes son:

Extremos articulados:  $\beta = 1$

Un extremo articulado y otro empotrado:  $\beta = 0.7$

Extremos empotrados:  $\beta = 0.5$

Un extremo empotrado y otro libre:  $\beta = 2$

Otros casos de vinculación: consúltese 3.2.4.

La esbeltez no será mayor que 200 para piezas principales, ni que 250 para piezas secundarias o de arriostramiento.

Si la pieza tiene solamente vinculaciones en sus extremos, el plano de pandeo es perpendicular al eje principal de la sección eficaz, respecto al cual el momento de inercia y, por tanto, el radio de giro son mínimos.

### **Coeficiente de combadura**

El fenómeno de combadura (4.3.1) puede producirse también en las piezas sometidas a compresión.

El coeficiente de combadura  $K$  se calculará como se indica en 4.3.4.

### **Condiciones de agotamiento**

En una pieza sometida a compresión simple la condición de agotamiento es:



$$\sigma^* = \frac{N^* \cdot \omega \cdot \alpha}{A'} \leq \sigma_u$$

donde:

$N^*$  es el esfuerzo normal;

$\omega$  es el coeficiente de pandeo que corresponde en la tabla 4.3.4.A a la mayor de las esbelteces,  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$ , de la pieza;

$\alpha$  es el coeficiente de abolladura.

En una pieza sometida a compresión compuesta las condiciones de agotamiento son:

En los extremos de la pieza:

$$\alpha \left[ \frac{N^*}{A'} + \frac{M_{x1}^*}{I'_x} y' + \frac{M_{y1}^*}{I'_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

$$\alpha \left[ \frac{N^*}{A'} + \frac{M_{x2}^*}{I'_x} y' + \frac{M_{y2}^*}{I'_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

En la parte central de la misma:

$$\left[ \alpha \frac{N^*}{A'} + \eta_x \frac{\kappa M_{xe}^* + N^* e_x}{I'_x} y' + \eta_y \frac{M_{ye}^*}{I'_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

$$\left[ \alpha \frac{N^*}{A'} + \eta_x \frac{\kappa M_{xe}^*}{I'_x} y' + \eta_y \frac{M_{ye}^* + N^* e_y}{I'_y} x' \right] \leq \sigma_u$$

donde:

$N^*$  es el esfuerzo normal ponderado;

$M_{x1}^*$ ,  $M_{y1}^*$  son los momentos flectores ponderados en el extremo 1 de la pieza;

$M_{x2}^*$ ,  $M_{y2}^*$  son los momentos flectores ponderados en el extremo 2 de la pieza;

$A'$  es el área de la sección eficaz;

$I'_x$ ,  $I'_y$  son los momentos de inercia de la sección eficaz respecto a los ejes;

$x'$ ,  $y'$  son las coordenadas del punto en que se estudian las tensiones;

$M_{xe}^*$ ,  $M_{ye}^*$  son los momentos flectores ponderados en el punto de la parte central de la pieza (figura 4.5.2) que produzcan el efecto más desfavorable;

$\eta_x, \eta_y$  son los factores de amplificación de los momentos:

$$\eta_x = \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_{ex} - \sigma_o}; \eta_y = \frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ey} - \sigma_o}$$

$\sigma_{ex}, \sigma_{ey}$  son las tensiones críticas de Euler:

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}; \sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$$

$\sigma_o = N^*/A'$  es la  
tensión en el baricentro  
de la sección;

$e_x, e_y$  son las excentricidades de imperfección:

$$e_x = (\omega_x - 1) \left[ 1 - \frac{\sigma_u}{\omega_x \sigma_{ex}} \right] \frac{W'_x}{A'}$$

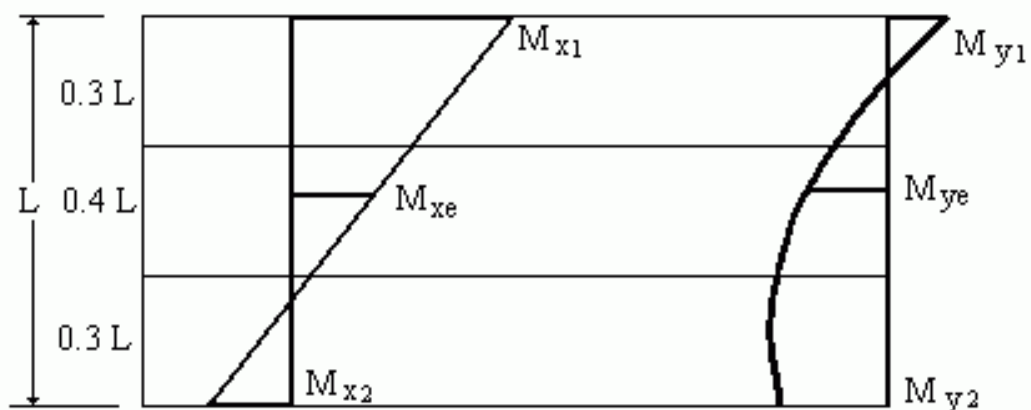
$$e_y = (\omega_y - 1) \left[ 1 - \frac{\sigma_u}{\omega_y \sigma_{ey}} \right] \frac{W'_y}{A'}$$

$\omega_x, \omega_y$  son los coeficientes de pandeo que en la tabla 4.3.4.A  
corresponden a  $\lambda_x, \lambda_y$ ;

$W'_x, W'_y$  son los módulos resistentes de la sección eficaz  
correspondientes a la fibra más comprimida;

$\kappa$  es el coeficiente de combadura;

$\alpha$  es el coeficiente de abolladura;



**Figura 4.5.2.- Gráfica de los momentos  $M_x$  y  $M_y$  en una pieza**

### 4.5.3 Pandeo con torsión

Cuando el centro de esfuerzos cortantes no coincide con el baricentro o  $i_o > i_t$ , se produce pandeo con torsión.

No es posible presentar un método general para el caso en que, por las características de la sección de la pieza, sea necesario la consideración del pandeo con torsión.

En las piezas en que se presente esta solicitación, el dimensionado puede realizarse mediante cálculos basados en la literatura técnica, o justificarse mediante ensayos.

Para los perfiles L el método se establece a continuación.

### 4.5.4 Pandeo de los perfiles L

Un perfil L, angular de lados iguales, sometido a compresión simple, cuando constituye una pieza, pandea en el plano bisector de las alas.

Cuando forma parte de una pieza, unido a otros perfiles, puede pandear en un plano paralelo a un ala. El cálculo a pandeo con torsión en ambos casos puede realizarse por los siguientes métodos aproximados: con pandeo en el plano bisector, y con pandeo en un plano paralelo a un ala, detallados a continuación.

#### ***Pandeo en el plano bisector***

Se determina el coeficiente de abolladura  $\alpha$ , según 4.2.3.1; se calcula el coeficiente de pandeo que corresponde a la esbeltez:

$$\lambda = l_k / i\eta$$

La condición de agotamiento es:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leq \sigma_u$$

Si  $\omega < \alpha (1 + \lambda/90)$  se sustituye  $\omega$  por  $\alpha(1 + \lambda/90)$  en la fórmula anterior.

#### ***Pandeo en un plano paralelo a un ala***

Se determina el coeficiente de abolladura  $\alpha$ , y el coeficiente de pandeo que corresponde a la esbeltez:

$$\lambda = l_k/i_x$$

La condición de agotamiento es:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leq \sigma_u$$

Si  $\omega < \alpha (1 + \lambda/360)$  se sustituye  $\omega$  por  $\alpha (1 + \lambda/360)$  en la fórmula anterior.

## 4.6 Uniones

### 4.6.1 Medios de unión

En la construcción con perfiles, placas y paneles de chapa conformada de acero se emplean los siguientes medios de unión, comunes para perfiles laminados, con las prescripciones y métodos de cálculo que se establecen como se indica:

- Roblones, en 4.6.2.
- Tornillos ordinarios y de alta resistencia, en 4.6.3.
- Soldadura, en 4.6.4.

Además pueden emplearse los siguientes medios de unión no usados para perfiles laminados:

- Tornillos roscachapa, de varios tipos.
- Remaches en frío.
- Adhesivos de diferentes clases.

Los cuales no han sido aún objeto de normalización. Las características mecánicas y de empleo de éstos deben justificarse mediante resultados de ensayos presentados por su fabricante, completándose, cuando sea preciso, con los encargados por el autor del proyecto o el director de obra.

### 4.6.2 Uniones roblonadas

Pueden emplearse los roblones E 10 a E 24 definidos en 2.4, o roblones de diámetro no incluido en dicho apartado permitiéndose realizar el punzonado hasta alcanzar el diámetro definitivo.

### ***Agujeros***

La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones de 5.3.6.

El diámetro a del agujero será 1 mm mayor que el diámetro nominal del roblón. No se limita por el espesor de las chapas de la unión, eligiéndose de modo que se cumplan las condiciones de agotamiento.

Las distancias  $s$  entre los centros de agujeros cumplirán las condiciones siguientes:

En dirección paralela al esfuerzo:  $3a \leq s_1 \leq 8a$

En dirección normal al esfuerzo:  $3a \leq s_2 \leq 6a$

Las distancias  $t$  entre el centro de un agujero y el borde de la chapa cumplirán las condiciones siguientes:

En dirección paralela al esfuerzo:  $3a \leq t_1 \leq 6a$

En dirección normal al esfuerzo:  $15a \leq t_2 \leq 3a$

### ***Disposiciones***

Se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones:

Cuando el esfuerzo se transmite por el extremo de una chapa, no se dispondrán más de seis roblones en cada fila paralela al esfuerzo.

Cuando el esfuerzo tiene distribución continua a lo largo de las chapas, no hay limitación en el número de roblones.

### ***Cálculo***

Los esfuerzos ponderados que transmite una chapa a cada uno de los roblones de la unión se calcularán según el Anejo 3.A5, de la Parte 3 de esta norma.

El esfuerzo ponderado  $F^*$  que recibe cada roblón cumplirá las siguientes condiciones de agotamiento:

Por cortadura del roblón:

$$F^* \leq F_{u1} = 0.1 \pi a^2 n \sigma_r$$

Por aplastamiento de la chapa:

$$F^* \leq F_{u2} = 2.1 a e \sigma_u$$

Por cortadura de la chapa en el borde frontal:

$$F^* \leq F_{u3} = 2e t_1 \tau_u;$$

con  $\tau_u = 0.576 \sigma_u$

Por tracción en la sección neta de la chapa:

$$F^* \leq F_{u4} = \left[ \frac{2t_2 + \sum s_2}{m} - a \right] e \sigma_u$$

Por arrancamiento de la chapa debido a la inclinación de los roblones:

$$F^* \leq F_{u5} = \xi (a+5)(e_1^2+0.22)\sigma_u$$

$$\xi = 0.85 + 0.111 \left[ \frac{e_1}{e_2} - 1 \right]^2 \geq 0.9$$

con

donde:

a es el diámetro del agujero, en mm;

e es el espesor de la chapa que transmite el esfuerzo, en mm;

e<sub>1</sub> es el espesor de la chapa sobre la que se forma la cabeza de cierre del roblón, en mm;

e<sub>2</sub> es el espesor de la chapa sobre la que apoya la cabeza de origen del roblón, en mm;

s<sub>2</sub> es la separación entre centros de agujeros, normal al esfuerzo, en mm;

t<sub>1</sub> es la distancia del centro del agujero al borde frontal, en mm;

t<sub>2</sub> es la distancia del centro del agujero al borde lateral, en mm;

m es el número de filas de roblones paralelas al esfuerzo;

n es el número de secciones transversales del roblón, 1 ó 2, por las que se resiste el esfuerzo transmitido;

σ<sub>u</sub> es la resistencia de cálculo del acero de la chapa, en kp/mm<sup>2</sup>;

σ<sub>r</sub> = 25 kp/mm<sup>2</sup>. Resistencia de cálculo del acero del roblón.

### **Ejecución**

Las uniones roblonadas se realizarán según las prescripciones de 5.1.3 y 5.1.4.

### **4.6.3 Uniones atornilladas**

Pueden emplearse los tornillos ordinarios T 10 a T 24 definidos en 2.5.

También pueden emplearse los tornillos de alta resistencia TR 12 a TR 24 definidos en 2.6. En ambos casos pueden emplearse tornillos de menor diámetro no incluidos en los apartados 2.5 y 2.6.

#### ***Agujeros***

La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones de 5.3.6, pero se permite el punzonado hasta alcanzar el diámetro definitivo.

El diámetro  $a$  del agujero será 1 mm mayor que el diámetro del vástago del tornillo. Dicho diámetro no estará limitado por el espesor de las chapas de unión, y se elegirá de tal modo que se cumplan las condiciones de cálculo expuestas a continuación.

Las distancias  $s$  entre los centros de agujeros cumplirán las condiciones siguientes:

En dirección paralela al esfuerzo:  $3a \leq s_1 \leq 5a$ .

En dirección normal al esfuerzo:  $4a \leq s_2 \leq 7a$ .

Las distancias  $t$  entre el centro de un agujero y el borde de la chapa cumplirán las condiciones siguientes:

En dirección paralela al esfuerzo:  $2a \leq t_1 \leq 5a$ .

En dirección normal al esfuerzo:  $2a \leq t_2 \leq 5a$ .

#### ***Disposiciones***

En las uniones de fuerza se dispondrán dos tornillos, como mínimo.

#### ***Cálculo***

Los esfuerzos ponderados que transmite una chapa a cada uno de los tornillos de la unión se calcularán según el anejo 3.A5 de la Parte 3 de esta norma. El esfuerzo ponderado  $F^*$  que recibe cada tornillo cumplirá las condiciones de agotamiento siguientes:

Por agotamiento del tornillo:



$$F^* \leq F_{u1} = 0.14 \pi d^2 n \sigma_t$$

En tornillos de alta resistencia, por pérdida de rozamiento:

$$F^* \leq F_{u1} = 1.7 N_0 \mu n$$

Por aplastamiento de la chapa:

$$F^* \leq F_{u2} = 2.1 a e \sigma_u$$

Por cortadura de la chapa en el borde frontal:

$$F^* \leq F_{u3} = 2 e t_1 \tau_u; \quad \text{con} \quad \tau_u = 0.5 \sigma_u$$

Por tracción en la sección neta de la chapa:

$$F^* \leq F_{u4} = \left[ \frac{2t_2 + \sum s_2}{m} - a \right] e \sigma_u$$

donde:

a es el diámetro del agujero, en mm;

d es el diámetro del vástago del tornillo, en mm;

e es el espesor de la chapa que transmite el esfuerzo, en mm;

s<sub>2</sub> es la separación entre centros de agujeros normal al esfuerzo, en mm;

t<sub>1</sub> es la distancia del centro del agujero al borde frontal, en mm;

t<sub>2</sub> es la distancia del centro del agujero al borde lateral, en mm;

m es el número de filas de tornillos paralelas al esfuerzo;

n es el número de secciones transversales del tornillo, 1 ó 2, por las que se resiste el esfuerzo transmitido por la chapa;

σ<sub>u</sub> es la resistencia de cálculo del acero de la chapa, en kp/mm<sup>2</sup>;

σ<sub>t</sub> es la resistencia de cálculo del acero del tornillo, en kp/mm<sup>2</sup>;

N<sub>0</sub> es el esfuerzo de pretensado del tornillo (3.6.5);

μ es el coeficiente de rozamiento entre la superficie de contacto (3.6.5).

## **Ejecución**

Las uniones atornilladas se realizarán según la Parte 5 de esta norma.

### **4.6.4 Uniones soldadas**

Pueden emplearse los procedimientos de soldeo y las disposiciones que se definen en 5.2.

#### Soldadura por arco

Las soldaduras a tope y las soldaduras de ángulo, realizadas con los procedimientos I, II y III de soldeo por arco eléctrico pueden calcularse según 3.7 cuando se realicen con las prescripciones de 5.2.

#### Soldaduras por resistencia

Las soldaduras por puntos se realizarán con el procedimiento IV de soldeo eléctrico por resistencia.

El esfuerzo cortante ponderado  $F^*$  transmitido por cada punto de soldadura cumplirá la condición de agotamiento:

$$F^* \leq F_u$$

El esfuerzo cortante de agotamiento por punto  $F_u$ , en función de la chapa exterior más delgada de la unión, se da en la tabla 4.6.4.

**Tabla 4.6.4 Resistencia de la soldadura por puntos**

| Espesor de la chapa exterior más delgada "e" en mm | Esfuerzo cortante de agotamiento por punto $F_u$ en kp |
|--|--|
| 0.25   | 38   |
| 0.30   | 45   |
| 0.40   | 70   |
| 0.50   | 95   |
| 0.60   | 125  |
| 0.80   | 190  |
| 1.00   | 260  |
| 1.20   | 375  |
| 1.50   | 550  |
| 2.00   | 800  |
| 2.50   | 1150   |

|      |      |
|------|------|
| 3.00 | 1500 |
| 4.00 | 2300 |
| 5.00 | 3250 |
| 6.00 | 4200 |
| 7.00 | 5150 |

#### 4.6.5 Uniones longitudinales de una pieza compuesta

La unión longitudinal entre los perfiles o las chapas que constituyen una pieza compuesta se realiza, en general, con medios de unión discontinuos: roblones, tornillos, puntos de soldadura, etc., aunque pueden emplearse medios continuos: soldadura o adhesivos. El cálculo en las piezas sometidas a flexión simple y en las sometidas a compresión simple se realiza como se indica a continuación.

##### ***Pieza sometida a flexión simple***

El esfuerzo rasante ponderado  $H^*$  que tiene que resistir un medio de unión viene dado por la expresión:

$$H^* = \frac{T^* S s}{I_n}$$

donde:

$T^*$  es el esfuerzo cortante ponderado en la sección transversal que pasa por el medio de unión considerado;

$I$  es el momento de inercia de la sección transversal total de la pieza, respecto al eje neutro;

$S$  es el momento estático de la sección transversal de la parte que se une, respecto al eje neutro;

$n$  es el número de medios de unión en la sección transversal que actúan simultáneamente;

$s$  es la separación longitudinal entre centros de medios de unión discontinuos. La separación  $s$  debe limitarse al valor indicado en 4.6.3 para evitar la abolladura de las chapas unidas, por la compresión debida a la flexión de la pieza.

Si el medio de unión es continuo se toma  $s = 1$  y  $H^*$  es el esfuerzo rasante por unidad de longitud.

### ***Pieza sometida a compresión simple***

En una pieza sometida a compresión simple con pandeo, calculada según 4.5.2, el esfuerzo rasante ponderado  $H^*$  que tiene que resistir un medio de unión viene dado por la expresión:

$$H^* = \frac{\sigma_u \pi (\omega - 1) S s}{a l_k \alpha \omega n}$$

donde:

$l_k$  es la longitud de pandeo de la pieza;

$\omega$  es el coeficiente de pandeo que se sustituye por el coeficiente de combadura  $\kappa > \omega$ ;

$\alpha$  es el coeficiente de abolladura;

$S$  es el momento estático de la sección transversal de la parte que se une respecto al eje principal de la sección perpendicular al plano de pandeo;

$a$  es la distancia longitudinal entre centros de medios de unión;

$s$  es la separación longitudinal entre centros de medios de unión;

$n$  es el número de medios de unión en la sección transversal que actúan simultáneamente.

### ***Limitación de la separación***

En una chapa de espesor  $e$  unida a otra con medios de unión discontinuos, comprimidas entre medios de unión con la tensión  $\sigma^*$  dada en 4.4.5 o en 4.5.2, según los casos, la separación  $s$  entre los centros de los medios de unión para evitar el pandeo de la chapa entre ellos, debe cumplir la condición:

$$s \leq 39.2 \sqrt{\frac{24}{\sigma^*}} e$$

Entre puntos de soldadura, esta separación se incrementa en 10 mm. En chapa no rigidizada, cuyo borde libre esté a la distancia  $t$  del centro del medio de unión, debe cumplirse además de condición:

$$s \leq 3t$$

### **4.6.6 Perfil I compuesto de 2U o de 2C**

La unión de dos U o de dos C para formar un perfil I compuesto puede

ser continua (figura 4.1.3.h) o discontinua (figura 4.1.3.i).

La separación longitudinal  $s$  entre medios discontinuos de unión en piezas sometidas a flexión simple y en piezas sometidas a compresión simple se obtiene de lo indicado en 4.6.5.

### ***Piezas sometidas a flexión simple***

La separación longitudinal se cumplirá la condición:

$$s \leq l/6$$

donde:

$l$  es la luz de la viga.

La resistencia a tracción  $F_u$  de un medio de unión bajo una carga concentrada  $Q^*$  cumplirá la condición:

$$F_u \leq \frac{Q^* m s}{2 t a}$$

donde:

$t$  es la separación transversal entre ambas líneas de unión;

$m$  es la distancia del centro de esfuerzos cortantes al centro del alma;

$a$  es la longitud sobre la que actúa la carga concentrada, acción o reacción, tomando  $a < s$ .

Bajo una carga uniforme  $q^*$ , se cumplirá:

$$F_u \leq \frac{3 q^* m s}{2 t}$$

Pueden emplearse separaciones  $s$  distintas en las zonas de cargas concentradas. Si  $s$  resulta pequeño bajo una carga concentrada, pueden soldarse chapas de refuerzo sobre las alas.

# Anejo 4.A1 Cálculo numérico iterativo de los términos de sección y funciones coordenadas de una pieza de chapa conformada

## Objeto del método

Se desarrolla en este anejo un método de cálculo numérico iterativo aplicable a toda sección abierta quebrada (figura 4.A1.1) compuesta de tramos rectos con espesor constante en cada tramo, aunque puede ser diferente de unos a otros. El método sirve para calcular sus términos de sección:

$A, x_O, y_O, I_x, I_y, I_{xy}, I_t, x_m, y_m, I_a$ , dados por las expresiones de 4.4.1 y sus funciones coordenadas:  $\Omega, S_{xi}, S_{yi}, S_{ai}$ , también dadas por las expresiones de 4.4.1, en los vértices de la línea media, para el cálculo de las tensiones normales según las fórmulas de 4.4.2, y en los vértices y centros de tramo para el cálculo de las tensiones tangenciales según las expresiones de 4.4.3.

Las fórmulas del método son programables con calculadora de capacidad de memoria no menor que 2k.

## Aplicación a las piezas de chapa conformada

Este método es aplicable a la sección de una pieza de chapa conformada (figura 4.A1.2) compuesta de  $m$  elementos planos con acuerdos cilíndricos, sustituyendo la sección real de la pieza por una sección virtual en la que en cada acuerdo, el arco de circunferencia de su línea media, de radio  $r$  y amplitud  $2\alpha$  (figura 4.A1.3) se sustituye por una quebrada de tres segmentos rectos; el primero y el tercero, de longitud  $u$ , en prolongación de los segmentos rectos adyacentes al acuerdo; el segundo, de longitud  $v$  formando ángulo  $\alpha$  con el primero y con el tercero; y de tal modo que la longitud de la quebrada sea igual que la del arco:

$$2u + v = 2\alpha r \quad (1)$$

De ellos se deduce que:

$$u = \frac{\alpha - \sin \alpha}{1 - \cos \alpha} r \quad (2)$$

$$v = 2 \frac{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} r \quad (3)$$

En el caso frecuente de elementos adyacentes ortogonales, con

$$\alpha = (\pi/4), \text{ es: } u = 0.267r, v = 1.036r$$

El error que introduce esta sustitución cuando  $r \leq 2e$ , es siempre pequeño y en general menor que el 1 por 100.

La línea virtual media de la sección virtual (figura 4.A1.4) es así una quebrada constituida por  $n = 2m - 1$  segmentos, a la cual es aplicable este método iterativo. Puede también aplicarse el método a la sección eficaz de un perfil (4.2.2), colocando dos nuevos vértices en los extremos interiores de cada elemento que se considere con anchura eficaz y tomando en ellos  $e_i = 0$ .

El método puede también emplearse para piezas con elementos cilíndricos cualesquiera. La sección real se sustituye por una sección virtual cuya línea media sea una poligonal trazada en el entorno de la curva real, lo más ajustada posible y cuya longitud sea igual a la de éste. El error que se comete es tanto menor cuanto mayor sea el número de segmentos.

## Definición geométrica de la sección

La sección virtual de la pieza (figura 4.A1.4) se refiere a un sistema ortogonal de ejes iniciales  $x'y'$ , que

conviene elegir de tal modo que todos los vértices de la sección estén en el primer cuadrante.

Los datos que definen la sección son:

El número de segmentos  $n$ , que se designan con  $i$  números pares:

$$i = 2, 4, \dots, 2n.$$

El espesor  $e_i$  de cada segmento  $i$ .

Las coordenadas  $x'_i, y'_i$  de los  $n + 1$  vértices de la línea media, que se designan con  $i$  números impares, como sigue: el vértice inicial:

$i = 1$ . Los  $n-1$  vértices intersección de segmentos adyacentes;

$$i = 3, 5, \dots, 2n-1.$$

Vértice final:

$$i = 2n + 1$$

Las coordenadas de los  $n-1$  vértices de intersección se calculan empleando las fórmulas 2 y 3.

### **Ejes baricéntricos de la sección**

Para cada valor par:  $i = 2, 4, \dots, 2n$  se calcula:

Coordenadas del punto medio del segmento  $i$ :

$$x'_i = \frac{1}{2}(x'_{i+1} + x'_{i-1}) \quad (4)$$

$$y'_i = \frac{1}{2}(y'_{i+1} + y'_{i-1}) \quad (5)$$

Longitud del segmento  $i$ :

$$l_i = \sqrt{(x'_{i+1} - x'_{i-1})^2 + (y'_{i+1} - y'_{i-1})^2} \quad (6)$$

Area de la sección:

$$A = \sum_{2m} l_i e_i \quad (7)$$

Módulo de torsión de la sección:

$$I_t = \frac{1}{3} \sum_{2m} l_i e_i^3 \quad (8)$$

Coordenadas del baricentro  $O$  en los ejes  $x', y'$ :

$$x'_o = \frac{1}{A} \sum_{2m} l_i e_i x'_i \quad (9)$$

$$y'_o = \frac{1}{A} \sum_{2m} l_i e_i y'_i \quad (10)$$

Para cada valor  $i = 1, 2, 3, \dots, 2n + 1$  se calcula:

Coordenadas baricéntricas de los  $2n + 1$  puntos:

$$x_i = x'_i - x'_0 \quad (11)$$

$$y_i = y'_i - y_0 \quad (12)$$

### **Funciones coordenadas y momentos de inercia**

Para cada valor par:  $i = 2, 4, \dots, 2n$ , mediante las siguientes fórmulas, muchas de ellas de recurrencia, se calcula:

$$A_i = A_{i+1} = (l_i e_i / 2) \quad \text{adoptando } A_1 = 0 \quad (13)$$

Momentos estáticos de la sección hasta un vértice:

$$\begin{aligned} S_{xi} &= S_{x,i-1} + \frac{A_i}{4} (y_{i+1} + 3y_{i-1}); \quad \text{con } S_{x1} = 0 \\ S_{x,i+1} &= S_{x,i-1} + A_i (y_{i+1} + y_{i-1}) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} S_{yi} &= S_{y,i-1} + \frac{A_i}{4} (x_{i+1} + 3x_{i-1}); \quad \text{con } S_{y1} = 0 \\ S_{y,i+1} &= S_{y,i-1} + A_i (x_{i+1} + x_{i-1}) \end{aligned} \quad (15)$$

Funciones auxiliares:

$$R_{xi} = \frac{1}{6} (S_{x,i+1} + 4S_{xi} + S_{xi-1}) \quad (16)$$

$$R_{yi} = \frac{1}{6} (S_{y,i+1} + 4S_{yi} + S_{yi-1}) \quad (17)$$

Momento de inercia:

$$I_x = -\sum_{2m} R_{xi} (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (18)$$

$$I_y = -\sum_{2m} R_{yi} (x_{i+1} - x_{i-1}) \quad (19)$$

$$I_{yx} = -\sum_{2m} R_{xi} (x_{i+1} - x_{i-1}) = -\sum_{2m} R_{yi} (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (20)$$

### **Centro de esfuerzos cortantes, funciones y términos de alabeo**

Se continúa para cada valor par:  $i = 2, 4, \dots, 2n$ .

Doble del área proyectada desde 0, entre 1 y un vértice:

$$\begin{aligned} \Omega_{oi} &= \Omega_{o,i-1} + 1/2 (x_{i-1}y_{i+1} - x_{i+1}y_{i-1}); \quad \text{con } \Omega = 0 \\ \Omega_{o,i+1} &= \Omega_{o,i-1} + (x_{i-1}y_{i+1} - x_{i+1}y_{i-1}) \end{aligned} \quad (21)$$

Términos auxiliares:

$$I_{xa} = -\sum_{2m} R_{xi} (\Omega_{o,i+1} - \Omega_{o,i-1}) \quad (22)$$

$$I_{ya} = -\sum_{2m} R_{yi} (\Omega_{o,i+1} - \Omega_{o,i}) \quad (23)$$

Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes:



$$x_m = \frac{I_x I_{ya} - I_{xy} I_{ya}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (24)$$

$$y_m = \frac{I_x I_{ya} - I_{xy} I_{ya}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (25)$$

Coordenada de alabeo del vértice 1:

$$\Omega_1 = \frac{1}{A} \sum_{2m} A_i [\Omega_{o,i+1} + \Omega_{o,i-1} - x_m (y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_1) + y_m (x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_1)] \quad (26)$$

Coordenada de alabeo:

$$\begin{aligned} \Omega_i &= \Omega_1 + \Omega_{oi} - \frac{1}{2} x_m (y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_1) + \frac{1}{2} y_m (x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_1) \\ \Omega_{i+1} &= \Omega_i + \Omega_{o,i+1} - x_m (y_{i+1} - y_1) + y_m (x_{i+1} - x_1) \end{aligned} \quad (27)$$

Momento estático de alabeo:

$$S_{ai} = S_{ai-1} + \frac{1}{2} A_i (\Omega_i + \Omega_{i-1}); \text{ con } S_a = 0 \quad (28)$$

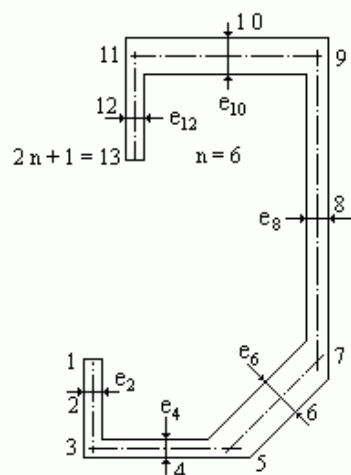
$$S_{ai+1} = S_{ai} + \frac{1}{2} A_i (\Omega_{i+1} + \Omega_i)$$

Función auxiliar:

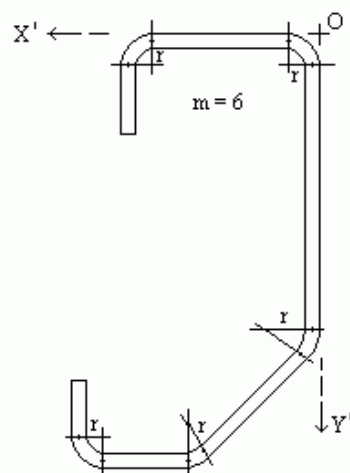
$$R_{ai} = \frac{1}{6} (S_{ai+1} + 4S_{ai} + S_{ai-1}) \quad (29)$$

Módulo de alabeo:

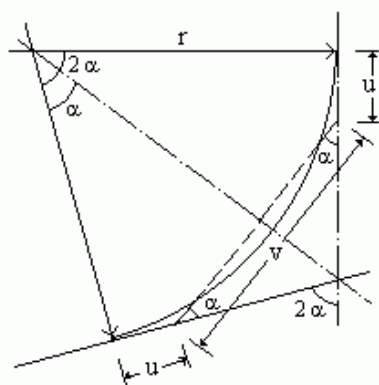
$$I_a = - \sum_{2m} R_{ai} (\Omega_{i+1} - \Omega_{i-1}) \quad (30)$$



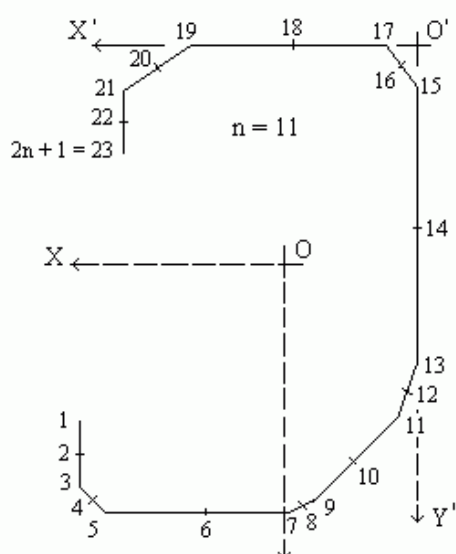
**Figura 4.A1.1.- Sección abierta poligonal de tramos**



**Figura 4.A1.2.- Sección de una pieza de chapa conformada**



**Figura 4.A1.3.- Sustitución de un acuerdo curvo por uno quebrado**



**Figura 4.A1.4.- Quebrada media de la sección virtual de la sección de la Fig. 4.A1.2**

# **Parte 5 Ejecución de las estructuras de acero**

## **5.0 Generalidades**

### **Objeto**

Esta parte establece los requisitos para la ejecución de las estructuras metálicas que aseguren, de acuerdo los requisitos del diseño y cálculo, la resistencia y estabilidad mecánicas necesarias, así como su capacidad de servicio y de durabilidad.

## 5.1 Uniones roblonadas y atornilladas

### 5.1.1 Generalidades

Este apartado se refiere a las uniones realizadas mediante roblones, tornillos ordinarios, tornillos calibrados, o tornillos de alta resistencia.

#### ***Uniones roblonadas***

Los roblones cumplirán las prescripciones de 2.4. Roblones de acero. En la ejecución de las uniones roblonadas se seguirán las prescripciones de 5.1.2, 5.1.3 y 5.1.4.

#### ***Uniones con tornillos***

Los tornillos cumplirán las prescripciones de 2.5. Tornillos. En la ejecución de las uniones con tornillos se seguirán las prescripciones de 5.1.2, 5.1.5, 5.1.6 y 5.1.7.

### 5.1.2 Agujeros

La perforación de los agujeros se realizará siguiendo las prescripciones de 5.3.6.

En cada estructura, los roblones o tornillos utilizados se procurará sean solamente de dos tipos, o como máximo de tres, de diámetros bien diferenciados.

Los diámetros de los agujeros, salvo excepciones justificadas, estarán dentro de los límites de la tabla 5.1.2 y se acercarán lo más posible a los valores óptimos consignados en los catálogos para cada perfil.

Las distancias entre los centros de agujeros de diámetro  $a$ , que unan piezas, cuyo espesor mínimo es  $e$ , cumplirán las condiciones siguientes (figura 5.1.2).

Valor mínimo:

para roblones  $s \geq 3.0 a$

para tornillos  $s \geq 3.5 a$

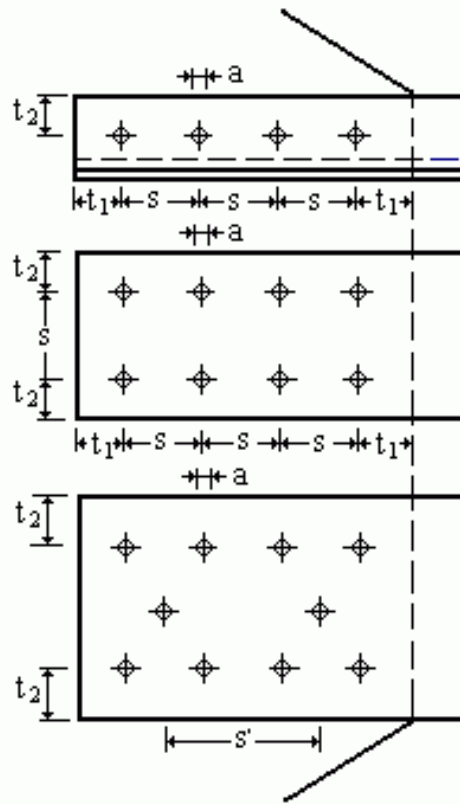
Valor máximo:

en general  $s \leq 8.0 a$

$$s \leq 15.0 e$$

en uniones de armado de barras de tracción  $s \leq 15.0 a$

$$s \leq 25.0 e$$



**Figura 5.1.2.- Separación entre agujeros**

En barras de gran anchura, con más de dos filas paralelas de roblones o tornillos en dirección del esfuerzo, en las filas interiores, el valor máximo de la distancia  $s'$  en esta dirección puede ser doble del indicado.

La distancia  $t$  entre los centros de los agujeros y los bordes cumplirán las condiciones siguientes:

Valor mínimo:

al borde frontal  $t_1 \geq 2.0 a$

al borde lateral  $t_2 \geq 1.5 a$

Valor máximo:

a cualquier borde  $t \leq 3.0 a$

$$t \leq 6.0 e$$

Cuando se empleen roblones o tornillos ordinarios, la coincidencia de los

agujeros se comprobará introduciendo un calibre cilíndrico, de diámetro 1,5 mm menor que el diámetro nominal del agujero. Si el calibre no pasa suavemente, se rectificará el agujero en la forma indicada en 5.3.6.

Cuando se empleen tornillos calibrados, es preceptiva la rectificación del agujero, de acuerdo con 5.3.6 y se comprobará que el diámetro rectificado es igual que el de la espiga del tornillo.

**Tabla 5.1.2 Limitaciones para agujeros**

| <b>Diámetro del agujero mm</b> | <b>Espesor de cada pieza</b> |                  | <b>Máxima suma de espesores de las piezas unidas mm</b> |
|--------------------------------|------------------------------|------------------|---|
|                                | <b>Mínimo mm</b>             | <b>Máximo mm</b> |   |
| 11                             | 4                            | 10               | 45  |
| 13                             | 4                            | 12               | 55  |
| 15                             | 5                            | 14               | 65  |
| 17                             | 6                            | 16               | 70  |
| 19                             | 7                            | 18               | 80  |
| 21                             | 8                            | 20               | 90  |
| 23                             | 10                           | 24               | 100   |
| 25                             | 12                           | 28               | 115   |
| 28                             | 14                           | 36               | 130   |

### **5.1.3 Calentamiento de los roblones**

Se recomienda calentar los roblones en horno de atmósfera reductora, en horno eléctrico, o en máquinas calentadoras por resistencia. Se permite el uso de la fragua. Se prohíbe el uso del soplete.

Se calentará uniformemente toda la longitud del roblón, salvo en las técnicas de calentamiento diferencial para roblones de gran longitud, que se definirán para cada caso previos los ensayos oportunos.

Ningún roblón permanecerá en el horno, o en la máquina, en espera de su colocación, más tiempo del necesario para alcanzar la temperatura deseada. Al iniciar la colocación, la temperatura del roblón estará comprendida entre 1050 °C (rojo naranja) y 950 °C (rojo cereza claro). Al terminarse de formarse la cabeza de cierre la temperatura no será mayor que 700 °C (rojo sombra).

El horno o máquina estará lo suficientemente próximo a la zona de roblonado para que no se produzca enfriamiento apreciable del roblón antes de su

colocación.

No se utilizará ningún roblón calentado y dejado enfriar.

#### **5.1.4 Colocación de los roblones**

El roblonado se realizará de modo que las piezas de la unión queden perfectamente apretadas unas contra otras y no se produzcan curvaturas o alabeos. Todo roblón colocado rellenará completamente su agujero. Antes de colocar un roblón se eliminará de su superficie la cascarilla y la escoria si las lleva adheridas. Para ello se cumplirán las prescripciones siguientes:

##### ***Orden de colocación de los roblones***

Se recomienda comenzar la colocación de los roblones por el centro de costura, y continuar hacia cada extremo alternativamente. En las costuras de varias filas paralelas de roblones la colocación se realizará simultáneamente en todas las filas.

##### ***Formación de la cabeza de cierre***

Se recomienda formar la cabeza de cierre con máquina roblonadora de presión uniforme. Se autoriza formarla con martillo neumático, empleando buterola, y no por golpeo directo del martillo. Se prohíbe la colocación de roblones con maza de mano.

La sufridora se utilizará siempre bien firme e inmovilizada, para evitar el mal contacto, la excentricidad o la deformación de la cabeza original del roblón. Si por falta de espacio no puede utilizarse la herramienta adecuada, se sustituirá el roblón por un tornillo calibrado, y mejor por un tornillo de alta resistencia. La cabeza de cierre del roblón tendrá como mínimo las dimensiones correspondientes a su diámetro, según 2.4. Roblones de acero; quedará centrada con la espiga, apoyará perfectamente en toda su superficie sobre el perfil, y no presentará grietas ni astillas.

Se eliminarán las rebabas que, eventualmente, puedan quedar alrededor de la cabeza.

No se tolerarán huellas de la estampa sobre la superficie de los perfiles.

##### ***Comprobación de los roblones colocados***

Después de efectuado el roblonado de una unión se dejará enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, y se revisará antes de quitar las fijaciones de armado. Cada roblón se inspeccionará ocularmente, se verificarán sus dimensiones y se comprobará el rebote con un martillo de bola pequeño.

Todo roblón que aparezca quemado, con defectos de ejecución o

dimensionales, o cuyo apriete resulte dudoso al rebote, se levantará, y sin haber quitado las fijaciones de armado, se sustituirá por otro. Se prohíbe el repaso en frío de roblones que hayan quedado flojos.

### ***Calafateo de las juntas***

No se permite el calafateo de los roblones, ni de las juntas más que en aquellos elementos que en su utilización tengan que ser estancos.

### ***Roblones de gran longitud***

Si el espesor de la unión sobrepasa la máxima suma de espesores indicada en la tabla 5.1.2, los planos de taller establecerán las prescripciones que deben seguirse en la colocación de estos roblones.

#### **5.1.5 Colocación de los tornillos ordinarios**

Los asientos de las cabezas y tuercas estarán perfectamente planos y limpios. Es preceptivo en las uniones de fuerza, y siempre recomendable, la colocación de arandela bajo la tuerca. Si el perfil tiene cara inclinada, se empleará arandela de espesor variable, con su cara exterior normal al eje del tornillo, para correcto apoyo de la tuerca. Esta arandela, de espesor variable, se colocará también bajo la cabeza del tornillo, si ésta apoya sobre la cara inclinada.

En las uniones de fuerza, la longitud de la espiga no roscada, después de apretada la tuerca, será no menor que el espesor de la unión más 1 mm, sin alcanzar la superficie exterior de la arandela, quedando dentro de ésta al menos un filete. La parte roscada de la espiga sobresaldrá de la tuerca por lo menos en un filete.

Si por alguna circunstancia no se coloca arandela, la parte roscada de la espiga penetrará en la unión por lo menos en un filete.

Las tuercas se apretarán a fondo, preferentemente con medios mecánicos. En estructuras no desmontables, se recomienda bloquear la tuerca, empleando un sistema adecuado: punto de soldadura, matado del filete, etc. El bloque de la tuerca es preceptivo en estructuras solicitadas por cargas dinámicas, y en los tornillos sometidos a tracción en dirección de su eje.

#### **5.1.6 Colocación de los tornillos calibrados**

Se seguirán las prescripciones de 5.1.5, siendo obligatoria en todo caso la colocación de arandela bajo la cabeza y bajo la tuerca.



### **5.1.7 Colocación de los tornillos de alta resistencia**

Las superficies de las piezas a unir serán absolutamente planas, y debe comprobarse su planeidad antes de realizar la unión. Estas superficies estarán completamente limpias y sin pintar. La grasa se eliminarán con disolventes adecuados.

Para eliminar la cascarilla de laminación de estas superficies se someterán al tratamiento de limpieza que se especifique en el proyecto: chorro de arena, recomendándose arena silícea con diámetros de grano entre 0,5 y 1 mm; chorro de granalla de acero; decapado por llama, etc., realizándose de acuerdo con las instrucciones del mismo.

La limpieza es muy importante, pues la transmisión de los esfuerzos entre las piezas de la unión se realiza por rozamiento.

Se colocará siempre arandela bajo la cabeza y bajo la tuerca. Esta arandela tiene bisel cónico en los bordes externo e interno de la cara en contacto con la cabeza o con la tuerca: el interno para conseguir un buen asiento, y el externo para comprobar la correcta colocación de la arandela.

La parte roscada de la espiga sobresaldrá de la tuerca por lo menos en un filete y puede penetrar dentro de la unión.

Las tuercas se apretarán mediante llaves taradas, que midan el momento torsor aplicado, hasta alcanzar el valor prescrito para éste, que figurará en las instrucciones de los planos de taller. También pueden emplearse métodos de apretado en los que se midan ángulos de giro.

Los tornillos de una unión deben apretarse inicialmente al 80 por 100 del momento torsor final, empezando por los situados en el centro, y terminar de apretarse en una segunda vuelta.

## 5.2 Uniones soldadas

### 5.2.1 Generalidades

Este apartado se refiere a la ejecución de uniones soldadas realizadas con los procedimientos de soldeo autorizados, que figuran a continuación.

El armado de las piezas que deben unirse se ejecutará siguiendo las prescripciones de 5.3.7.

#### ***Procedimientos de soldeo***

Los procedimientos expresamente autorizados para uniones de fuerza en estructuras de edificación son:

Procedimiento I:

Soldeo eléctrico manual, por arco descubierto, con electrodo fusible revestido.

Procedimiento II:

Soldeo eléctrico semiautomático o automático, por arco en atmósfera gaseosa con alambre-electrodo fusible.

Procedimiento III:

Soldeo eléctrico automático, por arco sumergido, con alambre-electrodo fusible desnudo.

Procedimiento IV:

Soldeo eléctrico por resistencia.

Otros procedimientos no mencionados, o que pudieran desarrollarse en el futuro, requerirán norma especial.

El constructor presentará, si el director de la obra lo estima necesario, una Memoria de soldeo, detallando las técnicas operatorias que se van a utilizar dentro del procedimiento o procedimientos elegidos.

#### ***Disposiciones de las soldaduras***

En los procedimientos I, II y III las dos disposiciones fundamentales son:

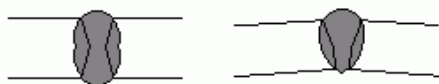
Soldaduras a tope, con elementos en prolongación (figura 5.2.1.A), en T (figura 5.2.1.B) o en L (figura 5.2.1.C).

Soldaduras de ángulo, en rincón (figura 5.2.1.D), en solape (figura 5.2.1.E), en esquina (figura 5.2.1.F) o en ranura (figura 5.2.1.G).

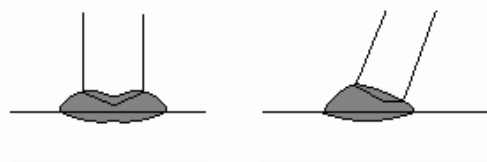
En el procedimiento IV las disposiciones fundamentales son:

Soldadura a tope, con elementos en prolongación (figura 5.2.1.A), en T (figura 5.2.1.B) o en L (figura 5.2.1.C).

Soldadura por puntos (figura 5.2.1.H).



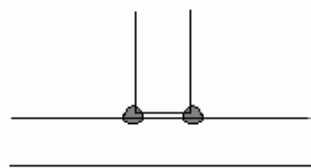
**Figura 5.2.1.A.- Soldadura a tope en prolongación**



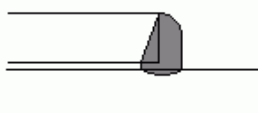
**Figura 5.2.1.B.- Soldaduras a tope en T**



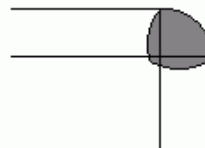
**Figura 5.2.1.C.- Soldaduras a tope en L**



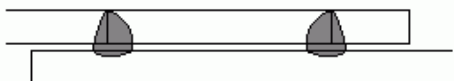
**Figura 5.2.1.D.- Soldadura de ángulo en rincón**



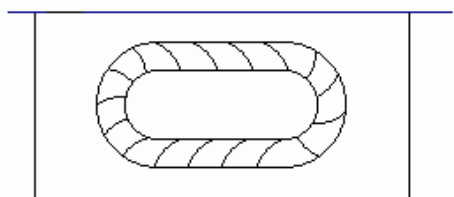
**Figura 5.2.1.E.- Soldadura de ángulo en solape**



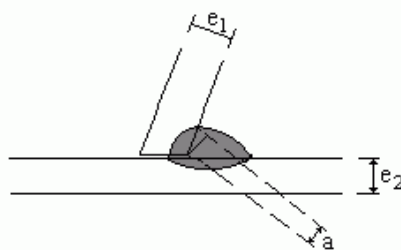
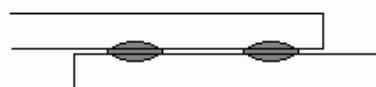
**Figura 5.2.1.F.- Soldadura de ángulo en esquina**



**Figura 5.2.1.G.- Soldadura de ángulo en ranura**



**Figura 5.2.1.H.- Soldadura por puntos**



**Figura 5.2.1.I.- Garganta de una soldadura de ángulo**

### **Dimensiones de las soldaduras**

Las dimensiones fundamentales que determinan la resistencia de una soldadura de ángulo son: su garganta y su longitud eficaz.

Garganta  $a$  es la altura del máximo triángulo isósceles, cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas que se van a unir, inscribible en la sección transversal de la soldadura (figura 5.2.1.I).

Longitud eficaz  $l$  es la longitud real de la soldadura, menos la longitud de los cráteres extremos, cuando existan. Longitud real es la distancia entre el principio y el fin de la soldadura. La longitud de cada cráter extremo que se admite es igual a la garganta. Por tanto, cuando existan cráteres extremos, la longitud eficaz es igual a la longitud real menos dos veces la garganta. Si se emplean procedimientos que eviten la formación de cráteres extremos, la longitud eficaz es igual a la longitud real.

### **Notación de las soldaduras**

En los planos de taller se definen las soldaduras mediante una notación que, en general, consta de las tres partes

siguientes: los números que dimensionan la preparación de bordes; el símbolo de la disposición de la soldadura y preparación; y las dimensiones: garganta a, longitud eficaz l, y en las uniones discontinuas la separación s, entre ejes de las soldaduras.

En las tablas 5.2.5.A, B, C y D se establecen las notaciones en los distintos casos para el procedimiento I de soldeo.

En los planos del proyecto no siempre es necesario establecer el dimensionamiento de la preparación de bordes, y entonces la notación se reduce a sus dos últimas partes: símbolo y dimensiones: a, l y, en su caso, s.

### **5.2.2 Prescripciones para las soldaduras**

En la ejecución de toda soldadura se seguirán las prescripciones generales que figuran a continuación, al final de las cuales se encuentran las prescripciones específicas de las soldaduras realizadas en taller y en obra.

#### ***Condiciones de las piezas que se van a unir***

No se permite soldar en una zona en que el acero haya sufrido en frío una deformación longitudinal mayor que el 2,5 por 100, a menos que se haya dado tratamiento térmico adecuado.

Antes del soldeo se limpiarán los bordes de la unión, eliminando cuidadosamente toda la cascarilla, herrumbre o suciedad, y muy especialmente la grasa y la pintura.

Las partes que se van a soldar estarán además bien secas.

#### ***Condiciones para los electrodos.***

Se utilizarán electrodos en calidad estructural, apropiada a las condiciones de la unión y del soldeo y de las características mínimas siguientes:

a) Resistencia a tracción del metal depositado:

- > 37 kg/mm<sup>2</sup> para acero del tipo A37.
- > 42 kg/mm<sup>2</sup> para acero del tipo A42.
- > 52 kg/mm<sup>2</sup> para acero del tipo A52.

b) Alargamiento de rotura:

- > 22 por 100 para aceros de cualquier tipo.

c) Resistencia:

Adaptada a la calidad del acero y al tipo de estructura, no menor en ningún caso que 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Son admisibles, según los casos y posiciones de soldeo, electrodos de las calidades siguientes:

- Estructural intermedia.
- Estructural ácida.
- Estructural básica.
- Estructural orgánica.
- Estructural rutilo.
- Estructural titanio.

Pueden emplearse electrodos normales o de gran penetración.

La simbología y descripción de estas calidades figuran en la norma UNE 14 003. La determinación de las características del metal depositado se hará por los métodos que describe la norma UNE 14 022.

En el uso de los electrodos se seguirán las instrucciones indicadas por el suministrador. Los electrodos de revestimiento higrofilo, especialmente los electrodos básicos, se emplearán perfectamente secos, y así se introducirán y se conservarán en desecador hasta el momento de su empleo.

#### ***Condiciones de soldeo***

Los cordones se depositarán sin provocar mordeduras.

Después de ejecutar cada cordón, y antes de depositar el siguiente, se limpiará su superficie con piqueta y cepillo de alambre, eliminando todo rastro de escoria. Esta limpieza se realiza también en los cordones finales. Para facilitar la limpieza y el depósito de los cordones siguientes se procurará que la superficie de todo cordón sea lo más regular posible y que no forme ángulos demasiado agudos con los anteriores depositados ni con los bordes de las piezas.

La proyección de gotas de soldadura se evitará cuidadosamente.

### ***Ejecución de la soldadura***

La superficie de la soldadura será regular y lo más lisa posible. Se recomienda que el cebado del arco se haga sobre las juntas, y avance respecto a la soldadura. Si es preciso, la soldadura se recargará o se esmerilará para que tenga el espesor debido, sin falta ni bombeo excesivo, y para que no presente discontinuidades o rebabas.

En las soldaduras a tope, accesibles por ambas caras, se realizará siempre la toma de raíz que consiste en su saneado y el depósito del cordón de cierre, o del primer cordón dorsal. El saneado consiste en levantar la parte de raíz hasta dejar al descubierto el metal sano de la soldadura, por cualquiera de los procedimientos sancionados por la práctica; burilado, soplete, arco-aire, esmeril, etc. El burilado se realizará sólo con útiles de perfil redondeado, prohibiéndose el empleo de los de perfil recto.

Se prohíbe todo enfriamiento anormal o excesivamente rápido de las soldaduras, siendo preceptivo tomar las precauciones precisas para ello.

Cuando excepcionalmente se empleen espesores mayores que 30 mm, se establecerán las precauciones especiales que deben adoptarse.

### ***Defectos de las soldaduras***

Los defectos internos principales son: a) falta de penetración cuando el chaflán de la soldadura no está totalmente lleno o cuando la unión entre el metal base y el metal de aportación no es perfecta en algún punto; b) grietas; c) inclusiones, escoria y otros cuerpos englobados en la soldadura, y d) poros u oclusiones gaseosas (figura 5.2.2.A).

Los defectos superficiales más importantes son: mordeduras en los bordes, desbordamientos, picaduras, etc. (figura 5.2.2.B).

Todos estos defectos son fácilmente evitables por la ejecución cuidadosa de un soldador calificado, y la elección adecuada de los electrodos y, por tanto, se procurará en todo momento que no se produzcan.

La calificación de los defectos, visibles o revelados por un medio de control, es de la competencia del director de obra. Este puede ordenar levantar aquellas soldaduras que crea conveniente para que se ejecuten nuevamente. El levantado se realizará cuidadosamente por cualquiera de los procedimientos sancionados por la práctica; cincelado con gubia de forma apropiada para evitar el recalcado, por esmerilado, etc.

### ***Cráteres***

Los cráteres producidos por el cebado y corte del arco en los extremos de la soldadura pueden evitarse en las soldaduras a tope empleando métodos apropiados, por ejemplo, prolongando la soldadura fuera de las piezas, sobre montajes apropiados, que posteriormente se eliminarán alisando cuidadosamente la zona afectada.

En las soldaduras de ángulo se permite, en general, dejar los cráteres extremos, descontándolos al medir la longitud eficaz. Pueden eliminarse con muela. En las estructuras sometidas a cargas dinámicas es preceptiva la evitación o eliminación de los cráteres.

### ***Eliminación de los elementos de fijación***

Los elementos provisionales de fijación que para el armado o el montaje se sueldan a las barras de la estructura se desprenderán cuidadosamente con soplete sin dañar a las barras. Se prohíbe desprenderlos a golpes.

Los restos de soldadura de las fijaciones se eliminarán con piedra de esmeril, fresa, lima u otros procedimientos.

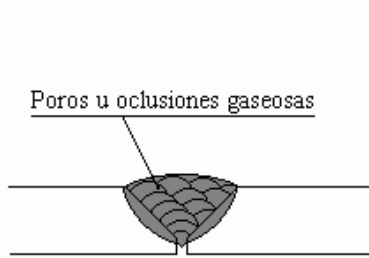
### ***Soldaduras en taller***

El depósito de los cordones se efectuará, siempre que sea posible, en posición horizontal. El taller contará con dispositivos para voltear las piezas y colocarlas en la posición más conveniente para la ejecución de las soldaduras, sin que se produzcan sollicitaciones excesivas que puedan dañar la resistencia de los cordones depositados.

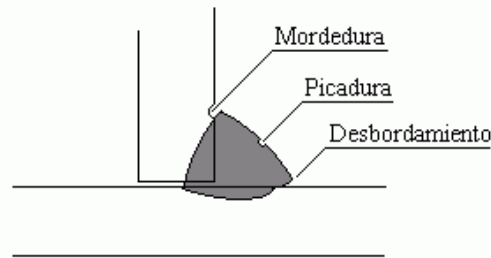
### ***Soldaduras en obra***

Debe reducirse al mínimo el número de soldaduras realizadas en obra, e incluso se recomienda proyectar para la unión en obra otros medios: tornillos de alta resistencia, etc.

Se tomarán las precauciones precisas para proteger los trabajos de soldeo contra el viento y la lluvia. Se protegerán asimismo del frío, suspendiendo, en general, el trabajo cuando la temperatura ambiente alcance  $0^{\circ}\text{C}$ . En casos excepcionales, el director de la obra puede autorizar el soldeo con temperatura ambiente entre  $0^{\circ}$  y  $-5^{\circ}\text{C}$ , adoptando medidas especiales para evitar el enfriamiento rápido de la soldadura, por ejemplo, mediante precalentamiento del material base.



**Figura 5.2.2.A.- Defectos internos**



**Figura 5.2.2.B.- Defectos superficiales**

### 5.2.3 Prescripciones según la disposición de la soldadura

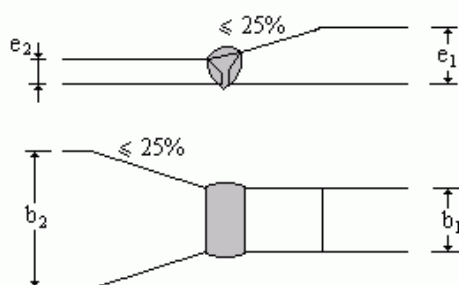
En las uniones de fuerza, según la disposición de la soldadura, se seguirán las prescripciones siguientes:

#### **Soldaduras a tope**

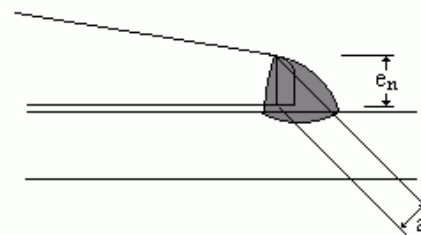
La soldadura será continua en toda la longitud de la unión, y de penetración completa.

Se saneará la raíz antes de depositar el cordón de cierre, o el primer cordón de la capa posterior.

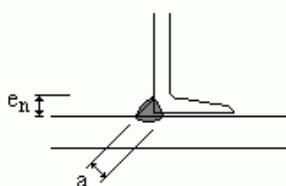
Cuando el acceso por la cara posterior no sea posible, se realizará la soldadura con chapa dorsal (5.2.5) u otro dispositivo para conseguir penetración completa. Para unir dos piezas de distinta sección, la de mayor sección se adelgazará en la zona de contacto, con pendientes no mayores que el 25 por 100 (figura 5.2.3.A) para obtener una transición suave de la sección.



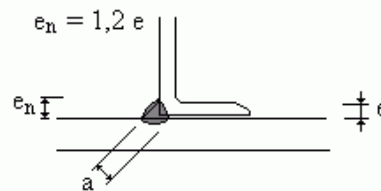
**Figura 5.2.3.A.- Soldadura a tope en piezas de distinta sección**



**Figura 5.2.3.B.- Espesor nominal  $e_n$  en un perfil de borde redondeado**



**Figura 5.2.3.C.- Espesor nominal  $e_n$  en el ángulo de un perfil UPN**



**Figura 5.2.3.D.- Espesor nominal  $e_n$  en los ángulos de los perfiles L y LD**

#### **Soldaduras de ángulo**

La garganta  $a$  de una soldadura de ángulo que une dos perfiles de espesor  $e_1 \leq e_2$  será no mayor que el valor máximo que corresponde en la tabla 5.2.3.A al espesor  $e_1$ , y no menor que el valor mínimo que corresponde al

espesor  $e_2$  si este valor mínimo es menor que el valor máximo antes especificado.

En los perfiles con borde redondeado se toma como espesor nominal en el ala (figura 5.2.3.B) el espesor medido en la tangencia con el cilindro de redondo. En el ángulo de los perfiles UPN se toma como espesor nominal  $e_n$  (figura 5.2.3.D) 1.2 veces el espesor  $e$  de las alas.

Los valores máximos de la garganta en las soldaduras  $s$  en ángulo de los perfiles se indican en la tabla 5.2.3.B.

La longitud eficaz ( $l_1$  ó  $l_2$ ) de una soldadura lateral en la unión de una barra de ancho  $b$  (figura 5.2.3.E) que transmite un esfuerzo axial estará comprendida entre los valores siguientes:

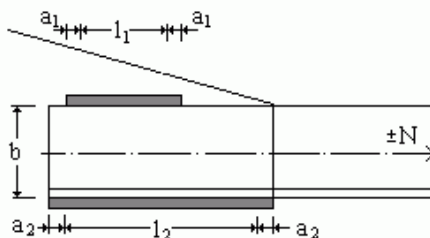
Valor mínimo:  $l \geq 15 a$

$$l \geq b$$

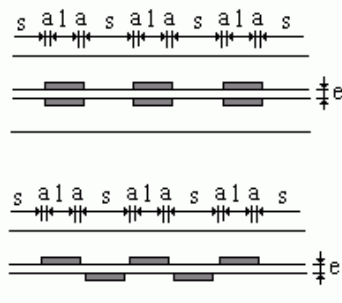
Valor máximo:  $l \leq 60 a$

$$l \leq 12 b$$

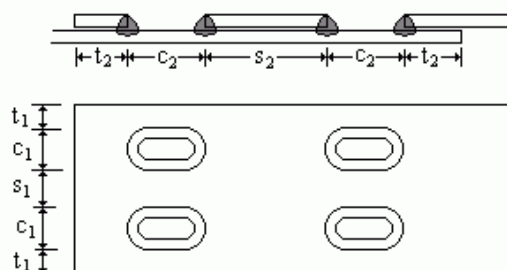
Se recomienda unir toda soldadura frontal con las soldaduras laterales, si existen, y si no existieran, prolongarla en las partes laterales en una longitud igual a cuatro veces la garganta.



**Figura 5.2.3.E.- Soldadura en ángulo en la unión de una barra que transmite un esfuerzo axial**



**Figura 5.2.3.F.- Uniones longitudinales discontinuas**



**Figura 5.2.3.G.- Uniones con soldaduras de ranura**

La unión longitudinal de dos piezas puede ser discontinua, correspondiente o alternada (figura 5.2.3.F), excepto en los casos siguientes: estructuras sometidas a cargas dinámicas; elementos situados a la intemperie o en ambientes agresivos o sometidos a temperaturas menores que 0 °C; uniones que requieran ser estancas. La longitud eficaz  $l$  de cada soldadura de una unión discontinua tendrá el valor mínimo siguiente:

$$l \geq 5 a;$$

$$l \geq 40 \text{ mm.}$$

La separación  $s$  entre soldaduras de una unión discontinua, siendo  $e$  el mínimo espesor de los perfiles unidos, tendrá el valor máximo siguiente:

$$s \leq 15 e \text{ en barras a compresión;}$$

$$s \leq 25 e \text{ en barras a tracción;}$$

$$s \leq 300 \text{ mm en todo caso.}$$

### **Soldadura de ranura**

Las uniones de fuerza con soldaduras de ranura (figura 5.2.3.G); se emplearán solamente cuando no sea posible realizarlas mediante soldaduras a tope o de ángulo, y nunca en estructuras sometidas a cargas dinámicas.

La unión de una chapa o perfil de espesor  $e$  en la que se abran ranuras se realizará observando las prescripciones siguientes:

Ancho  $c$  de la ranura:

Valor mínimo:  $c \geq 2.5 e$

Valor máximo:  $c \leq 10.0 e$

La separación  $s$ , entre ranuras, siendo  $c$  el ancho de la ranura en la correspondiente dirección, cumplirá:

Valor mínimo:  $s \geq 2 c$

Valor máximo:  $s \leq 30 e$

La distancia  $t$  de una ranura al borde, siendo  $c$  el ancho de la ranura en la correspondiente dirección, cumplirá:

Valor mínimo:  $t \geq c$

Valor máximo:  $t \leq 15 e$

si no hay soldadura de ángulo en el borde.

Si en los planos de taller figuran soldaduras de ranura que no cumplen estas prescripciones, debe consultarse antes de realizarlas.

No se permite rellenar con soldadura los agujeros practicados en las piezas por necesidades de ejecución.

**Tabla 5.2.3.A Valores límites de la garganta de una soldadura en ángulo en una unión de fuerza.**

| Espesor de la pieza<br>mm | Garganta $a$       |                    |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
|                           | Valor máximo<br>mm | Valor mínimo<br>mm |
| 4.0-4.2                   | 2.5                | 2.5                |
| 4.3-4.9                   | 3.0                | 2.5                |
| 5.0-5.6                   | 3.5                | 2.5                |
| 5.7-6.3                   | 4.0                | 2.5                |
| 6.4-7.0                   | 4.5                | 2.5                |
| 7.1-7.7                   | 5.0                | 3.0                |
| 7.8-8.4                   | 5.5                | 3.0                |
| 8.5-9.1                   | 6.0                | 3.5                |
| 9.2-9.9                   | 6.5                | 3.5                |
| 10.0-10.6                 | 7.0                | 4.0                |
| 10.7-11.3                 | 7.5                | 4.0                |
| 11.4-12.0                 | 8.0                | 4.0                |
| 12.1-12.7                 | 8.5                | 4.5                |
| 12.8-13.4                 | 9.0                | 4.5                |
| 13.5-14.1                 | 9.5                | 5.0                |
| 14.2-15.5                 | 10.0               | 5.0                |
| 15.6-16.9                 | 11.0               | 5.5                |
| 17.0-18.3                 | 12.0               | 5.5                |
| 18.4-19.7                 | 13.0               | 6.0                |
| 19.8-21.2                 | 14.0               | 6.0                |



|           |      |     |
|-----------|------|-----|
| 21.3-22.6 | 15.0 | 6.5 |
| 22.7-24.0 | 16.0 | 6.5 |
| 24.1-25.4 | 17.0 | 7.0 |
| 25.5-26.8 | 18.0 | 7.0 |
| 26.9-28.2 | 19.0 | 7.5 |
| 28.3-31.1 | 20.0 | 7.5 |
| 31.2-33.9 | 22.0 | 8.0 |
| 34.0-36.0 | 24.0 | 8.0 |

**Tabla 5.2.3.B Valores máximos de la garganta de una soldadura en ángulo en uniones de fuerza de los perfiles IPN, HEB, UPN, L, LD y T**

| <b>Perfiles<br/>IPN, HBE y T</b> | <b>Garganta a (fig.<br/>5.2.3.B) Valor<br/>máximo<br/>mm</b> | <b>Perfil UPN</b>                      | <b>Garganta a (fig.<br/>5.2.3.B) Valor<br/>máximo<br/>mm</b> | <b>Garganta a (fig.<br/>5.2.3.C) Valor<br/>máximo<br/>mm</b> |
|----------------------------------|--|--|--|--|
| IPN 80                           | 3.0  | UPN 80                                 | 4.0  | 6.5  |
| IPN 100                          | 3.5  | UPN 100                                | 4.5  | 7.0  |
| IPN 120                          | 4.0  | UPN120                                 | 4.5  | 7.5  |
| IPN 140                          | 4.0  | UPN 140                                | 5.0  | 8.5  |
| IPN 160                          | 4.5  | UPN 160                                | 5.5  | 9.0  |
| IPN 180                          | 5.0  | -                                      | -  | -  |
| -                                | -  | UPN 180                                | 5.5  | 9.5  |
| IPN 200                          | 5.5  | UPN 200                                | 6.0  | 10.0   |
| IPN 220                          | 6.5  | UPN 220                                | 6.0  | 11.0   |
| IPN 240                          | 6.5  | UPN 300                                | 9.0  | 12.0   |
| IPN 260                          | 7.0  | -                                      | -  | -  |
| IPN 280                          | 8.0  | -                                      | -  | -  |
| IPN 300                          | 8.0  | -                                      | -  | -  |
| IPN 320                          | 8.5  | -                                      | -  | -  |
| IPN 340                          | 9.5  | -                                      | -  | -  |
| IPN 360                          | 10.0   | -                                      | -  | -  |
| IPN 380                          | 10.0   | -                                      | -  | -  |
| IPN 400                          | 11.0   | -                                      | -  | -  |
| IPN 450                          | 13.0   | -                                      | -  | -  |
| IPN 500                          | 14.0   | -                                      | -  | -  |
| IPN 550                          | 15.0   | -                                      | -  | -  |
| IPN 600                          | 17.0   | -                                      | -  | -  |
| <b>Perfiles<br/>IPN, HBE y T</b> | <b>Garganta a (fig.<br/>5.2.3.B) Valor<br/>máximo<br/>mm</b> | <b>Perfiles<br/>L y LD<br/>e en mm</b> | <b>Garganta a (fig.<br/>5.2.3.B) Valor<br/>máximo<br/>mm</b> | <b>Garganta a (fig.<br/>5.2.3.D) Valor<br/>máximo<br/>mm</b> |
| HEB 140                          | 6.0  | 4                                      | 2.5  | 3.0  |
| HEB 160                          | 7.0  | 5                                      | 3.5  | 4.0  |
| HEB 180                          | 7.0  | 6                                      | 4.0  | 5.0  |

|          |     |    |      |      |
|----------|-----|----|------|------|
| HEB 200  | 8.0 | 7  | 4.5  | 5.5  |
| HEB 220  | 8.5 | 8  | 5.5  | 6.5  |
| -        | -   | 9  | 6.0  | 7.5  |
| T 40.5   | 3.5 | 10 | 7.0  | 8.0  |
| T 50.6   | 4.0 | 11 | 7.5  | 9.0  |
| T 60.7   | 4.5 | -  | -    | -    |
| T 70.8   | 5.5 | 12 | 8.0  | 10.0 |
| T 80.9   | 6.0 | 15 | 10.0 | 12.0 |
| T 100.11 | 7.5 | 16 | 11.0 | 13.0 |
|          |     | 18 | 12.0 | 15.0 |
|          |     | 20 | 14.0 | 16.0 |
|          |     | 24 | 16.0 | 20.0 |

Los valores de la garganta *a* para las almas y en los perfiles H para los bordes redondeados, las alas, son los definidos en la tabla 5.2.3.A.

Los valores de la tabla pueden dar lugar a módulos inferiores a los de los perfiles.

#### 5.2.4 Orden de ejecución de cordones y soldaduras en el soldeo manual

Cuando se realiza soldeo manual es importante el orden de ejecución de las soldaduras, y en algunas uniones el orden de ejecución de las soldaduras para atenuar las deformaciones y las tensiones residuales.

Se recomienda emplear, según los casos, el orden de ejecución que se describe a continuación.

##### **Soldadura de varios cordones**

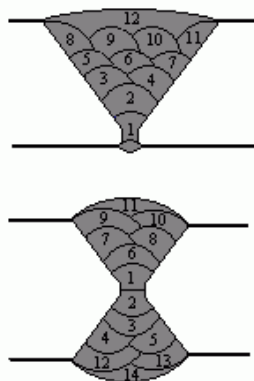
Se recomienda que una soldadura con varios cordones se realice depositando éstos en el orden indicado en la figura 5.2.4.A. El último cordón conviene que sea ancho para que la superficie de la soldadura sea lisa.

Realizando cordones de toda la anchura del chaflán, éstos forman capas sucesivas, de borde a borde, y se depositarán de modo análogo al indicado.

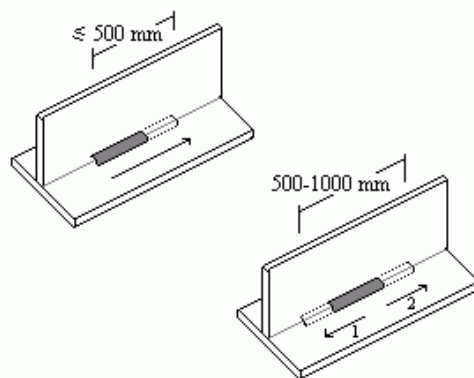
##### **Soldaduras continuas**

Cuando la longitud de la soldadura no sea mayor que 500 mm, se recomienda que cada cordón se comience por un extremo y se siga hasta el otro (figura 5.2.4.B), sin más interrupción que la necesaria para el cambio de electrodos. Cuando la longitud esté comprendida entre 500 mm y 1000 mm, se recomienda comenzar por el centro. Si se efectúa por un soldador, se realizará primeramente el cordón 1 y después el cordón 2. Si operan dos soldadores, se realizarán simultáneamente.

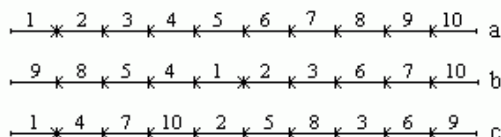
Se recomienda que las soldaduras de longitud mayor que 1000 mm se realicen a paso de peregrino, de tal modo que cada cordón parcial, cuya longitud debe ser la correspondiente al material depositado con un electrodo, termine donde comenzó el cordón parcial anteriormente ejecutado.



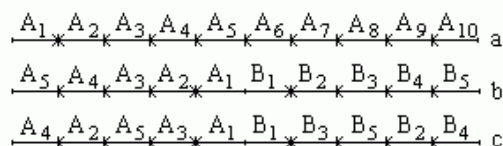
**Figura 5.2.4.A.- Soldadura de varios cordones**



**Figura 5.2.4.B.- Ejecución de soldaduras**

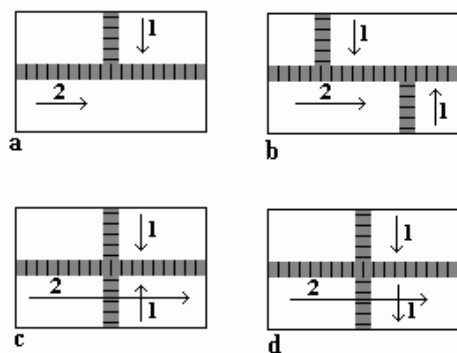


**Figura 5.2.4.C.- Soldadura a paso de peregrino con un soldador**

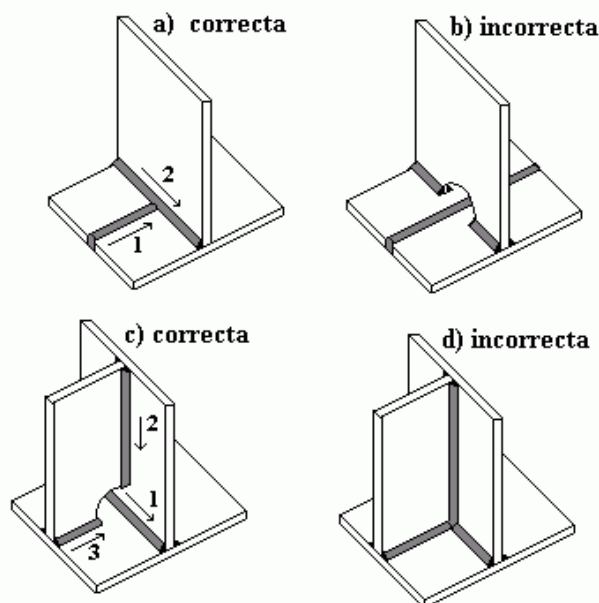


**Figura 5.2.4.D.- Soldadura a paso de peregrino con dos soldadores**

Operando un soldador, puede realizarse comenzando por un extremo (figura 5.2.4.C.a), por el centro (figura 5.2.4.C.b), o en puntos intermedios (figura 5.2.4.C.c). Operando varios soldadores, pueden utilizarse los mismos sistemas (figura 5.2.4.D).



**Figura 5.2.4.E.- Uniones planas con soldadura que se cruzan**



**Figura 5.2.4.F.- Uniones en ángulo con soldaduras que se cruzan**

### **Unión con soldaduras que se cruzan**

Se recomienda ejecutar primeramente las soldaduras transversales (figura 5.2.4.E), sanear y preparar a continuación los bordes de éstas en sus zonas extremas y, finalmente, realizar la soldadura longitudinal.

### **Unión en ángulo con soldaduras que se cruzan**

En la unión en ángulo de una chapa (alma) a otras soldaduras a tope (alas) se seguirá la disposición y el orden de la figura 5.2.4.F.a. La disposición de la figura 5.2.4.F.b es perjudicial por el efecto de entalladura en el agujero del alma. En la unión del ángulo de una chapa con otras dos soldaduras en ángulo, caso de los rigidizadores de las vigas armadas, se recomienda la solución de la figura 5.2.4.F.c, salvo el caso de elemento importante sometido a tracción en que no es recomendable la soldadura transversal 3. La disposición de la figura 5.2.4.F.d es incorrecta.

### **5.2.5 Preparación de bordes en soldaduras a tope**

La preparación de los bordes de las chapas y perfiles a unir con soldadura a tope por arco tiene por objeto asegurar la completa penetración y facilitar el soldeo, para conseguir una soldadura sana con la mínima cantidad de metal de aportación. En la elección del tipo de preparación de bordes influyen factores tecnológicos: forma de la unión, clase del metal de base, espesor de las piezas, procedimientos de soldeo, deformación admisible en las piezas, etc., y también factores económicos: coste de la preparación y consumo de metal de aportación.

Una correcta elección del tipo de preparación de bordes, en cada caso, sólo puede realizarla un técnico experimentado. Para facilitar su labor se describen a continuación los tipos más recomendables en uniones de fuerza y en las tablas 5.2.5.A y 5.2.5.B se recogen indicaciones sobre su empleo.

#### ***Empleo de chapa dorsal***

En las uniones de fuerza, para conseguir la penetración completa exigida, es necesario el soldeo por ambas caras, saneando la raíz de la soldadura efectuada por la primera cara, antes de realizar el soldeo por la segunda, que en algunos casos se limita solamente a un cordón de cierre.

Cuando solamente es accesible por una cara, para conseguir la penetración completa se puede utilizar, con varios tipos de preparación de bordes, una chapa dorsal, de acero, de la misma clase que el de las piezas a unir, o de cobre, o emplear otros procedimientos.

La chapa dorsal de acero queda unida a la soldadura, y tiene el inconveniente de que pueden producirse efectos de entalladura en la zona de la raíz, por lo que no es unión apta para sollicitaciones de fatiga. Si se emplea en uniones a la intemperie o en ambientes agresivos, se tomarán precauciones para evitar la corrosión entre la chapa dorsal y el perfil. Para que la soldadura sea perfecta es necesario un buen ajuste entre la chapa dorsal y las piezas que se van a unir. La chapa dorsal de cobre se quita al terminar la operación. Hay que utilizarla con la precaución de no cebar el arco en el cobre, para que no se produzcan inclusiones de cobre que son causa de fisuras.

#### ***Bordes escuadrados***

La soldadura con bordes simplemente escuadrados es la que resulta más económica en operaciones de preparación y en cantidad de metal de aportación. Con soldeo manual desde ambas caras puede emplearse en piezas de pequeño espesor, hasta 6,5 mm con electrodo normal, hasta 10 mm con electrodo de gran penetración y con soldeo automático por arco sumergido en espesores hasta 16 mm, o más si se emplea corriente continua en lugar de corriente alterna.

#### ***Preparación en V***

Biselado plano de las piezas en una de las aristas de borde. La sección recta del chaflán tiene forma de V.

Esta preparación, con soldeo por una sola cara y un cordón dorsal de toma de raíz, produce soldaduras de penetración completa que no pueden conseguirse fácilmente con bordes escuadrados. Se emplea para espesores no menores que 20 mm. Para espesores mayores, con soldeo por un solo lado, es más conveniente la preparación en U que se encuentra más adelante.

Tiene el inconveniente de producir apreciable deformación angular por su asimetría, que debe contrarrestarse mediante presentación falseada de las piezas. Generalmente el biselado es simétrico, pero puede convenir hacerlo asimétrico para soldaduras con posición en cornisa y en algún otro caso de posición difícil. Se emplea preparación en V unilateral, con biselado de una sola pieza, para soldadura de piezas en L o en T.

#### ***Preparación en U***

Biselado cóncavo de las piezas en una de las aristas de borde. La sección recta del chaflán tiene forma de U.

Tiene el mismo fin que la preparación en V, con la ventaja de que es más estrecho el chaflán en su parte superior, y por tanto se requiere menor cantidad de metal de aportación, y las deformaciones son menores, por lo que se emplea en soldaduras para espesores mayores de 20 mm. Requiere también cordón de toma de raíz.

Cuando se bisela sólo una pieza, puede denominarse preparación en J, y se emplea con el mismo fin para soldadura de piezas en L y en T.

#### ***Preparación en X***

Biselado plano de las piezas en las dos aristas de borde. La sección recta del chaflán tiene forma de X.

Esta preparación, con soldeo por ambas caras, produce soldaduras de penetración completa, simétrica y, por

conseguido, con mínima deformación angular. Puede emplearse para espesores de hasta 40 mm, y la cantidad de metal de aportación que requiere es menor que en las preparaciones en V o en U.

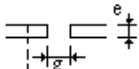

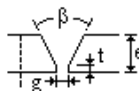
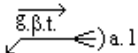
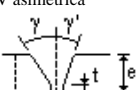
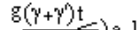
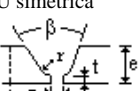
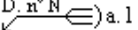
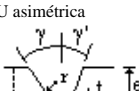
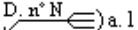
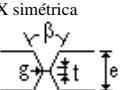


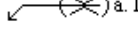
Generalmente el biselado es simétrico, pero puede convenir hacerlo asimétrico para soldaduras con posición en cornisa y en algún otro caso de posición difícil. Cuando se bisela una sola pieza, puede denominarse preparación en K y se emplea con el mismo fin para las soldaduras de pieza en L y en T.

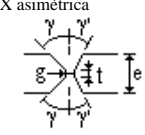
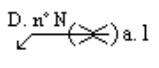
### Preparaciones mixtas

El técnico que proyecta las preparaciones elige a veces preparaciones dobles con varios biselos de los anteriormente indicados para aprovechar las ventajas de cada uno: economía, comodidad de soldeo, facilidad de ejecución de la toma de raíz, etc.

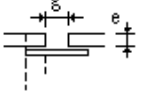
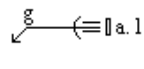
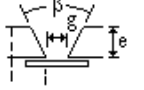
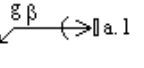
**Tabla 5.2.5.A Uniones a tope de fuerza con soldeo por arco**

I AMBAS CARAS ACCESIBLES. Se suelda por ambas caras al menos con un cordón de toma de raíz.

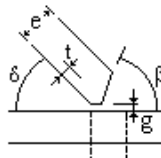
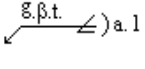
| Tipo de preparación   | Notación<br>Dimensiones en mm<br>o grados  | Ambito de uso                         |                                      | Recomendaciones para su ejecución  |                    |      |      |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------|------|------|---------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|---|----------------------------|
|   |  | Posición<br>de soldeo<br>(fig. 5.2.7) | Espesor<br>de la<br>chapa e<br>en mm | Electrodos<br>-N normal<br>-G de gran<br>penetración   | Separación g en mm |      |      | Talón<br>t en<br>mm | Radio<br>r en<br>mm | Ángulos                   |                          |   |                            |
|   |  |                                       |                                      |  | Mín.               | Opt. | Máx. |                     |                     | Delante<br>β en<br>grados | Detrás<br>β en<br>grados | Superior<br>γ en<br>grados              | Interior<br>γ en<br>grados |
| Bordes escuadrados<br> |  a. 1   | H                                     | 4-5                                  | N Ø 3.2  | 0.0                | 1.0  | 2.5  | -                   | -                   | -                         | -                        | -                                       | -                          |
|   | >5-6.5   |                                       | N Ø 3.2-4                            | 1.5  | 2.0                | 3.0  |      |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   | 6.5-10   |                                       | G Ø 3.2 a 5                          | 0.0  | 1.0                | 2.0  |      |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  | C,V                                   | 4.0-5.0                              | N Ø 3.2  | 1.5                | 2.0  | 2.5  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
| V simétrica<br>      |  a. 1 | H                                     | 5-10                                 | N primer<br>cordón:<br>Ø 3.2<br>sucesivos:<br>Ø 4 a 8  | 1.5                | 2.0  | 2.5  | 0-3                 | -                   | 60°                       | -                        | -                                       | -                          |
|   |  |                                       | >10-15                               |  | 1.5                | 2.0  | 3.0  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  |                                       | >15-20                               |  | 1.5                | 2.5  | 3.5  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  | C                                     | 5-10                                 |  | 1.0                | 1.5  | 2.5  | 0-3                 | -                   | 70°                       | -                        | -                                       | -                          |
|   |  |                                       | >10-20                               |  | 1.5                | 2.0  | 3.0  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  |                                       | 5-10                                 |  | 2.0                | 2.5  | 3.0  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  | V                                     | >10-15                               |  | 2.0                | 3.0  | 4.0  | 0-3                 | -                   | 60°                       | -                        | -                                       | -                          |
|   |  |                                       | >15-20                               |  | 2.0                | 3.5  | 5.0  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
| V asimétrica<br>     |  a. 1 | C                                     | 5-10                                 | N primer<br>cordón:<br>Ø 3.2<br>sucesivos:<br>Ø 4 a 8  | 1.0                | 1.5  | 2.5  | 1.5-<br>2.5         | -                   | 55°                       | -                        | 40°-45°                                 | 15°-10°                    |
| V unilateral<br>en tabla 5.2.5.B  |  |                                       | >10-20                               |  | 1.5                | 2.0  | 3.0  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
| U simétrica<br>      |  a. 1 | H                                     | >20-40                               | N primer<br>cordón:<br>Ø 4 a 6<br>sucesivos:<br>Ø 6 a 8  | -                  | 0.0  | 3.5  | 2-3                 | 6                   | 20°                       | -                        | -                                       | -                          |
|   |  | C                                     | >20-40                               |  | -                  | 0.0  | 4.0  | 2-3                 | 7                   | 40°                       |                          |   |                            |
|   |  | V                                     | >20-40                               |  | -                  | 0.0  | 4.0  | 2-3                 | 7                   | 30°                       |                          |   |                            |
| U asimétrica<br>     |  a. 1 | C                                     | >20-40                               | N primer<br>cordón:<br>Ø 4 a 6<br>sucesivos:<br>Ø 6 a 8  | -                  | 0.0  | 3.5  | 2-3                 | 7                   | 35°                       | -                        | 25°-30°                                 | 10°-5°                     |
| X simétrica<br>      |  a. 1 | H                                     | >15-40                               | N primer<br>cordón:<br>Ø 3.2<br>sucesivos:<br>Ø 4 a 8  | 2.0                | 3.0  | 4.0  | 0-3                 | -                   | 60°                       | 60°                      | -                                       | -                          |
|   |  | C                                     | >15-40                               |  | 2.0                | 2.5  | 3.5  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  | V                                     | >15-20                               |  | 3.0                | 3.5  | 4.5  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
|   |  |                                       | >20-40                               |  | 3.5                | 4.0  | 6.0  |                     |                     |                           |                          |   |                            |
| X irregular<br>      |  a. 1 | H                                     | >15-40                               | Recomendaciones como en X simétrica.<br>Para que el volumen de soldadura sea igual:<br>d=e/2+2 en ambas caras después del saneado de raíz:<br>d'=e/2-2 |                    |      |      |                     |                     | 60°                       | 60°                      | --                                      | -                          |
|   |  | C                                     |                                      |  |                    |      |      |                     |                     | 60°                       | 60°-70°                  | Para facilitar el<br>saneado de la raíz |                            |
|   |  | V                                     |                                      | Para que el volumen de soldadura a realizar:<br>d=2/3e detrás sea menor, si su posición es<br>desfavorable:<br>d'=1/3e                                 |                    |      |      |                     |                     | 60°                       | 90°                      |   |                            |

|  |   |   |        |   |     |     |     |     |   |     |     |        |         |
|--|---|---|--------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|--------|---------|
| X asimétrica<br><br>K en tabla 5.2.5.B |  | C | >15-40 | N primer<br>cordón:<br>Ø 3.2<br>sucesivos:<br>Ø 4 a 8 | 2.0 | 2.8 | 3.5 | 0-3 | - | 55° | 55° | 40-45° | 15°-10° |
|--|---|---|--------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|--------|---------|

II SOLO UNA CARA ACCESIBLE. Se realiza mediante chapa dorsal en la cara inaccesible

| Tipo de preparación  | Notación<br>Dimensiones en mm o<br>grados  | Ámbito de uso                         |                                      | Recomendaciones para su ejecución                    |                       |      |      |                     |                     |                           |  |                            |                             |
|--|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------|------|------|---------------------|---------------------|---------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|
|  |  | Posición de<br>soldeo (fig.<br>5.2.7) | Espesor<br>de la<br>chapa e<br>en mm | Electrodos<br>-N normal<br>-G de gran<br>penetración | Separación g en<br>mm |      |      | Talón<br>t en<br>mm | Radio<br>r en<br>mm | Ángulos                   |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | Mín.                  | Opt. | Máx. |                     |                     | Delante<br>β en<br>grados | Detrás<br>β' en<br>grados  | Superior<br>γ en<br>grados | Interior<br>γ' en<br>grados |
| <b>Bordes escuadrados</b><br>   |   | Todas                                 | 4-5                                  | N Ø 3.2  | ≥ 7                   |      |      | -                   | -                   | -                         | -  | -                          | -                           |
|  |  | H                                     | >5-8                                 | N Ø 3.2 a 5  | ≥ 8                   |      |      |                     |                     |                           |  |                            |                             |
|  |  | H                                     | 5-6.5                                | G Ø 3.2  | 0 a 2                 |      |      |                     |                     |                           |  |                            |                             |
|  |  |                                       | >6.5-8                               | G Ø 3.2 a 5  | 1.5 a 3               |      |      |                     |                     |                           |  |                            |                             |
| <b>V simétrica</b><br><br><br>La primera capa puede realizarse con un solo cordón (1C) o, en ciertos casos, con dos cordones contiguos (2C) | <br><br>Se ha indicado la notación para soldaduras con caras convexas: )<br>Si una cara, o ambas, deben ser aplanadas, se representará con la notación: I | H                                     | 5-40                                 | NØ 4 ± 11C   | ≥ 6±1                 |      |      | 0                   | -                   | 45°                       | El ángulo del electrodo con la normal a la chapa no será nunca menor que 30° |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 7±1                 |      |      | 0                   | -                   | 30°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 8±1                 |      |      | 0                   | -                   | 20°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      | N Ø 4 ± 12C  | ≥ 9±2                 |      |      | 0                   | -                   | 45°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 10±2                |      |      | 0                   | -                   | 30°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 11±2                |      |      | 0                   | -                   | 20°                       |  |                            |                             |
|  |  | C                                     | 5-40                                 | NØ 4 ± 11C   | 4 a 6                 |      |      | 0                   | -                   | 45°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      | NØ 4 ± 12C   | ≥ 10±2                |      |      | 0                   | -                   | 45°                       |  |                            |                             |
|  |  | V                                     | 5-40                                 | NØ 4 ± 11C   | ≥ 7±1                 |      |      | 0                   | -                   | 45°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 8±1                 |      |      | 0                   | -                   | 30°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 9±1                 |      |      | 0                   | -                   | 20°                       |  |                            |                             |
|  |  |                                       |                                      |  | ≥ 6±1                 |      |      | 0                   | -                   | 45°                       |  |                            |                             |

**Tabla 5.2.5.B Uniones en T a tope de fuerza con soldeo por arco**  
I AMBAS CARAS ACCESIBLES. Se suelda por ambas caras al menos con un cordón de toma de raíz.

| Tipo de preparación   | Notación<br>Dimensiones en mm o<br>grados | Ámbito de uso             |                                 |                             | Recomendaciones para su ejecución |                    |      |      |               |               |                           |                           |
|---|---|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------|------|------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
|   |   |                           |                                 |                             | Electrodos                        | Separación g en mm |      |      | Talón t en mm | Radio r en mm | Ángulos                   |                           |
|   |   | Ángulo $\delta$ en grados | Posición de soldeo (fig. 5.2.7) | Espesor de la chapa e en mm |                                   | Mín                | Opt. | Máx. |               |               | Delante $\beta$ en grados | Detrás $\beta'$ en grados |
| V unilateral<br><br><br>Si $\delta > 30^\circ$ se realiza soldadura en ángulo<br> |   | 90°                       | H,C                             | 5-15                        | Primer<br>cordón:<br>Ø 3.2        | 1.5                | 2.0  | 3.0  | 1.2-2.5       | -             | 50°                       | -                         |
|   |   |                           | V                               | 5-15                        |                                   | 2.0                | 3.0  | 4.0  | 1.2-2.5       | -             | 50°                       |                           |
|   |   | 70°                       | H,C                             | 5-15                        |                                   | 1.5                | 2.0  | 3.0  | 1-2           | -             | 50°                       |                           |
|   |   |                           | V                               | 5-15                        |                                   | 2.0                | 3.0  | 4.0  | 1-2           | -             | 50°                       |                           |
|   |   | 50°                       | H,C                             | 5-15                        |                                   | 1.5                | 2.0  | 3.0  | 0-1.5         | -             | 60°                       |                           |
|   |   |                           | V                               | 5-15                        |                                   | 2.0                | 3.0  | 4.0  | 0-1.5         | -             | 60°                       |                           |
|   |   | 30°                       | H,C                             | 5-15                        |                                   | 1.5                | 2.0  | 3.0  | 0             | -             | 70°                       |                           |
|   |   |                           | V                               | 5-15                        |                                   | 2.0                | 3.0  | 4.0  | 0             | -             | 70°                       |                           |
| J   |   | 90°                       | H                               | >15-40                      | Primer<br>cordón:<br>Ø 5          | 0.0                | 2.5  | 3.5  | 2-3           | 12            | 15°-25°                   |                           |
|   |   |                           | C,V                             | >15-40                      |                                   | 0.0                | 3.0  | 4.0  | 2-3           | 15            | 35°                       |                           |
|   |   | 70°                       | H                               | >15-40                      |                                   | 0.0                | 2.5  | 3.5  | 2-3           | 12            | 30°                       |                           |
|   |   |                           |                                 |                             |                                   |                    |      |      |               |               |                           |                           |
|   |   |                           |                                 |                             |                                   |                    |      |      |               |               |                           |                           |

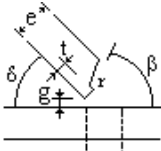
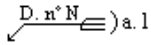
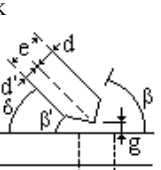
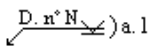
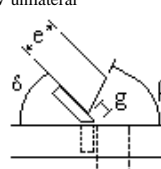
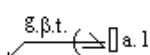
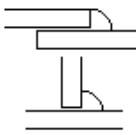
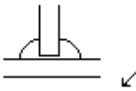
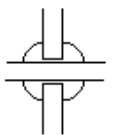
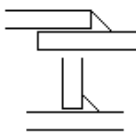

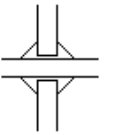
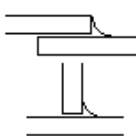

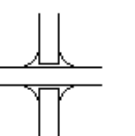
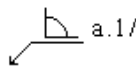
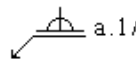
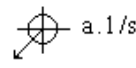
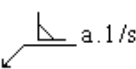
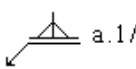
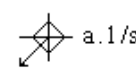
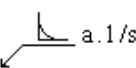
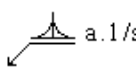
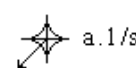
|    |   |                                 | C,V   | >15-40                               | Sucesivos:<br>Ø 5 a 8   | 0.0                   | 3.0 | 4.0  | 2-3                 | 15               | 35°                             | -                               |         |   |
|--|---|---------------------------------|---|--------------------------------------|---|-----------------------|-----|------|---------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------|---|
|  <p>Si <math>\delta \geq 50^\circ</math><br/>preparación en J</p>   |    | 50°                             | H   | >15-40                               |   | 0.0                   | 2.5 | 3.5  | 2-3                 | 12               | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 | C,V   | >15-40                               |   | 0.0                   | 3.0 | 4.0  | 2-3                 | 15               | 40°                             | -                               |         |   |
|  |   | 30°                             | H   | >15-40                               |   | 0.0                   | 2.5 | 3.5  | 2-3                 | 12               | 40°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 | C,V   | >15-40                               |   | 0.0                   | 3.0 | 4.0  | 2-3                 | 15               | 40°                             | -                               |         |   |
|  |   | 90°                             | H,C   | >15-40                               | Primer<br>cordón:<br>Ø 3.2  | 2.0                   | 3.0 | 4.0  | 0                   | -                | 50°                             | 50°                             |         |   |
|  |   | d=0.5e                          | V   | >15-20                               |   | 3.0                   | 3.5 | 4.5  | 0                   | -                | 50°                             | 50°                             |         |   |
|  |   | d'=0.5e                         |   | >20-40                               |   | 3.5                   | 4.0 | 6.0  | 0                   | -                | 50°                             | 50°                             |         |   |
|  |   | 70°                             | H,C   | >15-40                               |   | 2.0                   | 3.0 | 4.0  | 0                   | -                | 50°                             | 50°                             |         |   |
|  |   | d=0.7e                          | V   | >15-20                               |   | 3.0                   | 3.5 | 4.5  | 0                   | -                | 50°                             | 50°                             |         |   |
|  |   | d'=0.3e                         |   | >20-40                               | Sucesivos:<br>Ø 4 a 8   | 3.5                   | 4.0 | 6.0  | 0                   | -                | 50°                             | 50°                             |         |   |
| 50°  | H,C   | >15-40                          | 2.0   | 3.0                                  |   | 4.0                   | 0   | -    | 60°                 | 50°              |                                 |                                 |         |   |
| d=e  | V   | >15-20                          | 3.0   | 3.5                                  |   | 4.5                   | 0   | -    | 60°                 | 50°              |                                 |                                 |         |   |
| d'=0   |   | >20-40                          | 3.5   | 4.0                                  |   | 6.0                   | 0   | -    | 60°                 | 50°              |                                 |                                 |         |   |
| II SOLO UNA CARA ACCESIBLE. Se realiza mediante chapa dorsal en la cara inaccesible  |   |                                 |   |                                      |   |                       |     |      |                     |                  |                                 |                                 |         |   |
| Tipo de preparación  | Notación<br>Dimensiones en mm o<br>grados   | Ambito de uso                   |   |                                      | Recomendaciones para su ejecución   |                       |     |      |                     |                  |                                 |                                 |         |   |
|  |   | Ángulo $\delta$<br>en<br>grados | Posición<br>de<br>soldeo<br>(fig.<br>5.2.7) | Espesor<br>de la<br>chapa e<br>en mm | Electrodos  | Separación g en<br>mm |     |      | Talón<br>t en<br>mm | Radio r<br>en mm | Ángulos                         |                                 |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | Mín                   | Opt | Máx. |                     |                  | Delante<br>$\beta$ en<br>grados | Detrás<br>$\beta'$ en<br>grados |         |   |
|  <p>V unilateral</p> <p>La primera capa puede realizarse con un solo cordón (1C) o en ciertos casos con dos cordones contiguos (2C).<br/>Si <math>\delta &lt; 30^\circ</math>, se realiza soldadura en ángulo</p> |  <p>Se ha indicado la notación para soldaduras con caras convexas: )<br/>Si una cara, o ambas, deben ser aplanadas se representará con la notación : l</p> | 90°                             | H   | 5-40                                 | Ø 4±1 1C  | $\geq 6\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 45°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 7\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 8\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 25°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      | Ø 4±1 2C  | $\geq 9\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 45°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 10\pm 1$        |     |      | 0                   | -                | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 11\pm 1$        |     |      | 0                   | -                | 25°                             | -                               |         |   |
|  |   | 90°                             | C   | 5-40                                 | Ø 4±1 1C  | $\geq 4$ a 6          |     |      | 0                   | -                | 45°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 5$ a 7          |     |      | 0                   | -                | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      | Ø 4±1 2C  | $\geq 9\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 45°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 10\pm 1$        |     |      | 0                   | -                | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 11\pm 1$        |     |      | 0                   | -                | 25°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 | V   | 5-40                                 | Ø 4±1 1C  | $\geq 8\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 45°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 9\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 10\pm 1$        |     |      | 0                   | -                | 25°                             | -                               |         |   |
|  |   | 90°                             | T   | 5-40                                 | Ø 4±1 2C  | $\geq 6\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 45°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   | $\geq 7\pm 1$         |     |      | 0                   | -                | 35°                             | -                               |         |   |
|  |   |                                 |   |                                      |   |                       |     |      |                     |                  |                                 |                                 |         |   |
|  |   | 70°                             | H,C<br>V,T                                  | 5-40                                 | Los valores del correspondiente caso para $\delta = 90^\circ$ ,<br>con valores de $\beta$ que no rebasen los indicados. |                       |     |      |                     |                  |                                 |                                 | 30°-45° | - |
|  |   | 50°                             | H,C<br>V,T                                  | 5-40                                 |   |                       |     |      |                     |                  |                                 |                                 | 35°-45° | - |
|  |   | 30°                             | H,C<br>V,T                                  | 5-40                                 |   |                       |     |      |                     |                  |                                 |                                 | 40°-45° | - |

Tabla 5.2.5.C Soldaduras de ángulo en rincón, en solape y en esquina

| Tipo de soldadura | Notación | Dimensiones en mm |           |
|-------------------|----------|-------------------|-----------|
|                   | Simple   | Doble             | Cuádruple |

|                         |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|
| Continua<br>convexa     |   |  |   |
| Continua<br>aplanada    |  |  |  |
| Continua<br>cóncava     |  |  |  |
| Discontinua<br>convexa  |  |  |  |
| Discontinua<br>aplanada |  |  |  |
| Discontinua<br>cóncava  |  |  |  |

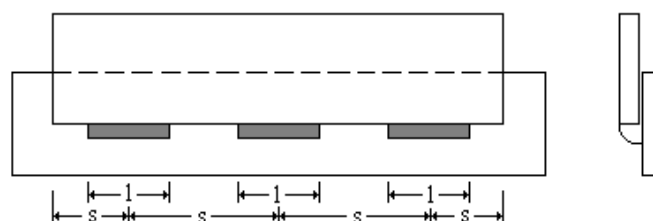
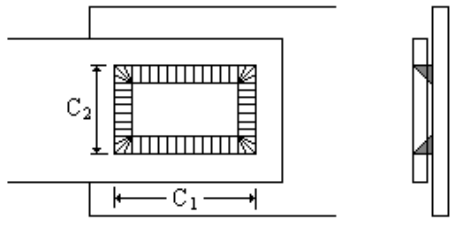
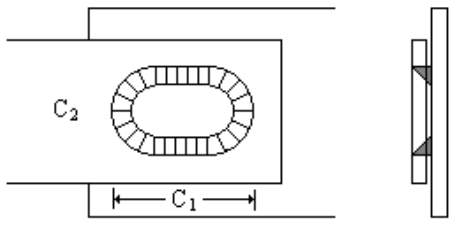
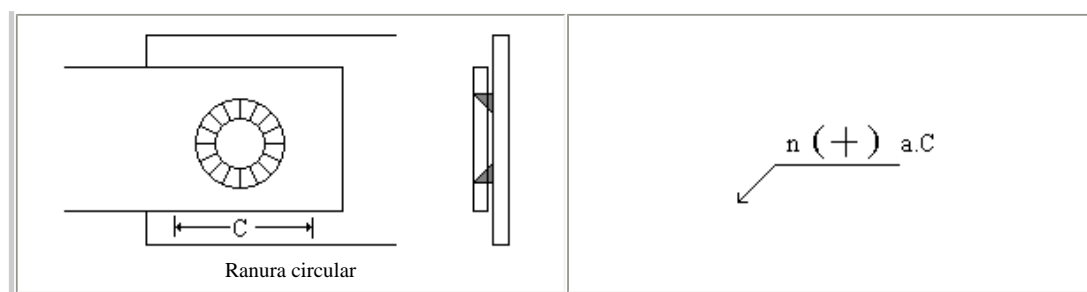


Tabla 5.2.5.D Soldaduras de ángulo en ranura

| Tipo de ojal  | Notación   |  |
|---|--|--|
|   | Dimensiones en mm  |  |
| <br>Ranura rectangular | $n = \text{número de ojales}$<br>$n \left[ \text{---} \right] a.C_1.C_2$ |  |
| <br>Ranura ovalada     | $n \left( \text{---} \right) a.C_1.C_2$                                  |  |





### 5.2.6 Deformaciones y tensiones residuales

Toda soldadura experimenta durante su enfriamiento contracciones longitudinales y transversales.

La magnitud de estas contracciones es tanto mayor cuanto mayor es la sección de la soldadura y más lenta la aportación de calor en el soldeo, o sea, la velocidad de fusión del electrodo. Depende también esta magnitud del número, forma y orden de depósito de los cordones de la soldadura, de la posición de soldeo y de otras circunstancias.

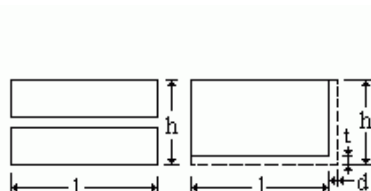
Estas contracciones producen en las piezas deformaciones y tensiones residuales que hay que prever antes de la ejecución, para que los elementos después de soldados cumplan las exigencias dimensionales de los planos, evitando, si es posible, recurrir para ello a operaciones de enderezado, corte o recocido, que encarecen la ejecución.

En el proyecto deben estudiarse las disposiciones de las uniones, de tal modo que las tensiones residuales inevitables que proceden de las deformaciones coartadas en las soldaduras, al combinarse con las originadas por las cargas, no den lugar a estados tensionales que resulten peligrosos. Igualmente figurarán en el proyecto, cuando sea preciso, los procedimientos de atenuación de tensiones residuales: recocido, calentamiento previo, etc.

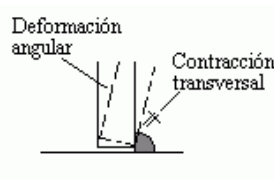
#### Deformaciones lineales

La deformación lineal  $d$  inducida por la contracción longitudinal de la soldadura en dos piezas soldadas a tope (figura 5.2.6.A) suele estar comprendida entre el 1 y el 6 por 1000 de la longitud de la soldadura.

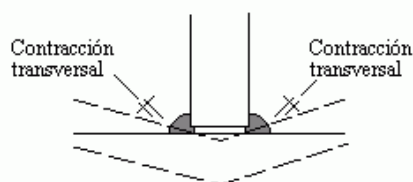
La deformación lineal  $t$ , causada por la contracción transversal, suele estar comprendida entre 1 y 4 mm.



**Figura 5.2.6.A.- Deformaciones lineales por la soldadura**



**Figura 5.2.6.B.- Deformaciones angulares por la soldadura**



**Figura 5.2.6.C.- Abarquillamiento por una soldadura en ángulo doble**

#### Deformaciones angulares

Las soldaduras de ángulo (figura 5.2.6.B, a), y en general todas las asimétricas (figura 5.2.6.B, b), producen deformaciones angulares por la diferente contracción transversal de las capas de metal aportado, modificándose los ángulos con que se hayan colocado las piezas.

Cuando los giros están coartados, suelen producirse abarquillamientos o alabeos en las piezas unidas (figura 5.2.6.C).

### **Atenuación de las tensiones**

Para conseguir una soldadura con coacciones mínimas y reducir tensiones residuales al mínimo posible se seguirán los principios fundamentales siguientes: Principio de simetría. El volumen de metal depositado tendrá en todo momento la máxima simetría posible.

Principio de libertad. Las piezas que se vayan a soldar se dispondrán de tal modo que puedan seguir los movimientos producidos en el soldeo con la máxima libertad posible.

Principio de accesibilidad. El soldador tendrá en todo momento acceso fácil y posición óptima de trabajo, para asegurar el depósito limpio y perfecto del material de aportación.

Principio de enfriamiento. La disposición de las piezas y el orden de los cordones será tal que se reduzca al mínimo la acumulación de calor en zonas locales.

### **Aminoración de las deformaciones angulares**

Las deformaciones angulares pueden contrarrestarse mediante la presentación falseada de las piezas, de tal modo que, una vez ejecutada la soldadura, éstas queden en la posición correcta.

Los abarquillamientos o alabeos pueden evitarse mediante la previa deformación de las piezas que se van a unir.

### **Corrección de las deformaciones**

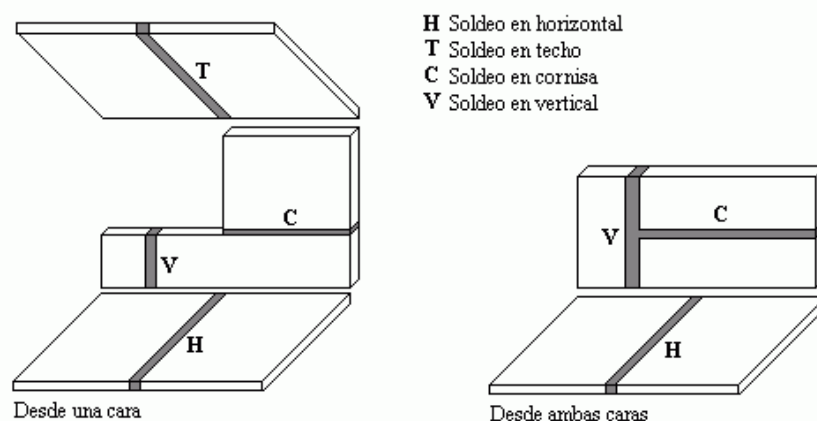
A pesar de las precauciones adoptadas, las deformaciones pueden resultar mayores que las tolerancias correspondientes.

Estas deformaciones se corregirán en frío, con prensa o máquina de rodillos, sometiendo después las piezas a un cuidadoso examen, para asegurarse de que no han aparecido fisuras en el metal de aportación o en la zona de transición del metal base.

### **5.2.7 Calificación de las soldaduras**

Tiene importancia fundamental en la ejecución de las soldaduras la capacitación profesional de los operarios que realicen los trabajos de soldeo, que acreditarán mediante examen y calificación, realizados por un inspector aceptado por el director de la obra (UNE-EN 287-1 93).

Según la calificación del operario se le recomendarán soldaduras en las siguientes posiciones (figura 5.2.7):



**Figura 5.2.7.- Posición de soldeo**

## 5.3 Ejecución en taller

### 5.3.1 Planos de taller

Para la ejecución de toda estructura metálica, el constructor, basándose en los planos del proyecto, realizará los planos de taller precisos para definir completamente todos los elementos de aquélla.

#### ***Cotas de replanteo***

El constructor comprobará en obra las cotas de replanteo de la estructura para la realización de los planos de taller.

#### ***Contenido de los planos de taller***

Los planos de taller contendrán en forma completa:

- a) Las dimensiones necesarias para definir inequívocamente todos los elementos de la estructura.
- b) Las contraflechas de vigas, cuando estén previstas.
- c) La disposición de las uniones, incluso las provisionales de armado, distinguiendo las dos clases: de fuerza y de atado.
- d) El diámetro de los agujeros de roblones y tornillos, con indicación de la forma de mecanizado.
- e) Las clases y diámetros de roblones y tornillos.
- f) La forma y dimensiones de las uniones soldadas, la preparación de los bordes, el procedimiento, métodos y posiciones de soldeo, los materiales de aportación y el orden de ejecución.
- g) Las indicaciones sobre mecanizado o tratamiento de los elementos que lo precisen.

Todo plano de taller llevará indicados los perfiles, las clases de

los aceros, los pesos y las marcas de cada uno de los elementos de la estructura representados en él.

### ***Revisión de los planos de taller***

El constructor, antes de comenzar la ejecución en taller, entregará dos copias de los planos de taller al director de la obra, quien los revisará y devolverá una copia autorizada con su firma en la que, si se precisan, señalará las correcciones que deben efectuarse. En este caso, el constructor entregará nuevas copias de los planos de taller corregidos para su aprobación definitiva.

### ***Modificaciones en los planos de taller***

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

Si durante la ejecución fuese necesario introducir modificaciones de detalle respecto a lo definido en los planos de taller, se harán con la aprobación de director de la obra, y se anotará en los planos de taller todo lo que se modifique.

## **5.3.2 Plantillaje**

Se trazarán las plantillas a tamaño natural de todos los elementos que lo precisen, especialmente las de los nudos y las de las cartelas de unión, basándose en los planos de taller. Cada plantilla llevará la marca de identificación del elemento a que corresponde y los números de los planos de taller en que se define. Sobre ella se indicarán los diámetros definitivos de los agujeros y su posición exacta. Esta exigencia no es precisa cuando se utilicen máquinas de oxicorte automáticas que trabajan sobre plantillas a escala reducida.

### ***Trazado***

El trazado de las plantillas se realizará por personal especializado, ajustándose a las cotas de los planos de taller, con las tolerancias fijadas en el proyecto o, en su defecto, con las indicadas en 5.5.

### ***Material para el plantillaje***

Las plantillas se realizarán en material que no sufra fácilmente deformaciones ni deterioros durante su manejo.

### **5.3.3 Preparación, enderezado y conformación**

Estas operaciones se realizarán antes del marcado de ejecución, con objeto de que todos los productos tengan la forma exacta, recta o curva, deseada:

#### ***Preparación***

En cada uno de los productos se procederá a:

Eliminar aquellos defectos de laminación, que, por su pequeña importancia, no hayan sido causa de rechazo.

Suprimir las marcas de laminación en relieve en aquellas zonas que hayan de entrar en contacto con otro producto en las uniones de la estructura.

Eliminar todas las impurezas que lleven adheridas. La cascarilla de laminación fijamente unida no necesita ser eliminada, a menos que se indique expresamente en el proyecto.

#### ***Enderezado***

La operación de enderezado en los perfiles y la de planeado en las chapas se realizarán preferentemente en frío, mediante prensa o máquina de rodillos. Si por excepción se realizan en caliente, se seguirán las prescripciones dadas más adelante para operaciones en caliente.

#### ***Conformación***

Las operaciones de plegado o curvado se realizarán preferentemente en frío. No es admisible que aparezcan en el producto abolladuras a causa de las compresiones, ni grietas debidas a las tracciones, que en la conformación se originen. Si el plegado es muy acusado, se recomienda el recocido posterior de la pieza. Si por excepción se realizan en caliente, se seguirán las prescripciones dadas a continuación.

## ***Operaciones en caliente***

Enderezado y conformación pueden realizarse en caliente con las condiciones siguientes:

- a) El calentamiento se efectuará, a ser posible, en horno. Se admite el calentamiento en fragua u hornillo. Se desaconseja el calentamiento directo con soplete. El enfriamiento se realizará el aire en calma, sin acelerarlo artificialmente.
- b) Se calentará a una temperatura máxima de 950 °C (rojo cereza claro), interrumpiéndose la operación cuando la temperatura baje de 700 °C (rojo sombra), para volver a calentar la pieza.
- c) Se tomarán todas las precauciones necesarias para no alterar la estructura del acero, ni introducir tensiones parásitas durante las fases de calentamiento y de enfriamiento.

## ***Conformación de chapas***

El estampado y la embutición de chapas se realizarán utilizando dispositivos que permitan realizar la operación de una sola vez, y se adoptarán las precauciones indicadas en los apartados inmediatos anteriores.

La conformación podrá realizarse en frío cuando el espesor de la chapa no sea mayor que 9mm o el radio de curvatura no sea menor, que 50 veces el espesor.

### **5.3.4 Marcado de ejecución**

En esta operación se efectúan sobre los productos preparados todas las marcas precisas para realizar los cortes y perforaciones.

## ***Comprobación de los productos***

Antes de proceder al marcado se comprobará que cada producto tiene la forma exacta, recta o curva, deseada.

## ***Realización de las marcas***

El marcado se realizará por personal especializado en esta operación, ajustándose escrupulosamente a las cotas de los planos de taller y respetando las tolerancias permitidas en 5.5.

## ***Huellas de granete***

Si el marcado se hace con granete, sus huellas se dispondrán de tal modo que queden eliminadas necesariamente por operaciones posteriores. En las proximidades de las soldaduras se eliminarán por alisado. Esta precaución es especialmente precisa en las estructuras que hayan de ser sometidas a cargas dinámicas.

### **5.3.5 Corte**

Mediante esta operación se cortan las piezas hasta alcanzar sus dimensiones definitivas y se ejecutan los biseles, rebajos, etc., indicados en los planos de taller. Puede efectuarse el corte con sierra, disco, cizalla o máquina de oxicorte, observando las prescripciones que siguen. Se prohíbe el corte con arco eléctrico.

## ***Corte por cizalla***

El uso de la cizalla se permite solamente para chapas, planos y angulares, de espesor no mayor que 15 mm.

## ***Oxicorte***

El uso de la máquina oxicorte se permite tomando las precauciones necesarias para que el corte sea regular, y para que las tensiones o transformaciones de origen térmico que se produzcan no ocasionen perjuicio.

## ***Repaso de bordes***

El óxido adherido y las rebabas, estrías o irregularidades de borde, producidas en el corte, se eliminarán posteriormente mediante piedra esmeril, buril y esmerilado posterior, fresa o cepillo, terminándose con esmerilado fino. Esta operación se efectuará con mucho mayor esmero en las piezas destinadas a estructuras que hayan de ser sometidas a cargas dinámicas.

### ***Bordes contiguos a soldaduras***

Todo borde realizado con cizalla o máquina de oxicorte que haya de quedar en la proximidad de una unión soldada sin ser fundido durante el soldeo, en una profundidad no menor que 2 mm en los aceros A37 y A42, y no menor que 5 mm en los aceros A52, se mecanizará mediante piedra esmeril, buril y esmerilado posterior, o fresa, para eliminar toda la zona alterada por el corte, en la profundidad no menor que 2 mm en los aceros A37 y A42, y no menor que 5 mm en los aceros A52, y en una longitud que rebase 30 mm, como mínimo, cada extremo de la soldadura.

### ***Biseles***

Todo bisel se realizará con las dimensiones y los ángulos marcados en los planos de taller dentro de las tolerancias señaladas en 5.5. Se recomienda su ejecución mediante máquina herramienta u oxicorte automático, con estas prescripciones permitiéndose buril y esmerilado posterior, teniendo en cuenta lo previsto en el párrafo anterior.

### ***Ángulos entrantes***

Todo ángulo entrante se ejecutará sin arista viva, redondeado con el mayor radio posible, aunque en los planos de taller no se consigne este detalle.

### ***Fresado de apoyos***

Se recomienda fresar los bordes de apoyo de todo soporte en un plano normal a su eje, para conseguir un contacto perfecto con la placa o soporte contiguos, siendo preceptivo hacerlo cuando se indique en el proyecto.

## **5.3.6 Perforaciones**

Los agujeros para roblones y tornillos se perforarán preferentemente con taladro, autorizándose el uso de punzón en los casos indicados y con las condiciones prescritas a continuación.

### ***Punzonado***



El punzón estará siempre en perfecto estado, sin desgaste ni deterioro. Se permite el punzonado en piezas de acero A37 cuyo espesor no sea mayor que 15 mm, que no se destinen a estructuras sometidas a cargas dinámicas.

En todas las piezas de acero A42 y A52, los agujeros se ejecutarán siempre con taladro.

### ***Perforación a diámetro definitivo***

El taladro se realizará, en general, al diámetro definitivo, salvo en los agujeros en que sea previsible rectificación para coincidencia, como se indica más adelante. No se permite el punzonado a diámetro definitivo.

### ***Perforación a diámetro reducido***

El taladro se ejecutará con diámetro reducido, 1 mm menor que el diámetro definitivo, cuando sea previsible rectificación para coincidencia.

El punzonado se ejecutará con diámetro reducido, 3 mm menor que el diámetro definitivo.

### ***Rectificación para coincidencia***

La rectificación de los agujeros de una costura, cuando sea precisa (5.1.2), se realizará mediante escariador mecánico. Se prohíbe hacerlo mediante broca pasante o lima redonda.

### ***Taladro simultáneo***

Se recomienda que, siempre que sea posible, se taladren de una sola vez los agujeros que atraviesen dos o más piezas, después de armadas, engrapándolas o atornillándolas fuertemente. Después de taladradas las piezas se separarán para eliminar las rebabas.

### ***Agujeros para tornillos calibrados***

Los agujeros destinados a alojar tornillos calibrados se ejecutarán siempre con taladro de diámetro igual al diámetro nominal de la espiga con las tolerancias indicadas en 5.5.6.

### **5.3.7 Armado**

Esta operación tiene por objeto presentar en taller cada uno de los elementos estructurales que lo requieran, ensamblando las piezas que se han elaborado, sin forzarlas, en la posición relativa que tendrán una vez efectuadas las uniones definitivas.

Se armará el conjunto del elemento, tanto el que ha de unirse definitivamente en taller como el que se unirá en obra.

#### ***Elementos con uniones roblonadas y atornilladas***

Las piezas que hayan de unirse con roblones, tornillos calibrados o tornillos de alta resistencia se fijarán con tornillos de armado, de diámetro no más de 2 mm menor que el diámetro nominal del agujero correspondiente.

Se colocará el número suficiente de tornillos de armado para que, apretados fuertemente con llave manual, se asegure la inmovilidad de las piezas armadas y el íntimo contacto entre las superficies de unión.

#### ***Elementos con uniones soldadas***

Las piezas que hayan de unirse con soldadura se fijarán entre sí, o a gálbos de armado, con medios adecuados que aseguren, sin una coacción excesiva, la inmovilidad durante soldeo y enfriamiento subsiguiente, consiguiéndose así la exactitud pedida y facilitándose el trabajo de soldeo.

Para la fijación no se permite realizar taladros o rebajos que no vengan definidos en los planos de taller.

Como medio de fijación de las piezas entre sí pueden emplearse puntos de soldadura depositados entre los bordes de las piezas que se van a unir. El número y el tamaño de los puntos de soldadura será el mínimo suficiente para asegurar la inmovilidad.

Estos puntos de soldadura pueden englobarse en la soldadura definitiva si se limpian perfectamente de escoria, no presentan fisura u otros defectos, y después de hacer desaparecer con buril, etc., sus cráteres extremos.

Se prohíbe fijar las piezas a los gálbos de armado con puntos de

soldadura.

### ***Comprobación de la exactitud***

Con el armado se comprobará que la disposición y la dimensión del elemento se ajustan a las señaladas en los planos de taller.

Se rectificarán o se reharán todas las piezas que no permitan el armado en las condiciones arriba indicadas.

### ***Realización de las uniones***

Después de efectuado el armado, y comprobada su exactitud, se procederá a realizar la unión definitiva de las piezas que constituyen las partes que hayan de llevarse terminadas a la obra. Las prescripciones para las uniones roblonadas y atornilladas se han establecido en 5.1, y para las uniones soldadas, en 5.2.

No se retirarán las fijaciones de armado hasta que quede asegurada la indeformabilidad de las uniones.

#### **5.3.8 Marcas de identificación**

En cada una de las piezas preparadas en el taller se pondrá, con pintura o lápiz graso, la marca de identificación con que ha sido designadas en los planos de taller para el armado de los distintos elementos.

Asimismo cada uno de los elementos terminados en el taller llevará la marca de identificación prevista en los planos de taller para determinar su posición relativa en el conjunto de la obra.

## **5.4 Montaje en obra**

### **5.4.1 Programa de montaje**

El constructor, basándose en las indicaciones del proyecto, redactará un programa de montaje detallando los extremos siguientes:

- a) Descripción de la ejecución en fases, orden y tiempos de montaje de los elementos de cada fase.
- b) Descripción del equipo que empleará en el montaje de cada fase.
- c) Apeos, cimbras u otros elementos de sujeción provisional.
- d) Personal preciso para realizar cada fase con especificación de su calificación profesional.
- e) Elementos de seguridad y protección del personal.
- f) Comprobación de los replanteos.
- g) Comprobación de las nivelaciones, alineaciones y aplomos.

Este programa se presentará al director de obra y se requiere su aprobación antes de iniciar los trabajos en obra.

### **5.4.2 Elementos de la estructura**

Los elementos componentes de la estructura estarán de acuerdo con las dimensiones y detalles de los planos de taller y prescripciones consignadas en el Pliego de Condiciones del Proyecto, y llevarán las marcas de identificación prescritas en 5.3.8.

### **5.4.3 Equipo de montaje**

La capacidad y la calidad de la instalación y el equipo de montaje se ajustarán a lo detallado en el programa de montaje y satisfarán a la dirección de la obra, estando siempre en buenas condiciones de funcionamiento.

### **5.4.4 Manipulación**

El almacenamiento y depósito de los elementos constitutivos de la obra se hará de una forma sistemática y ordenada para facilitar su montaje.

Las manipulaciones necesarias para la carga, descarga, transporte, almacenamiento a pie de obra y montaje se realizarán con el cuidado suficiente para no provocar sollicitaciones excesivas en ningún elemento de la estructura y para no dañar ni a las piezas ni a la pintura. Se cuidarán especialmente, protegiéndolas si fuese necesario, las partes sobre las que hayan de fijarse las cadenas, cables o ganchos que vayan a utilizarse en la elevación o sujeción de las piezas de la estructura. Se corregirá cuidadosamente, antes de proceder al montaje, cualquier abolladura, comba o torcedura que haya podido provocarse en las operaciones de transporte. Si el defecto no puede ser corregido, o se presume que después de corregido puede afectar a la resistencia o estabilidad de la estructura, la pieza en cuestión se rechazará, marcándola debidamente para dejar constancia de ello.

### **5.4.5 Asiento de las bases de los pilares**

Las bases de los pilares del piso inferior de una estructura se apoyarán sobre las cimentaciones mediante cuñas de acero, recomendándose que la separación entre ambas esté comprendida entre 40 y 80 mm. Después de acunadas las bases se procederá a la colocación del número conveniente de vigas del primer piso y entonces los pilares se alinearán y aplomarán.

Los espacios entre las bases de los pilares y la cimentación se limpiarán después perfectamente y se rellenarán completamente, retacando, con mortero u hormigón de cemento portland y árido, cuya máxima dimensión no sea mayor que 1/5 del espesor del

espacio que debe rellenarse, y de dosificación no menor que 1/2.

La consistencia del mortero u hormigón de relleno será la conveniente para asegurar el llenado completo. En general, será fluida hasta espesores de 50 mm y más seca para espesores mayores.

#### **5.4.6 Asientos de los emparrillados de cimentación**

El espacio bajo el emparrillado y el comprendido entre las vigas se rellenará con mortero u hormigón del mismo modo que se especifica para las bases de los pilares.

No se efectuará el relleno del emparrillado hasta que los pilares hayan sido alineados y nivelados.

#### **5.4.7 Montaje**

La sujeción provisional de los elementos durante el montaje se asegurará con tornillos, grapas u otros procedimientos que resistan los esfuerzos que puedan producirse por las operaciones de montaje.

En el montaje se realizará el ensamble de los distintos elementos, de tal modo que la estructura se adapte a la forma prevista en los planos de taller, con las tolerancias establecidas en 5.5. Se comprobará, cuantas veces fuera preciso, la exacta colocación relativa de sus diversas partes.

No se comenzará el roblonado, atornillado definitivo o soldeo de las uniones de montaje hasta que no se haya comprobado que la posición de los elementos de cada unión coincide exactamente con la posición definitiva.

Si se han previsto elementos de corrección, no se comenzarán las operaciones de cada unión hasta que se haya comprobado que la posición relativa de los elementos que se van a unir es la debida y que la desviación entre la forma actual y la definitiva podrá ser anulada con los citados medios de corrección. En las uniones roblonadas y atornilladas que deben realizarse en montaje es obligatorio seguir las prescripciones establecidas en 5.1.

En las uniones soldadas que deben realizarse en montaje es obligatorio seguir las prescripciones establecidas en 5.2.

Las uniones de montaje y otros dispositivos auxiliares se retirarán solamente cuando se pueda prescindir de ellos estáticamente.

El ritmo de la ejecución de forjados y muros, respecto del de la estructura se ajustará a lo que sobre ello figura en el proyecto. Se recuerda la conveniencia, por razones de seguridad, de no efectuar montaje de vigas y pilares dos plantas más arriba sobre el último forjado colocado.

## 5.5 Tolerancias

### 5.5.1 Especificaciones de las tolerancias

Las tolerancias en las dimensiones, forma y peso para la ejecución y montaje de una estructura deberán especificarse en el Pliego de Condiciones del proyecto. Cuando una tolerancia no venga expresamente definida en el proyecto, su valor será el establecido en 5.5.3 a 5.5.6.

### 5.5.2 Comprobaciones de las dimensiones

La medición de las longitudes se efectuará con regla o cinta metálica, de exactitud no menor que 0.1 mm en cada metro, y no menor que 0.1 por 1000 en longitudes mayores.

La medición de las flechas de las barras se efectuará materializando, con un alambre tensado, una línea recta que pase por puntos correspondientes de las secciones extremas.

### 5.5.3 Tolerancias en los perfiles y chapas

Las tolerancias dimensionales y en peso para la recepción de los perfiles son las establecidas en Parte 2. Productos de acero para estructura.

### 5.5.4 Elementos realizados en taller

Todo elemento estructural: pilar, viga, cercha, etc. fabricado en taller y enviado a obra para su montaje, cumplirá las tolerancias siguientes:

#### ***Tolerancias en la longitud:***

Las tolerancias en la longitud de elementos estructurales será la definida a continuación:

| Tolerancias dimensionales |                  |
|---------------------------|------------------|
| Longitud en mm            | Tolerancia en mm |
| Hasta 1000                | $\pm 2$          |
| De 1001 a 3000            | $\pm 3$          |
| De 3001 a 6000            | $\pm 4$          |



|                  |          |
|------------------|----------|
| De 6001 a 10000  | $\pm 5$  |
| De 10001 a 15000 | $\pm 6$  |
| De 15001 a 25000 | $\pm 8$  |
| 25001 o mayor    | $\pm 10$ |

### ***Tolerancias en la forma***

La tolerancia en la flecha de todo elemento estructural recto, de longitud  $l$ , será el menor de los dos valores siguientes:

$$l/1500$$

$$10 \text{ mm}$$

En los elementos compuestos de varias barras, como cerchas, vigas de celosías, etc., la tolerancia se refiere a cada barra, siendo  $l$  su longitud entre nudos, y a los conjuntos de barras, siendo  $l$  la longitud entre nudos extremos.

### **5.5.5 Conjuntos montados en obra**

Todo conjunto de elementos estructurales montado en obra cumplirá las tolerancias siguientes:

#### ***Tolerancias dimensionales***

La tolerancia de las dimensiones fundamentales del conjunto montado será la suma de las tolerancias de los elementos estructurales, según 5.5.4 sin sobrepasar  $\pm 15\text{mm}$ .

#### ***Desplomes***

La tolerancia en el desplome de un pilar de una estructura, medido horizontalmente entre los plomos de dos pisos consecutivos, o de pisos cualesquiera, será el menor de los dos valores siguientes:

$$h/1000$$

$$25 \text{ mm}$$

siendo:

$h$  la diferencia de altura entre ellos.

La tolerancia en el desplome de una viga de canto  $d$ , medido en las secciones de apoyo, será:

$$\text{vigas en general: } d/250$$

vigas carril: d/500

### 5.5.6 Uniones

En las uniones se admitirán las tolerancias siguientes:

#### ***Agujeros para roblones y tornillos***

Las tolerancias en agujeros destinados a roblones, tornillos ordinarios, tornillos calibrados y tornillos de alta resistencia, cualquiera que sea el método de perforación, serán las que se detallan a continuación:

| Tolerancia en los agujeros |                                   |  |  |
|----------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Diámetro del agujero en mm | Separaciones y alineaciones en mm | Diámetro para tornillos calibrados en mm | Diámetro para roblones y otros tornillos en mm |
| 11                         | ±1.0                              | -0.00                                    |  |
| 13, 15, 17                 | ±1.5                              | +0.15                                    | ±1   |
| 19, 21, 23                 | ±2.0                              |  |  |
| 25, 28                     | ±3.0                              |  |  |

#### ***Soldaduras***

Las tolerancias en las dimensiones de los biselos de la preparación de bordes y en la garganta y longitud de las soldaduras serán las dadas a continuación.

| Tolerancias en las soldaduras |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Dimensiones en mm             | Tolerancias en mm |
| Hasta 15                      | ±0.5              |
| De 16 a 50                    | ±1.0              |
| De 51 a 150                   | ±2.0              |
| 151 o mayor                   | ±3.0              |

## **5.6 Protección**

### **5.6.1 Especificaciones sobre las protecciones**

Los tipos de protección de acero, clases y características de las pinturas que se utilizan, número de capas, colores, acabados, etc., se especificarán en el Pliego de Condiciones del proyecto.

En todo aquello que no venga expresamente definido en el proyecto se seguirán las prescripciones de este capítulo.

### **5.6.2 Superficies en contacto**

Las superficies que hayan de quedar en contacto con las uniones de la estructura se limpiarán en la forma especificada en 5.3.3 y no se pintarán salvo expresa indicación contraria, en cuyo caso estas superficies se unirán estando fresca la pintura.

Las superficies que hayan de quedar en contacto en las uniones con tornillos de alta resistencia no se pintarán nunca y recibirán una limpieza o tratamiento de acuerdo con las condiciones establecidas en 5.1.7.

Las superficies que hayan de soldarse no estarán pintadas ni siquiera con la capa de imprimación en una zona de anchura mínima de 100 mm desde el borde de la soldadura. Si es precisa una protección temporal se pintarán con pintura fácilmente eliminable, y se procederá a una cuidadosa eliminación antes del soldeo.

### **5.6.3 Superficies contiguas al terreno**

Para evitar posibles corrosiones es preciso que las bases de pilares y partes estructurales que puedan estar en contacto con el terreno queden embebidas en hormigón.

No se pintarán estos elementos para evitar su oxidación. Si han de permanecer algún tiempo a la intemperie, se recomienda su

protección con lechada de cemento.

#### **5.6.4 Condiciones de la pintura**

La pintura se llevará en recipientes cerrados con la etiqueta de su fabricante. Si en el proyecto no se especifica otra cosa, la pintura, en los elementos estructurales envueltos por otros materiales, o al aire en interiores, asegurará una protección no menor que la proporcionada por dos capas de pintura tradicional que contenga 30 por 100 de aceite de linaza cocido y, en los elementos expuestos a la intemperie, no menor que la proporcionada por tres capas de la misma pintura. Antes del pintado se presentarán muestras de pintura para realizar los análisis y ensayos prescritos en el proyecto y se pintarán muestras para juzgar el color y acabado.

#### **5.6.5 Preparación de las superficies**

Las superficies que hayan de pintarse se limpiarán cuidadosamente, eliminando todo rastro de suciedad, cascarilla, óxido, gotas de soldadura, escoria, etc., de tal forma que queden totalmente limpias y secas.

La limpieza se realizará con rasqueta y cepillo de púas de alambre, o bien, cuando así se especifique, por decapado, chorro de arena u otro tratamiento. Las manchas de grasa se eliminarán con disoluciones alcalinas.

#### **5.6.6 Ejecución del pintado**

En la ejecución del pintado, deben tenerse en cuenta las condiciones de uso indicadas por el fabricante de la pintura.

Cuando el pintado se realice al aire libre no se efectuará en tiempo de heladas, nieve o lluvia, ni cuando el grado de humedad del ambiente sea tal que se prevean condensaciones en las superficies que se han de pintar.

Entre la limpieza y la aplicación de la capa de imprimación

transcurrirá el menor espacio de tiempo posible, no siendo recomendable más de ocho horas. Entre la capa de imprimación y la segunda capa transcurrirá el plazo de secado indicado por el fabricante de la pintura y, si no está especificado, un mínimo de treinta y seis horas. Igualmente entre la segunda capa y la tercera, cuando ésta exista.

#### **5.6.7 Pintado en taller**

Todo elemento de la estructura, salvo los indicados en 5.6.2 y 5.6.3, recibirá en taller una capa de imprimación antes de ser entregado a montaje.

La capa de imprimación se aplicará con la autorización del director de obra, después de que éste haya realizado la inspección de las superficies y de las uniones de la estructura terminada en taller.

Las partes que vayan a quedar de difícil acceso después de su montaje, pero sin estar en contacto, recibirán la segunda capa de pintura y la tercera si está prescrito, después de los correspondientes plazos de secado.

El pintado se efectuará preferentemente en un local cubierto, seco y al abrigo del polvo. Si esto no es posible, podrá efectuarse al aire libre en las condiciones indicadas en 5.6.6.

#### **5.6.8 Pintado en obra**

Después de la inspección y aceptación de la estructura montada se limpiarán las cabezas de los roblones y tornillos, se picará la escoria y se limpiarán las zonas de las soldaduras efectuadas en obra y, si se hubiese deteriorado la pintura de alguna zona, se limpiará ésta, dando a continuación sobre todo ello la capa de imprimación con la misma pintura empleada en el taller.

Transcurrido el plazo de secado se dará a toda la estructura la segunda capa de pintura y, cuando así esté especificado, la tercera capa.

No se pintarán los tornillos galvanizados o con otra protección

antióxido.

# Apéndice 1

## Normas UNE de referencia para estructuras de acero

|   |
|---|
| UNE 7 014 50 Determinación cuantitativa del carbono en los aceros empleados en la construcción.   |
| UNE 7 019 50 Determinación cuantitativa del azufre en los aceros empleados en la construcción.  |
| UNE 7 027 51 Determinación cuantitativa del manganeso en los aceros empleados en la construcción.   |
| UNE 7 028 1R 75 Determinación gravimétrica de silicio en acero y fundiciones.   |
| UNE 7 029 51 Determinación cuantitativa del fósforo en los aceros empleados en la construcción.   |
| UNE 7 208 1R 88 Materiales metálicos. Tubos. Ensayo de aplastamiento. (UNE EN 10233:1994.)  |
| UNE 7 246 74 Determinación de la resistencia a cizalladura de roblones y tornillos de acero.  |
| UNE 7 331 75 Determinación de bajos contenidos de carbono en aceros. Método volumétrico.  |
| UNE 7 349 76 Determinación de carbono en aceros y fundiciones. Método gasométrico.  |
| UNE 7 422 85 Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo Brinell.  |
| UNE 7 472 89 Materiales metálicos. Ensayo de doblado simple.  |
| UNE 7 474-1 92 Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (a la temperatura ambiente). (EN 10002-1:1990; EN 10002-1/AC1:1990.)                       |
| UNE 7 475-1 92 Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1: Método de ensayo (EN 10045-1:1990.)  |
| UNE 14 003 2R 86 Electrodo revestido para el soldeo por arco manual de aceros no aleados y débilmente aleados. Simbolización.   |
| UNE 14 022 1R 72 Ensayos de tracción y resiliencia para la identificación de electrodos para el soldeo manual por arco descubierto de aceros no aleados y débilmente aleados. |
| UNE 14 035 64 Cálculo de cordones de soldadura solicitados por cargas estáticas.  |
| UNE 17 707 1R 78 Roscas métricas ISO para usos generales. Tolerancias. Principios y datos básicos.  |
| UNE 36 004 92 Definición y clasificación de los tipos de acero (EN 10020:1988; 10020/AC:1991.)  |
| UNE 36 007 1R 77 Condiciones técnicas generales de suministro de productos siderúrgicos. (UNE EN 10021:1994.)   |
| UNE 36 051-1 91 Aceros para temple y revenido. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro de aceros especiales. (EN 10083-1:1991.)   |

|   |
|---|
| UNE 36 051-2 91 Aceros para temple y revenido. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados (EN 10083-2:1991.)   |
| UNE 36 080 8R 90 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones técnicas de suministro (UNE EN 10025:1994.)   |
| UNE 36 300 80 Toma y preparación de muestras para análisis químicos de productos de acero laminados y forjados.   |
| UNE 36 317-1 85 Determinación del nitrógeno en aceros. Método espectrofotométrico.  |
| UNE 36 400 81 Toma de muestras y preparación de probetas para ensayos mecánicos de productos de acero, laminados y forjados.  |
| UNE 36 521 2R 72 Productos de acero. Perfil I Normal (IPN). Medidas y tolerancias.  |
| UNE 36 522 2R 72 Productos de acero. Perfil U Normal (UPN). Medidas y tolerancias.  |
| UNE 36 526 94 Productos de acero. Perfiles IPE (UNE EN 10034:1994.)   |
| UNE 36 527 73 Productos de acero. Perfil HEB (UNE EN 10034:1994.)   |
| UNE 36 528 75 Productos de acero. Perfil HEA (UNE EN 10034:1994.)   |
| UNE 36 529 75 Productos de acero. Perfil HEM (UNE EN 10034:1994.)   |
| UNE 36 531 1R 72 Productos de acero. Angulares de lados iguales. Medidas y tolerancias.   |
| UNE 36 532 2R 72 Productos de acero. Angulares de lados desiguales. Medidas y tolerancias.  |
| UNE 36 533 1R 73 Productos de acero. Perfil T.  |
| UNE 36 541 2R 76 Productos de acero. Redondo laminado en caliente. Medidas y tolerancias.   |
| UNE 36 542 2R 76 Productos de acero. Cuadrado laminado en caliente. Medidas y tolerancias.  |
| UNE 36 543 80 Productos de acero. Barras rectangulares de canto vivo, laminadas en caliente. Medidas y tolerancias.   |
| UNE 36 553 1R 73 Productos de acero, fleje laminado en caliente y pletina cortada de fleje. Tolerancias dimensionales.  |
| UNE 36 559 2R 92 Chapas de acero laminadas en caliente, de espesor igual o superior a 3 mm, tolerancias dimensionales sobre la forma y sobre la masa. (EN 10029:1991 y EN 10029/AC:1991.)   |
| UNE 36 560 92 Bandas laminadas en caliente (anchura > 600), de acero no aleado o aleado suministradas en forma de chapa cortada, bobina, banda o fleje cortados por corte longitudinal. Tolerancias dimensionales y sobre la forma (en 10051:1991.) |
| UNE EN 287-1 92 Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros (EN 287-1:1992.)  |
| UNE EN 10021 94 Aceros y productos siderúrgicos. Condiciones técnicas generales de suministro (EN 10021:1993.)  |
| UNE EN 10025 94 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones técnicas de suministro.  |



UNE EN 10210-1 94 Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro (EN 10210-1:1994.)

Nota: Las normas UNE-EN que aparecen entre paréntesis sustituyen a las normas UNE referenciadas en esta norma básica y pueden utilizarse, en los casos que se consideren necesarios.

## Apéndice 2. Observaciones a la notación empleada

Correspondencia entre la notación empleada en la Norma Básica de la Edificación NBE EA-95 Estructuras de Acero y las empleadas en otros documentos y normas.

| Concepto  | Notación de NBE EA-95 | Notación en otros documentos |
|---|-----------------------|------------------------------|
| Límite elástico   | $\sigma_e$            | $f_y$                        |
| Resistencia a tracción  | $\sigma_r$            | $f_u$                        |
| Resistencia a corte   | $\tau_r$              | $f_{tu}$                     |
| Resistencia de cálculo  | $\sigma_u$            | $f_d$                        |
| Resistencia de cálculo a corte  | $\tau_U$              | $f_{td}$                     |
| Resistencia media   | $\sigma_m$            | $f_m$                        |
| Esfuerzo normal de cálculo  | $N^*$                 | $N_d$                        |
| Tensión de cálculo  | $\sigma^*$            | $\sigma_d$                   |
| Esfuerzo cortante de cálculo  | $T^*$                 | $V_d$                        |
| Esfuerzo cortante ideal   | $T^*_i$               | $V_i$                        |
| Esfuerzo cortante de presilla   | $T^*_p$               | $V_p$                        |
| Momento flector de presilla   | $M^*_p$               | $M_p$                        |
| Esfuerzo rasante de cálculo   | $H^*$                 | $H_d$                        |
| Tensión tangencial de cálculo   | $\tau^*$              | $\tau_d$                     |
| Flecha  | $f$                   | $W$                          |
| Nota: En la NBE EA-95 se ha mantenido la notación de las NBE-MV por tratarse de un texto refundido de las mismas. |                       |                              |