

CAPÍTULO XV

ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Artículo 67 Vigas

En este artículo se considera incluida la comprobación de cualquier elemento prismático que cumpla la relación $L/h > 5$, sometido a esfuerzos axiales, de flexión simple o de torsión, o a cualquier combinación de ellos.

Dentro de este artículo se consideran los tipos de vigas de alma llena y vigas de alma aligerada. Las denominadas vigas de celosía se tratan en el Artículo 72, relativo a estructuras trianguladas.

67.1. Vigas de alma llena

Se consideran como vigas de alma llena aquellas vigas, laminadas o soldadas, de alma opaca, con sección transversal constante o variable longitudinalmente.

Para las vigas de alma llena se deberán realizar las pertinentes comprobaciones frente a los estados límite de servicio (Capítulo X) y los estados límite últimos (Capítulo IX).

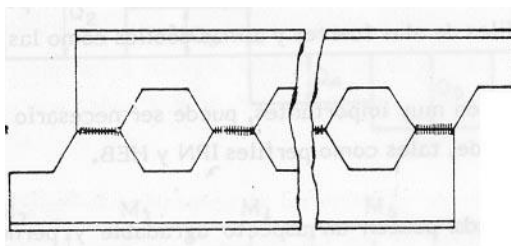
67.2. Vigas de alma aligerada

Se consideran como vigas de alma aligerada aquellas vigas cuya alma presenta unos aligeramientos dispuestos a lo largo de la misma, iguales entre sí, y con una separación igual entre ellos.

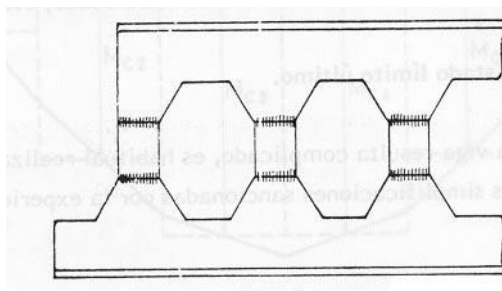
67.2.1. Tipos de vigas de alma aligerada.

Se pueden considerar los siguientes tipos de vigas aligeradas:

- Vigas alveoladas (alveolos hexagonales o circulares)



- Vigas alveoladas peraltadas



67.2.1.1. Comprobación en estado límite último.

Se deberá comprobar la sección de máximo aligeramiento sometida a flexión y cortante, así como aquella sección en la cual la interacción del esfuerzo cortante y del momento flector sea más desfavorable, ocasionando así la máxima tensión normal longitudinal. Además, la zona de unión entre ambas partes de la viga alveolada debe ser capaz de resistir el esfuerzo cortante (rasante) al que se ve sometida.

67.2.1.2. Comprobación en estado límite de servicio.

Para la comprobación del estado límite de deformaciones se deben de tener en cuenta las dos componentes de flecha debidas a flexión f_M y a cortante f_V

El valor de la componente de flecha de flexión f_M puede obtenerse, de forma simplificada y conservadora, considerando como inercia de la sección el valor de la inercia de la sección en la zona en que el aligeramiento es máximo y por tanto la inercia es mínima I_{min} .

También se puede considerar para el cálculo de dicha flecha f_M un valor medio de la inercia I_M de los dos tipos de secciones, la de aligeramiento máximo y la de aligeramiento mínimo.

El valor de la flecha debida a cortante f_V se obtiene teniendo en cuenta el área equivalente a cortante de la sección A_e .

Artículo 68 Entramados

Se consideran como entramados aquellas estructuras planas formadas por elementos dispuestos en dos direcciones, perpendiculares entre sí, y con cargas normales al plano medio de la estructura.

Puede existir una dirección predominante, dirección según la cual se dispondrán las vigas principales, siendo los elementos estructurales dispuestos según la dirección perpendicular, vigas secundarias, los encargados del reparto transversal de las cargas. El cálculo de esfuerzos se realizará como un emparrillado.

Para las vigas secundarias, puede realizarse un cálculo simplificado de los esfuerzos, utilizando un método de reparto transversal de las cargas aplicadas, con la finalidad de obtener las cargas a considerar para el cálculo y comprobación de las vigas principales.



Una vez obtenidos los esfuerzos en las vigas que conforman el entramado, se realizará la comprobación de las mismas frente a los correspondientes estados límite últimos y de servicio, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 67.

Artículo 69 Forjados

Se considerarán como forjados de acero aquellos forjados cuyos elementos resistentes sean de acero.

Generalmente estos forjados serán forjados unidireccionales formados por viguetas de acero con piezas de entrevigado no resistentes, cerámicas o de hormigón.

Las viguetas se comprobarán como vigas de acero, teniendo en cuenta el Artículo 67.

En el caso de forjados en edificación industrial que tengan que soportar grandes cargas, el entrevigado puede ser de piezas de acero, formando un entramado plano, en el que según las dos direcciones, las vigas pueden presentar dimensiones similares. Su comprobación se indica en el Artículo 68.

En el caso de forjados de cubierta inclinada, con viguetas (correas) apoyadas sobre vigas principales o cerchas, es necesario tener en cuenta que, si el alma de la correa no está en un plano vertical, aparece una flexión en el plano perpendicular al alma, cuya importancia depende de la inclinación de la cubierta.

En todo caso, las correas se comprobarán teniendo en cuenta lo indicado en el Artículo 67.

Artículo 70 Soportes

En este artículo se presenta la comprobación de elementos estructurales de acero sometidos, de forma predominante, a esfuerzo axial de compresión. Los soportes pueden ser simples y compuestos.

Se entienden como soportes simples aquellos soportes que están constituidos por un único perfil, o por dos o más perfiles principales en contacto o enlazados entre sí mediante forros de chapa con una distancia s entre enlaces, medida de centro a centro, que verifique que $s \leq 15i_{\min}$, siendo i_{\min} el radio de giro mínimo de uno de los perfiles que constituye el soporte en cuestión o, en su caso, del cordón, de manera más genérica. En estas condiciones, a efectos prácticos, la comprobación de estos soportes podrá llevarse a cabo como si se tratara de un soporte constituido por un único perfil.

Se entienden como soportes compuestos aquellos soportes constituidos por dos o más perfiles simples enlazados entre sí. Los elementos de enlace pueden ser presillas o celosía. Los soportes compuestos se comprobarán considerando su deformabilidad a cortante, de acuerdo con lo expuesto en 70.5 y en el Artículo 71.

Se consideran en este Artículo:

- Soportes de sección constante.



- Soportes de sección variable.
- Soportes sometidos a esfuerzo axial variable continuo.
- Soportes sometidos a cargas puntuales según su directriz.
- Soportes de sección compuesta.

70.1. Soportes de sección constante

Se consideran en este artículo aquellos soportes cuya sección transversal se mantiene constante a lo largo de su directriz, independientemente de la forma de esta.

Las secciones transversales pueden ser abiertas o cerradas y atendiendo a sus características de simetría, pueden ser de doble simetría, de simetría simple y de simetría puntual.

Para la comprobación del soporte a compresión se tendrá en cuenta el apartado 35.1.

En el caso de existir esfuerzos de compresión y de flexión se tendrá en cuenta lo indicado en los apartados 35.2 y 35.3.

En el caso de que el centro de gravedad y el centro de esfuerzos cortantes de la sección no coincidan, se deberá tener en cuenta la posibilidad de pandeo por flexión y torsión y será de aplicación lo expuesto en el apartado 35.1.4.

En el caso de que el centro de esfuerzos cortantes coincida con el centro de gravedad, y la sección transversal tenga débil rigidez torsional, se deberá considerar la posibilidad de pandeo por torsión pura, sólo cuando el radio de giro polar sea mayor que el radio de giro a torsión, y entonces será de aplicación lo expuesto en 35.1.4.

70.2. Soportes de sección variable

Se considera en este apartado el caso de soportes constituidos por un único perfil o por varios perfiles o chapas enlazados entre sí de manera continua, cuya sección transversal es ligeramente variable a lo largo de su directriz.

La comprobación de estos soportes frente a pandeo puede llevarse a cabo determinando el valor de un radio de giro equivalente, obtenido en función de la variación de la inercia y de la propia forma en cómo varía la sección transversal a lo largo de su directriz.

70.3. Soportes sometidos a esfuerzo axial variable continuo

En el caso de soportes de sección constante solicitados por un esfuerzo axial variable a lo largo de su directriz, puede considerarse para la comprobación a pandeo una longitud de pandeo tal que su coeficiente β se determinará en función de los valores máximo y mínimo del esfuerzo axial y de la forma en cómo varíe dicho esfuerzo axial a lo largo de su directriz.

70.4. Soportes sometidos a cargas puntuales según su directriz

En el caso de soportes de sección constante con cargas puntuales aplicadas a lo largo de su directriz, la comprobación a pandeo puede realizarse adoptando un coeficiente β de pandeo que será función de la posición relativa de introducción de la carga, o de las cargas puntuales, y de las propias condiciones de vinculación del soporte. En el caso general de aplicación de n cargas puntuales a lo largo de la directriz, el coeficiente β de pandeo puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$\beta = \sqrt{\sum_1^n (\alpha_i \beta_i^2)}$$

siendo:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{\sum_1^n P_i}$$

El coeficiente β_i es el coeficiente de pandeo correspondiente a la carga P_i , como si esta actuase aisladamente.

70.5. Soportes de sección compuesta

Se consideran soportes de sección compuesta a aquellos soportes constituidos por dos o más perfiles, enlazados entre sí por medio de perfiles o chapas con la finalidad de asegurar la colaboración resistente conjunta entre los perfiles principales.

Los enlaces pueden plantearse mediante una celosía con montantes y diagonales; se está entonces en presencia de un soporte compuesto triangulado.

En el caso de que los enlaces se planteen únicamente a través de montantes y éstos sean chapas, se está entonces en presencia de un soporte compuesto empresillado.

En el caso en que los elementos de enlace estén dispuestos con una separación entre sí inferior a $15i_{\min}$, siendo i_{\min} el radio de giro mínimo de uno de los perfiles principales, se considerará a los efectos de comprobación, que el soporte está constituido por un único perfil, con las características mecánicas del conjunto de los perfiles principales.

Para la comprobación de los soportes compuestos se seguirá lo expuesto en el Artículo 71.

Artículo 71 Elementos compuestos

71.1. Generalidades

Se denominan elementos compuestos a aquellos elementos estructurales (soportes, apuntalamientos, etc.) constituidos por dos o más perfiles simples, paralelos a su directriz, unidos de forma discontinua y modular, por medio de una estructura de celosía (diagonales, o diagonales y montantes) o por medio de elementos normales a la directriz (presillas), con



la finalidad de asegurar un trabajo resistente solidario entre todos los perfiles que constituyen el elemento estructural compuesto.

Para asegurar la transmisión de esfuerzos es necesario además disponer en los extremos del elemento compuesto presillas unidas a las placas extremas -de base y cabeza- del mismo.

Los elementos de unión de los perfiles principales, bien sean diagonales y montantes, o presillas, dividirán el elemento en tramos iguales entre sí, de longitud a , siendo el número de dichos tramos en un mismo elemento estructural igual o mayor que tres.

La longitud a de todo tramo en que se divide el elemento no debe ser superior a $50 i_{\min}$, siendo i_{\min} el radio de giro mínimo de uno de los perfiles principales (o cordones principales).

Los elementos de unión, presillas y/o diagonales y montantes, deben comprobarse para resistir los esfuerzos indicados en 71.2.3.

Los elementos de unión, presillas y/o diagonales y montantes, se unen a los perfiles principales mediante el empleo de tornillos o soldadura, debiendo comprobarse estas uniones para resistir los esfuerzos indicados en 71.2.3.

Los sistemas de elementos de unión de la celosía en caras opuestas de un elemento compuesto con dos planos de triangulación deben adoptar la misma disposición, es decir, un sistema debe ser sombra del otro.

Si se utilizan como elementos de unión diagonales, el ángulo que forman estas con los perfiles principales estará comprendido habitualmente entre 30° y 60° .

Cuando se dispongan planos paralelos de presillas, estas deben disponerse opuestas (un plano de presillas debe ser sombra del otro).

Asimismo, cuando existan cargas aplicadas en puntos intermedios del elemento en cuestión, también se dispondrán en esos puntos presillas.

Las comprobaciones que se presentan en los apartados siguientes parten de la hipótesis de que el elemento compuesto tiene sus extremos articulados y en ellos se impide el desplazamiento lateral. Asimismo, se considera una imperfección en el centro del elemento compuesto de valor $e_0 = L/500$.

71.2. Comprobación a pandeo de elementos compuestos

71.2.1. Generalidades

Para la comprobación de elementos compuestos a compresión se diferenciará entre elementos compuestos triangulados y elementos compuestos empresillados.

Por otra parte, se tendrá en cuenta la existencia de dos posibles planos de pandeo, lo que comporta comprobaciones diferentes. Se denomina eje de inercia material al eje principal que pasa por el baricentro de las secciones de todos los perfiles que componen el elemento. Al eje principal que no cumple esta condición se le denomina eje de inercia libre.



71.2.2. Comprobación a pandeo en un plano perpendicular al eje de inercia material

Cuando se realice la comprobación a pandeo de un elemento compuesto en un plano perpendicular a un eje de inercia material (pandeo por flexión alrededor del eje de inercia material), aquella se llevará a cabo como si se tratara de un elemento simple con las características de la sección transversal correspondientes al elemento compuesto.

71.2.3. Comprobación a pandeo en un plano perpendicular al eje de inercia libre

El tramo de perfil simple (de cordón, en general) comprendido entre dos enlaces consecutivos se debe comprobar considerando un esfuerzo axil de cálculo $N_{\text{cor,Ed}}$ cuyo valor depende del tipo de enlace.

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión sobre el cordón $N_{\text{cor,Ed}}$, para el caso de dos cordones idénticos, es:

$$N_{\text{cor,Ed}} = 0,5N_{\text{Ed}} + \frac{M_{\text{Ed}}h_0A_{\text{cor}}}{2I_{\text{ef}}}$$

donde M_{Ed} es el valor de cálculo del máximo momento flector en el centro del elemento compuesto, considerando los efectos de segundo orden.

$$M_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}e_0 + M_{\text{Ed}}^I}{1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}} - \frac{N_{\text{Ed}}}{S_v}}$$

siendo:

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 E I_{\text{ef}}}{L^2} \text{ Esfuerzo axil crítico elástico efectivo del elemento compuesto.}$$

N_{Ed} Valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión en el centro del elemento compuesto.

M_{Ed}^I Valor de cálculo del máximo momento flector en el centro del elemento compuesto, sin considerar efectos de segundo orden.

h_0 Distancia entre centros de gravedad de los cordones del elemento compuesto.

A_{cor} Área de la sección transversal de un cordón.

e_0 Imperfección geométrica, que se adopta igual a $L/500$.

I_{ef} Inercia efectiva del elemento compuesto, cuyo valor puede obtenerse en los apartados siguientes 71.2.3.1 (elementos triangulados) y 71.2.3.2 (elementos empresillados).

S_v Rigidez a cortante de la triangulación utilizada para el enlace o del panel empresillado; dicha rigidez depende de la tipología de enlace utilizada y su valor puede obtenerse en los apartados siguientes 71.2.3.1 (elementos triangulados) y 71.2.3.2 (elementos empresillados).

Las comprobaciones de los elementos de enlace de las triangulaciones (elementos triangulados) o de los paneles empresillados (determinación de los momentos flectores y esfuerzos cortantes en los cordones y presillas de los elementos empresillados) deberán realizarse para el panel extremo, considerando que actúa un esfuerzo cortante de valor

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L}$$

donde M_{Ed} y L tienen el mismo significado que en párrafos anteriores.

Para los cordones sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión $N_{cor,Ed}$, obtenido tal como se ha expuesto anteriormente, deberá verificar que:

$$N_{cor,Ed} \leq N_{b,Rd}$$

donde $N_{b,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo del cordón comprimido, tomando como longitud de pandeo la de la figura 71.2.3.1.b

71.2.3.1. Elementos triangulados

En la figura 71.2.3.1.a se presentan valores de la rigidez a cortante S_v para determinadas geometrías de enlace habitualmente utilizadas en elementos triangulados. En el caso de que la tipología del enlace adoptado no se encuentre entre los de la figura, se puede obtener el valor de S_v teniendo en cuenta que es el valor de la rigidez a esfuerzo cortante del enlace o, lo que es lo mismo, el valor del cortante necesario para producir una deformación por cortante unidad.

Sistema de triangulación			
S_v	$\frac{nEA_d ah_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$

n es el número de planos de triangulación
 A_d y A_v son las áreas de la sección transversal de las diagonales y montantes respectivamente

Figura 71.2.3.1.a. Valor de la rigidez a cortante S_v de elementos triangulados

La inercia efectiva I_{ef} del elemento triangulado puede tomarse igual a:

$$I_{ef} = 0,5h_0^2 A_{cor}$$

Para determinar la resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ del cordón comprimido, se adoptará como longitud de pandeo la que se muestra en la figura 71.2.3.1.b.

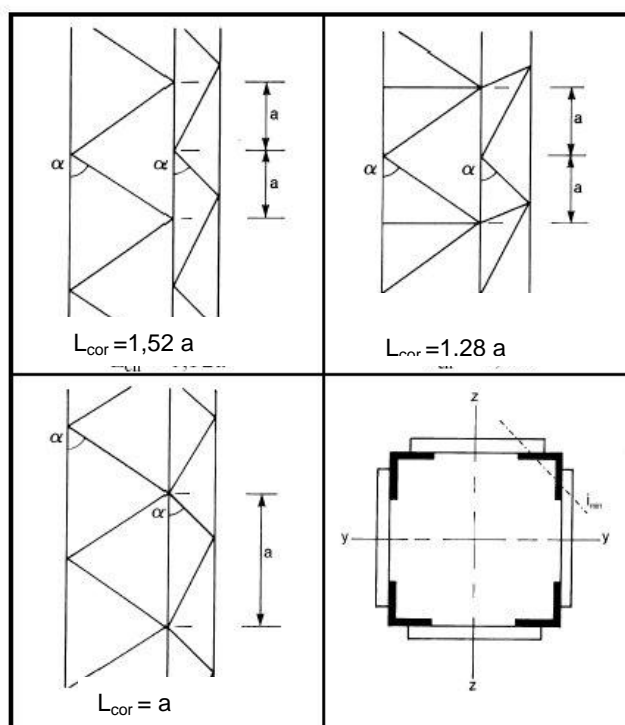


Figura 71.2.3.1.b. Triangulaciones en cuatro caras. Longitud de pandeo del cordón, L_{cor}

71.2.3.2. Elementos empresillados

Los cordones y las presillas, y las uniones de estas a los cordones, deben ser comprobados frente a los esfuerzos que se inducen en el panel extremo y en centro luz del elemento empresillado. En aras de buscar una mayor simplicidad, pueden combinarse simultáneamente el máximo esfuerzo axial de cálculo del cordón, $N_{cor,Ed}$, con el máximo esfuerzo cortante V_{Ed} (ver figura 71.2.3.2).

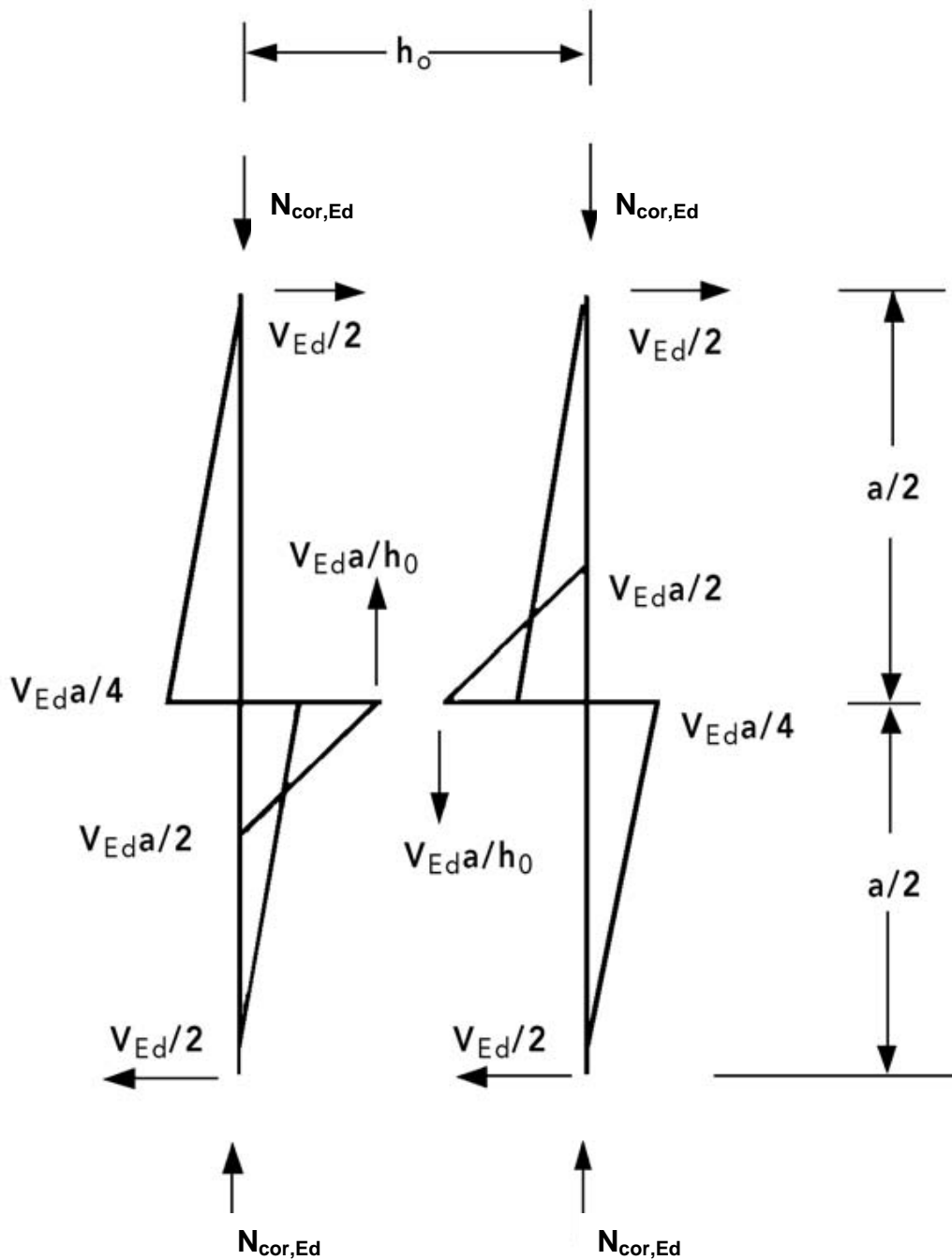


Figura 71.2.3.2. Momentos y fuerzas en un panel extremo de un elemento empesillado

La longitud de pandeo del cordón es la distancia a entre presillas.

La rigidez a cortante de un elemento compuesto empesillado puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$S_v = \frac{24E I_{cor}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{cor} h_0}{n I_p a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 E I_{cor}}{a^2}$$

La inercia efectiva del elemento empresillado puede obtenerse mediante la siguiente expresión

$$I_{ef} = 0,5h_0^2 A_{cor} + 2\mu I_{cor}$$

siendo:

I_{cor} Inercia del cordón en el plano.

I_p Inercia de la presilla en el plano.

n Número de planos de presillas.

μ Factor de eficiencia que se obtiene de la tabla 71.2.3.2.

Tabla 71.2.3.2. Factor de eficiencia μ

Criterio	Factor de eficiencia μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
siendo $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{cor}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{cor} + 2I_{cor}$	

Artículo 72 Estructuras trianguladas

72.1. Generalidades

Las estructuras trianguladas, comúnmente denominadas celosías, se emplean con frecuencia en la construcción en acero, tanto en elementos ligeros (celosías ligeras) para cubrimiento de naves o espacios de luces medias o grandes como en elementos ya más pesados, como en puentes. Cuando la estructura triangulada presenta pendiente a dos aguas y se utilizan normalmente como sostén del cubrimiento de una nave de cualquier tipo, dicha estructura se denomina cercha. Cuando la estructura triangulada tiene sus cordones superior e inferior paralelos, a dicha estructura se le denomina jácena triangulada o jácena de celosía; este tipo de estructuras se utiliza en forjados de edificios de luces medias o importantes, en naves de cubierta plana y en puentes.



La geometría de las estructuras trianguladas puede ser muy variada así como los diferentes perfiles o secciones de elementos que constituyen las barras de la estructura, pudiendo ser esta una estructura plana o espacial.

En función del tipo de enlace entre nudos de las estructuras trianguladas, estas pueden clasificarse en estructuras de nudos articulados y estructuras de nudos rígidos. Dicha clasificación influye potencialmente en el proceso de cálculo a seguir para la determinación de esfuerzos.

El alcance de este artículo puede ser muy amplio, si bien aquí se quiere resaltar la importancia de los elementos comprimidos en el proyecto y comprobación de este tipo de estructuras.

72.1.1. Determinación de esfuerzos

En el caso de estructuras de nudos rígidos, sometidas a cargas predominantemente estáticas, en las que la triangulación sea regular y que los ángulos que formen los elementos entre sí no sean muy agudos ($\alpha \leq 30^\circ$), se podrá considerar para la determinación de esfuerzos que aquéllos están articulados en sus extremos, considerando que los posibles esfuerzos inducidos por la propia rigidez de los nudos son despreciables.

La anterior simplificación no es de aplicación cuando existen elementos de gran rigidez o la estructura es hiperestática. En dicho caso será necesario realizar un cálculo riguroso para determinar los esfuerzos en los elementos.

72.2. Comprobación de los elementos

Para la comprobación de los elementos de las estructuras trianguladas se seguirá el mismo procedimiento que para cualquier elemento prismático, según se especifica en el Capítulo IX.

Para la comprobación de los elementos sometidos a compresión, o a compresión y flexión, se adoptarán las longitudes de pandeo que se indican a continuación en los siguientes apartados.

72.3. Longitud de pandeo de los elementos en el plano de la estructura

En general, la longitud de pandeo de los elementos de los cordones comprimidos, de las diagonales y montantes se tomará igual a la longitud real de los mismos.

En el caso de que las uniones de montantes y diagonales a los cordones de la cercha o jácena proporcionen un empotramiento adecuado, es decir ejerzan una cierta coacción al giro en el plano de la estructura, se podrá adoptar como longitud de pandeo de dichas diagonales y montantes $0,9 L$, siendo L la longitud real entre nudos de los mismos. Se exceptúa el caso de que dichas diagonales o montantes estén dimensionados con angulares.

Se considera que una unión tiene un empotramiento adecuado cuando es soldada o en el caso de que sea atornillada, cuando esta se realice, al menos, con dos tornillos.



En el caso de montantes y diagonales comprimidas, dimensionados con angulares y sujetos por una sola cara a los elementos o barras principales (por ejemplo, angulares de celosía en elementos compuestos, sujetos a las cañas), su comprobación rigurosa es compleja. Debido a la geometría del angular, se puede producir un pandeo por flexión y torsión y además se ven sometidos a compresión excéntrica. Por otra parte, tampoco es sencillo determinar con precisión la longitud de pandeo a considerar. Estos efectos pueden tenerse en cuenta de manera simplificada considerando una esbeltez eficaz λ_{ef} del siguiente valor:

Pandeo alrededor del eje de mínima inercia v-v:

$$\lambda_{ef,v} = 0,35 + 0,70 \lambda_v$$

Pandeo alrededor de los ejes y-y, z-z, paralelos a las alas:

$$\lambda_{ef,y} = 0,40 + 0,70 \lambda_y$$

$$\lambda_{ef,z} = 0,40 + 0,70 \lambda_z$$

72.4. Longitud de pandeo de los elementos en la dirección perpendicular al plano de la estructura

Se debe diferenciar entre que exista arriostramiento transversal perpendicular al plano de la estructura del cordón comprimido o no.

72.4.1. Cordón comprimido con arriostramiento transversal.

Para la comprobación del cordón comprimido se considera como longitud de pandeo la distancia entre dos arriostramientos consecutivos.

Si entre los arriostramientos existen un nudo intermedio, de forma que el tramo del cordón comprimido se encuentra sometido a dos esfuerzos de compresión, uno en cada tramo, N_1 y N_2 , siendo $N_1 > N_2$, la longitud de pandeo se obtendrá multiplicando la distancia entre arriostramientos por un coeficiente β de valor:

$$0,75 + 0,25 N_2 / N_1$$

Si entre los arriostramientos existen varios nudos intermedios de forma que a lo largo del tramo considerado existe una variación del esfuerzo axial aplicado en dicho tramo del cordón comprimido, el cálculo de la longitud de pandeo puede realizarse teniendo en cuenta el apartado 70.4 (soportes sometidos a cargas puntuales según su directriz).

72.4.2. Cordón comprimido sin arriostramiento transversal.

En el caso de no existir arriostramiento del cordón comprimido, puede tomarse como longitud de pandeo la longitud de todo el cordón. Como existirán nudos intermedios que provocan una variación del esfuerzo axial a lo largo del cordón, la longitud de pandeo podrá estimarse teniendo en cuenta lo que se dice en el apartado 70.4.



Si se quiere llevar a cabo una evaluación más precisa de la longitud de pandeo del cordón comprimido, será necesario tener en cuenta la rigidez transversal de los montantes y las diagonales y sus condiciones de unión.

72.4.3. Montantes y diagonales

Los montantes y las diagonales se calcularán con una longitud de pandeo igual a la longitud real de la pieza.

En el caso de montantes de celosías con triangulación en K en el que los dos tramos del montante están sometidos a esfuerzos axiales N_1 y N_2 , siendo $N_1 > N_2$, el montante se comprobará a pandeo para el esfuerzo axial máximo de compresión N_1 , considerando un coeficiente β de pandeo de valor

$$0,75 + 0,25 N_2 / N_1 \geq 0,5$$

En el caso de que una diagonal de longitud d sometida a un esfuerzo axial de compresión N se cruce con otra diagonal de longitud d_t sometida a un esfuerzo axial de tracción N_t , teniendo el punto de cruce condiciones de unión, aquélla se comprobará a pandeo considerando el siguiente coeficiente β

$$\sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot d}{N \cdot d_t}} \geq 0,5$$

72.5. Uniones

Las uniones de los elementos o piezas que concurren en un nudo pueden ser soldadas o atornilladas. Las uniones pueden realizarse a tope o por medio de cartelas.

En el caso de estructuras trianguladas espaciales de perfiles tubulares (mallas espaciales) las uniones pueden realizarse a través de piezas especiales a las que se atornillan los elementos que concurren en el nudo.

La comprobación de las uniones se llevará a cabo conforme a lo expuesto en el Capítulo XIV. En particular, para la comprobación de uniones de elementos de sección tubular se aplicará lo expuesto en el Artículo 64 y en el Anejo 9, y lo expuesto también en el Capítulo XI, relativo a la comprobación de uniones tubulares frente a fatiga.

Artículo 73 Estructuras ligeras

73.1. Generalidades

El objeto de este artículo consiste en establecer reglas particulares para el diseño y cálculo de estructuras de acero ligeras constituidas por perfiles y chapas conformadas en frío. Por razón del reducido espesor y de su elaboración este tipo de piezas tiene unas características diferentes de los perfiles y chapas laminados en caliente, como son:

- a) Modificación parcial del límite elástico.



- b) Mayor influencia de los fenómenos de inestabilidad.
- c) Mayor influencia de las tolerancias dimensionales.
- d) Posible variación de dimensiones transversales.
- e) Medios de unión específicos.
- f) Frecuente utilización de métodos de diseño basados en ensayos.
- g) Mayor influencia de la protección anticorrosiva.
- h) Efecto de las cargas provisionales de construcción y mantenimiento.

En este Artículo se tratan los aspectos más importantes, señalando las referencias oportunas al resto del articulado de esta Instrucción.

Este artículo no es de aplicación a las secciones huecas conformadas en frío fabricadas según la norma de producto UNE-EN 10219, para los cuales se debe aplicar el resto del articulado de esta Instrucción

73.2. Ámbito de aplicación

Este artículo es aplicable a perfiles y chapas conformadas en frío a partir de acero, galvanizado o no, fabricado de acuerdo con las normas indicadas en las listas adjuntas, donde se especifica el límite elástico básico y la resistencia última a tracción, en N/mm² que debe ser usado en los cálculos.

UNE-EN 10025-2. Productos laminados en caliente de acero estructural. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de aceros estructurales no aleados

S 235	235	360
S 275	275	430
S 355	355	490

UNE-EN 10025-3. Productos laminados en caliente de acero estructural. Parte 3: Aceros estructurales soldables de grano fino normalizados y laminados normalizados.

S 275 N / NL	275	370
S 355 N / NL	355	470
S 420 N / NL	420	520
S 460 N / NL	460	540



UNE-EN 10025-4. Productos laminados en caliente de acero estructural. Parte 4: Aceros estructurales de laminado termomecánico soldables de grano fino.

S 275 M / ML	275	360
S 355 M / ML	355	450
S 420 M / ML	420	500
S 460 M / ML	460	530

UNE-EN 10346. Chapas y bandas de acero estructural recubiertas en continuo por inmersión en caliente.

S 220 GD+Z	220	300
S 250 GD+Z	250	330
S 280 GD+Z	280	360
S 320 GD+Z	320	390
S 350 GD+Z	350	420

UNE-EN 10149-2. Productos planos laminados en caliente de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 2: Aceros en estado de laminado termomecánico.

S 315 MC	315	390
S 355 MC	355	430
S 420 MC	420	480
S 460 MC	460	520

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

S 260 NC	260	370
S 315 NC	315	430
S 355 NC	355	470
S 420 NC	420	530

UNE-EN 10268. Productos planos laminados en frío de alto límite elástico para conformado en frío.

HC 260 LA	240	340
-----------	-----	-----



HC 300 LA	280	370
HC 340 LA	320	400
HC 380 LA	360	430
HC 420 LA	400	460

UNE-EN 10346. Bandas (chapas y bobinas) de acero de alto límite elástico, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformación en frío.

HX 260 LAD	265	350
HX 300 LAD	300	380
HX 340 LAD	340	410
HX 380 LAD	380	440
HX 420 LAD	420	470

UNE-EN 10346. Bandas (chapas y bobinas) de acero recubiertas en continuo de aleación cinc-aluminio (ZA), por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.

S 220 GD+ZA	220	300
S 250 GD+ZA	250	330
S 280 GD+ZA	280	360
S 320 GD+ZA	320	390
S 350 GD+ZA	350	420

UNE-EN 10346. Chapas y bandas de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformado en frío.

DX 51 D+Z	140	270
DX 52 D+Z	140	270
DX 53 D+Z	140	270

En el caso de utilizar acero con resistencia última a tracción superior a 550 N/mm^2 , la resistencia y ductilidad de las uniones deberá ser justificada mediante ensayo.

Los límites de aplicación en cuanto a espesores de cálculo están determinados por el rango usado en los ensayos de los que se dispone de resultados fiables. A menos que se utilice un diseño basado en dicha modalidad, los espesores límite serán 0,45 mm y 15 mm.

Otra limitación de espesores puede venir impuesta por los medios de unión utilizados.



73.3. Espesor de cálculo

En el espesor de cálculo debe tenerse en cuenta la gran influencia que puede tener el revestimiento protector y las tolerancias de suministro. En el caso de que esta sea igual o inferior a un 5%, el espesor de cálculo se obtendrá deduciendo del nominal exclusivamente el espesor de galvanizado t_{mc}

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{mc}$$

Si la tolerancia de espesor es superior al 5%, debe corregirse el valor anterior.

$$t_{cor} = (t_{nom} - t_{mc})(100 - tol)/95$$

73.4. Modificación del límite elástico

Debido al proceso de deformación en frío en las esquinas y pliegues se produce un aumento de las características mecánicas del acero. Esta ventaja se puede tener en cuenta en algunos casos utilizando un límite elástico promedio f_{ya} :

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb})knt^2 / A_g$$

con el límite superior:

$$f_{ya} < (f_u + f_{yb})/2$$

siendo:

A_g Área bruta de la sección.

k Coeficiente experimental, 5 para conformado con rodillos y 7 para otros métodos de plegado.

n Número de pliegues de la sección de 90°.

El límite elástico promedio f_{ya} puede utilizarse en la comprobación tensional de las secciones. Para las comprobaciones frente a cargas concentradas, pandeo y abolladura por cortante obligatoriamente se usará el límite elástico básico f_{yb} , al igual que en las fórmulas que contemplan interacción de esfuerzos.

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

73.5. Terminología y dimensiones

Las piezas son de sección uniforme formada por elementos planos y acuerdos curvos de pequeño radio. La denominación obedece a la consideración de la estabilidad que puede ofrecer un elemento sometido a tensiones de compresión en el sentido del eje de la pieza:

- a) Elemento no rigidizado: Elemento plano unido solamente en un borde a otro elemento plano.
- b) Elemento rigidizado: Elemento plano unido en ambos bordes a otros elementos o a rigidizadores.
- c) Elemento multirrigidizado: Elemento rigidizado que además dispone de rigidizadores intermedios.
- d) Subelemento: Fracción de un elemento multirrigidizado comprendida entre rigidizadores o bordes.

Para aumentar la capacidad de los elementos comprimidos se disponen rigidizadores longitudinales, tanto intermedios como de borde, con objeto de incrementar la tensión crítica de abolladura. Estos rigidizadores pueden ser rectos o de labio, o bien estar constituidos por varios pliegues. En este artículo no se contemplan los rigidizadores transversales.

Las características de las secciones (área, momentos de inercia, radios de giro, etc.) se determinarán de acuerdo con los métodos convencionales de la resistencia de materiales. Puede simplificarse la obtención de dichas características utilizando el llamado método lineal, en el que el material de la sección se considera concentrado a lo largo de la línea central de la sección, de forma que todos los elementos son reemplazados por elementos rectos o curvos, introduciendo el espesor de cálculo después de realizar el cálculo correspondiente a esa línea central. En este caso se despreciará la inercia de elementos planos con relación al eje paralelo a sí mismo. Este método permite la consideración precisa de la longitud de cada elemento plano para calcular su esbeltez adimensional y su ancho eficaz consiguiente. Los elementos curvos no serán objeto de reducción.

Cuando el radio interior de un pliegue sea inferior a cinco veces el espesor y a una décima parte de la longitud del elemento plano contiguo, se puede considerar que la sección está formada por ángulos vivos, sin acuerdos, y tomar la longitud de los elementos planos como la proyección correspondiente a los puntos medios de las esquinas. Este método es ligeramente conservador ya que atribuye a los elementos planos mayor longitud de la real.

A la longitud de cada elemento plano se la denominará anchura recta b_p .



Figura 73.5. Anchura recta b_p

73.6. Relaciones anchura/ espesor

La aplicación de las expresiones de este artículo está limitada a las relaciones anchura/espesor que se indican en la figura adjunta, que representa el campo de existencia de ensayos en los que se basan las fórmulas de cálculo.

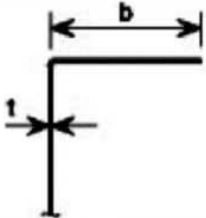
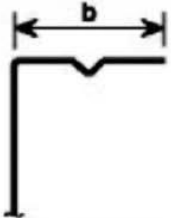
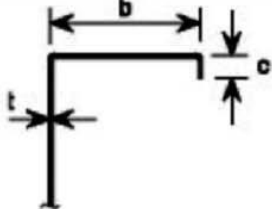
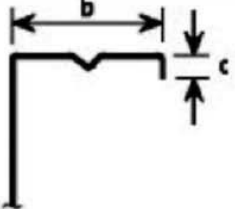
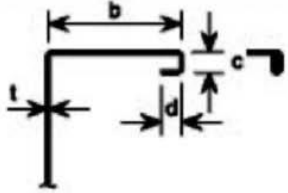
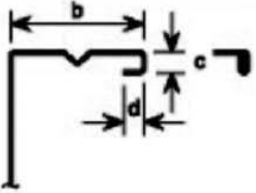
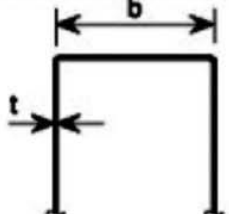
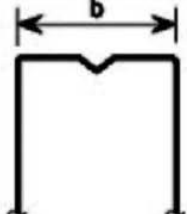


		$b/t \leq 50$
		$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
		$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \text{sen} \phi$

Figura 73.6. Límites de relaciones anchura/espesor para la aplicación de las expresiones de cálculo de este Artículo

Los rigidizadores deberán disponer de una rigidez suficiente para evitar su propia abolladura, lo cual implica limitaciones a su longitud libre; por el contrario, por exigencia de la rigidez que deben aportar al elemento contiguo requieren superar una dimensión mínima. Las limitaciones siguientes tienen esos objetivos:

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,3$$

73.7. Combadura de alas

En elementos sometidos a flexión de alas anchas en comparación al canto existe la tendencia de las mismas a curvarse hacia la fibra neutra. Esta distorsión puede despreciarse siempre que su magnitud no supere el 5% del canto. .



Figura 73.7. Combadura de alas (u)

Para calcular la combadura puede utilizarse la siguiente expresión:

$$u = 2 \frac{\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z}$$

en donde:

b_s Semiancho de ala en secciones cerradas u omegas, ancho en secciones Z o C.

t Espesor.

z Distancia a la línea neutra.

σ_a Tensión media en el ala, calculada con la sección bruta.

73.8. Distribución de tensiones no uniforme en alas

Debido a la restricción de deformación por tensiones tangenciales que se produce en alas de vigas de reducidas relaciones luz/ancho, se crea una alteración de la distribución uniforme de tensiones normales en las mismas. Este fenómeno es el descrito como "arrastre de cortante" en el Artículo 21, en el que se establecen las fórmulas adecuadas para evaluar sus efectos.

Con objeto de tener en cuenta de forma simplificada el incremento de tensión en el caso de carga concentradas o repartidas, se tomará un ancho reducido de ala, tanto traccionada como comprimida, de acuerdo con la siguiente tabla



Tabla 73.8. Anchura eficaz por arrastre por cortante

L/ bs	30	25	20	18	16	14	12	10	8	6
Reducción	1,00	0,96	0,91	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,67	0,55

73.9. Abolladura por tensiones normales

73.9.1. Introducción

En las estructuras ligeras el efecto de las tensiones de compresión puede reducir la rigidez y capacidad resistente al provocar la abolladura, tanto local como de distorsión de las secciones. El efecto de la abolladura debida a tensiones normales se puede tener en cuenta utilizando el denominado ancho reducido en los elementos planos comprimidos de acuerdo con las reglas que se indican más adelante.

El comportamiento de los elementos planos que conforman una sección está determinado por la resistencia postcrítica, que implica una redistribución de tensiones normales susceptible de ser asimilada a una tensión máxima uniforme $\sigma_{com,Ed}$ aplicada en un ancho reducido b_p , producto del rendimiento ρ por la anchura recta b_p .

73.9.2. Esbeltez de chapa

La consideración de anchos reducidos determina unas características geométricas nuevas que son función de los esfuerzos actuantes. Por lo tanto en este tipo de estructuras existe una dependencia entre los esfuerzos y la geometría una vez que la magnitud de las tensiones de compresión rebasa unos determinados límites.

Para caracterizar a un elemento se define la denominada esbeltez relativa de chapa $\bar{\lambda}_p$ calculada para una tensión de compresión igual al límite elástico f_{yb} , que depende de su tensión crítica ideal de abolladura σ_{cr} .

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_{yb}}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E k_\sigma}} \cong \frac{b_p/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

El coeficiente k_σ de abolladura puede obtenerse en las tablas 73.9.2.a y 73.9.2.b.

Tabla 73.9.2.a. Paneles interiores comprimidos. Anchura reducida

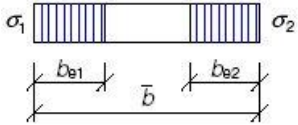
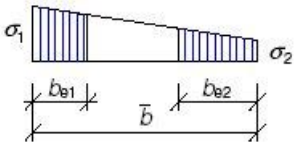
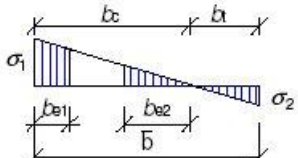
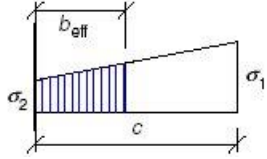
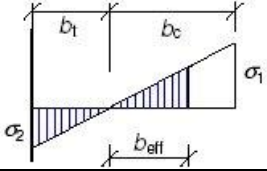
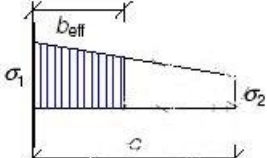
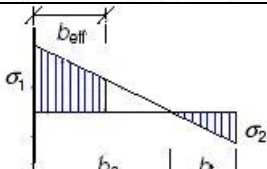
Distribución de tensiones (compresión positiva)				Anchura reducida (b_{ef})		
				$\psi = 1:$ $b_{ef} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5b_{ef}$ $b_{e2} = 0,5b_{ef}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{ef} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{ef}$ $b_{e2} = b_{ef} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{ef} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4b_{ef}$ $b_{e2} = 0,6b_{ef}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Coeficiente de abolladura k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$

Tabla 73.9.2.b. Paneles comprimidos con un borde libre. Anchura reducida

Distribución de tensiones (compresión positiva)		Anchura reducida (b_{ef})			
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{ef} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{ef} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 > \psi > -3$	
Coefficiente de abolladura $k\sigma$	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{ef} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{ef} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Coefficiente de abolladura $k\sigma$	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

En el caso de que la tensión máxima $\sigma_{com,Ed}$ sea inferior a f_{yb} / γ_{M0} , se utilizará la esbeltez de chapa reducida:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb} / \gamma_{M0}}}$$

Para el estado de servicio, donde la tensión de compresión máxima es $\sigma_{com,Ed,ser}$, la esbeltez a utilizar será:

$$\bar{\lambda}_{p,ser} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,ser}}{f_{yb}}}$$

En estas fórmulas que permiten determinar el coeficiente de abolladura, y por consiguiente, la esbeltez relativa de chapa (ver apartado 20.7), la relación de tensiones ψ debe ser considerada de forma realista, es decir debe corresponder con la definitiva



distribución de tensiones que se da en el conjunto de elementos que forman la sección una vez se ha aplicado la reducción a anchos eficaces. No obstante, en alas puede admitirse que se mantiene dicha relación igual que en la sección inicial sin reducción; para almas deberá procederse por iteración.

73.9.3. Ancho reducido

En elementos rigidizados el coeficiente ρ , para el caso más general, vale:

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad \rho = 1,00$$

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad \rho = \frac{1 - 0,055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,\text{red}}}{\bar{\lambda}_{p,\text{red}}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,\text{red}})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)}$$

En elementos no rigidizados:

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} \leq 0,748 \quad \rho = 1,00$$

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} > 0,748 \quad \rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,\text{red}}}{\bar{\lambda}_{p,\text{red}}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,\text{red}})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)}$$

Cuando se trata de obtener las características geométricas en estado límite de servicio, en estas fórmulas se sustituirá la esbeltez de chapa reducida $\lambda_{p,\text{red}}$ por $\lambda_{p,\text{ser}}$.

Una simplificación razonablemente conservadora consiste en calcular las características geométricas correspondientes a los casos extremos de axil y flector con tensión máxima igual al límite elástico f_{yb} . Este recurso se utilizará en las comprobaciones para estado límite último con interacción axil-flector. Los valores obtenidos serán:

A_{ef} , área efectiva calculada para tensión uniforme f_{yb} por axil.

W_{ef} , módulo resistente calculado para la máxima tensión de compresión f_{yb} por flexión.

Deberá tenerse en cuenta el efecto de modificación del centro de gravedad que puede darse al obtener A_{ef} , como en las secciones del tipo indicado en las figuras adjuntas:

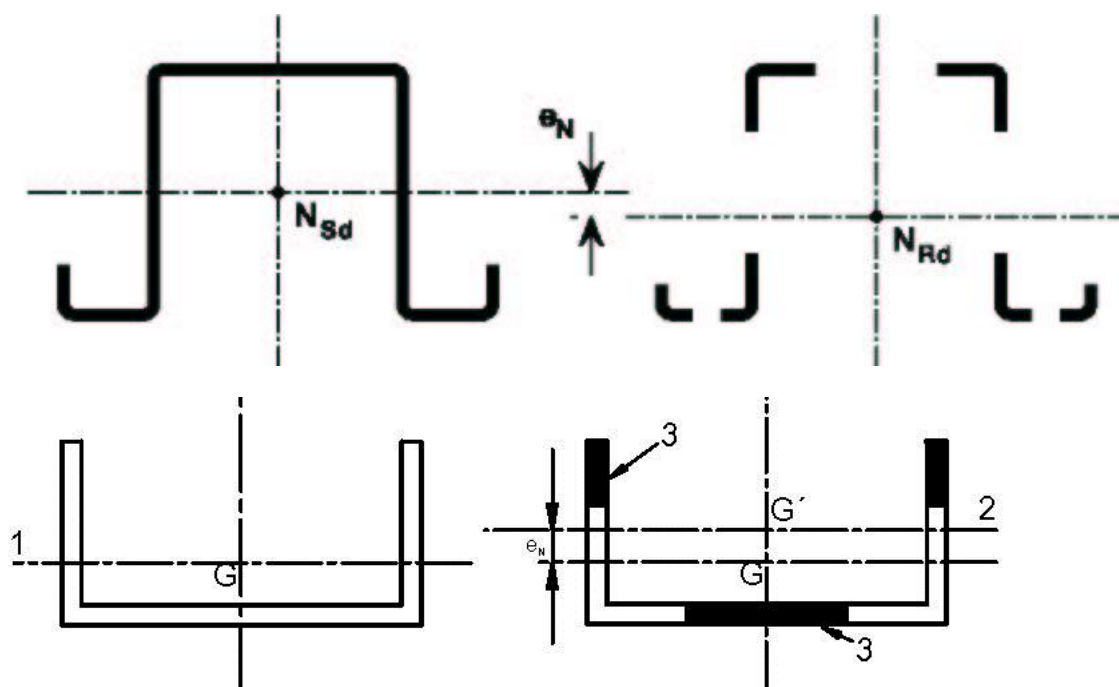


Figura 73.9.3. Variación de la posición del eje baricéntrico de la sección

73.10. Abolladura por tensiones tangenciales.

El efecto de la abolladura por tensiones tangenciales se tendrá en cuenta mediante la limitación de la capacidad a cortante de las almas de las secciones por medio de la denominada resistencia a la abolladura por tensión tangencial f_{bv} .

Esta resistencia se basa en el método postcrítico simple y prescinde de la existencia de rigidizadores transversales. La fórmula de la capacidad a cortante de un alma es:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\text{sen}\phi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

siendo:

h_w Distancia entre puntos medios extremos del alma, medida en vertical.

ϕ Ángulo entre alma y alas.

t Espesor de cálculo.

El valor de f_{bv} depende de la esbeltez a cortante del alma $\bar{\lambda}_w$ de acuerdo con la siguiente tabla 73.10, en donde en la segunda columna se contempla el caso de que existan dispositivos que eviten la distorsión local, tales como ejiones de correas.

Tabla 73.10. Valores de f_{bv} para el cálculo de la resistencia a abolladura por cortante $V_{b,Rd}$

Esbeltez relativa del alma	Alma sin rigidización en el apoyo	Alma con rigidización en el apoyo
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

La esbeltez a cortante del alma $\bar{\lambda}_w$ se obtendrá, según el caso, mediante las siguientes expresiones:

Para almas sin rigidización longitudinal intermedia:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

equivalente a la expresión general, considerando que la tensión tangencial de inicio de plastificación es la correspondiente al criterio de von Mises $0,58 f_{yb}$ y que el coeficiente de abolladura por cortante k_τ es 5,34, al no existir rigidización transversal, $\bar{\lambda}_w = \sqrt{0,58 f_{yb} / \tau_{cr}}$

Para almas con rigidización longitudinal intermedia, cumpliéndose la siguiente condición $\bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$, se utilizará la siguiente expresión:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_{yb}}{k_\tau E}}$$

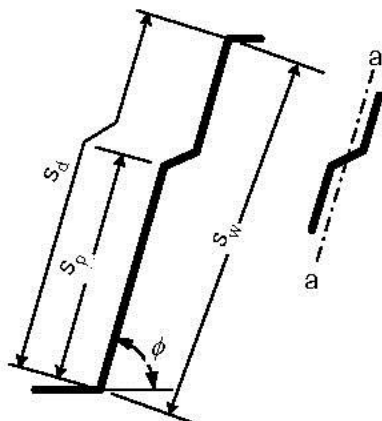


Figura 73.10. Datos geométricos para el cálculo de la esbeltez relativa del alma, con rigidización longitudinal intermedia

En esta expresión, el coeficiente de abolladura k_τ puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \left(\frac{\sum I_s}{s_d} \right)^{1/3}$$

siendo:

- I_s Momento de inercia del rigidizador alrededor del eje a-a (figura 73.10).
- s_d Longitud de desarrollo del alma.
- s_p Longitud recta de la mayor fracción de alma.
- s_w Longitud recta total del alma.

73.11. Estado límite último

73.11.1. Resistencia de secciones

Las estructuras ligeras pueden ser comprobadas con los criterios aplicables del Capítulo IX, donde se contempla la interacción de esfuerzos, con las características geométricas correspondientes a la sección reducida para la máxima tensión de compresión $\sigma_{com,Ed}$. En el caso de que la sección resulte de clase 3 a flexión en el plano correspondiente a su eje principal puede aplicarse el apartado 73.11.2. También puede utilizarse el siguiente criterio de limitación de tensiones:

$$\sigma_{tot,Ed} \leq f_{ya} / \gamma_{M0}$$



$$\tau_{\text{tot,Ed}} \leq \frac{f_{ya} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$\sqrt{(\sigma_{\text{tot,Ed}}^2 + 3\tau_{\text{tot,Ed}}^2)} \leq 1,1 \frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}}$$

siendo:

$\sigma_{\text{tot,Ed}}$ Suma de tensiones normales.

$\tau_{\text{tot,Ed}}$ Suma de tensiones tangenciales.

Ambas tensiones se calcularán en la fibra más desfavorable considerando todos los esfuerzos que actúen en la sección en cuestión:

$$\sigma_{\text{tot,Ed}} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed} + \sigma_{w,Ed}$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}$$

donde:

$\sigma_{N,Ed}$ Tensión normal debida al axil, usando la sección reducida.

$\sigma_{M_y,Ed}$ Tensión normal debida al flector $M_{y,Ed}$, usando la sección reducida.

$\sigma_{M_z,Ed}$ Tensión normal debida al flector $M_{z,Ed}$, usando la sección reducida.

$\sigma_{w,Ed}$ Tensión normal por torsión de alabeo, usando la sección bruta.

$\tau_{V_y,Ed}$ Tensión tangencial debida al cortante $V_{y,Ed}$, usando la sección bruta.

$\tau_{V_z,Ed}$ Tensión tangencial debida al cortante $V_{z,Ed}$, usando la sección bruta.

$\tau_{t,Ed}$ Tensión tangencial debida a torsión uniforme, con la sección bruta.

$\tau_{w,Ed}$ Tensión tangencial debida a torsión de alabeo, con la sección bruta.

A menos que se demuestre mediante ensayo, no se admite la redistribución plástica de esfuerzos flectores entre diferentes secciones de una pieza.

En aquellos casos en los que la flexión produce el inicio de plastificación en la fibra traccionada antes que en la fibra comprimida, se puede utilizar la reserva plástica de la zona traccionada, sin ninguna limitación de la deformación ε , estableciendo el equilibrio con la zona comprimida, en donde se alcanza f_{yb} en la fibra extrema.



Figura 73.11.1. Distribución plástica de tensiones en la parte traccionada

73.11.2. Resistencia de secciones de clase 3.

En las comprobaciones de resistencia se puede utilizar una resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ mejorada cuando la mayor esbeltez $\bar{\lambda}$ de los elementos constitutivos de la sección es tal que determina que la sección pertenece a la clase 3.

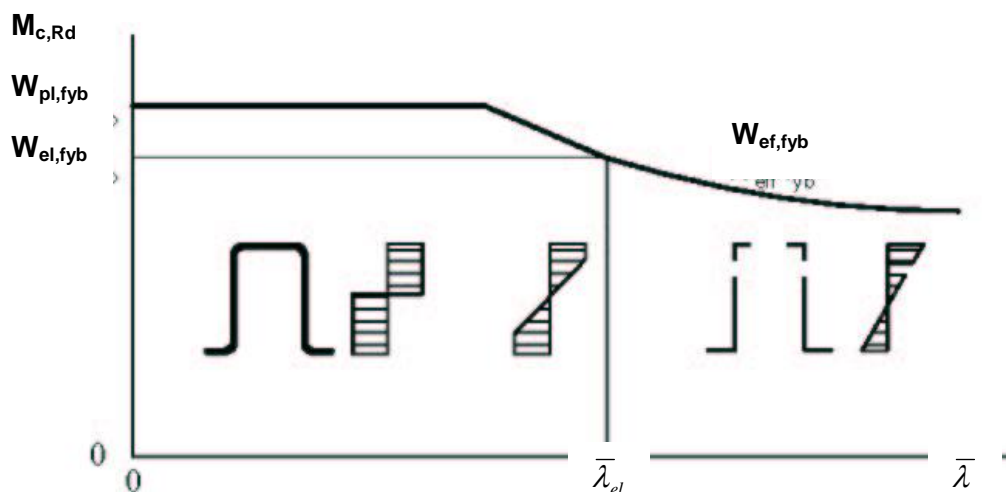


Figura 73.11.2. Resistencia de cálculo a flexión de secciones de clase 3

$$M_{c,Rd} = f_{yb} \left[W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) \left(1 - \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}_{el}} \right) \right] / \gamma_{M0} \leq M_{pl,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

En esta expresión $\bar{\lambda}$ es la esbeltez del elemento de mayor relación $\bar{\lambda} / \bar{\lambda}_{el}$, que debe ser calculada con la tensión correspondiente a f_{yb} , es decir, equivale a $\bar{\lambda}_p$.

La esbeltez $\bar{\lambda}_{el}$ a partir de la cual se realiza la interpolación será:

$$\bar{\lambda}_{el} = 0,5 + \sqrt{0,25 - 0,055(3 + \psi)}$$

para elementos planos con dos bordes rigidizados. Para elementos en voladizo con borde libre sin rigidizar, $\bar{\lambda}_{el} = 0,673$. Para elementos rigidizados en su borde libre o en un punto intermedio, $\bar{\lambda}_{el} = 0,65$, incluyendo en este caso las alas comprimidas de correas.

73.11.3. Resistencia a pandeo

Los elementos de estructuras ligeras se comprobarán a pandeo con las fórmulas correspondientes del Artículo 35, de acuerdo con su clasificación. Para las secciones que sean de clase 4 se utilizarán las características geométricas A_{ef} y W_{ef} calculadas siguiendo las indicaciones anteriores.

Dado el reducido espesor de este tipo de secciones la estabilidad torsional suele ser escasa, por lo que debe comprobarse el pandeo por torsión y por torsión y flexión en secciones particularmente proclives a dicho fenómeno, como son aquellas cuyo centro de gravedad no coincide con el centro de esfuerzos cortantes y que se indican en la figura 73.11.3.

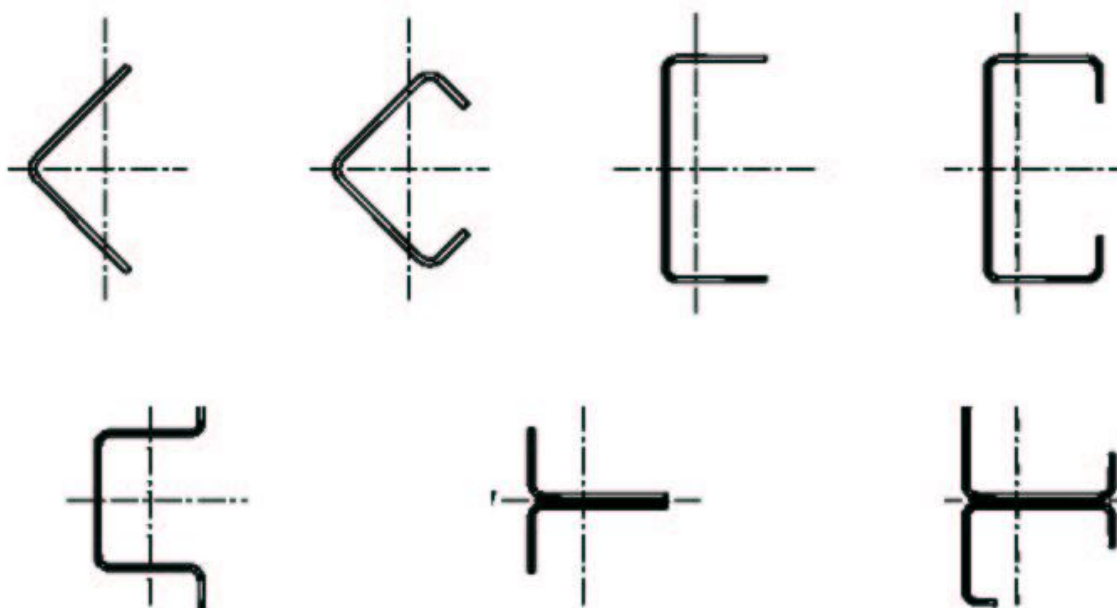


Figura 73.11.3. Secciones transversales proclives al pandeo por torsión y flexión

En el apartado 73.11.4 se establecen las curvas de pandeo a considerar, de acuerdo con el tipo de sección transversal. La esbeltez adimensional del elemento debe obtenerse considerando el esfuerzo axial crítico elástico menor N_{cr} .

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{N_{cr}}}$$

siendo: $N_{cr} = \min (N_{cr,F}, N_{cr,T}, N_{cr,TF})$

donde:

$N_{cr,F}$ Esfuerzo axial crítico elástico de pandeo por flexión.

$N_{cr,T}$ Esfuerzo axial crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,TF}$ Esfuerzo axial crítico elástico de pandeo por flexión y torsión.



Para la obtención de estos valores se aplicará lo indicado en los apartados 35.1.3 y 35.1.4.

En aquellas estructuras de fachadas o cubiertas en las que las correas están fijadas a chapas perfiladas, mediante tornillos roscachapa en una de sus alas, se podrá considerar que se obtiene un arriostamiento continuo de la misma cuando se verifique que:

$$S \leq S_{ch}$$

siendo S la rigidez requerida a cortante de la correa, la cual puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$S = \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}, \quad h, \text{ altura de la correa}$$

y S_{ch} la rigidez que proporciona la chapa de espesor t , altura del nervio h_w , separación entre correas s y b_{fal} la longitud total, no interrumpida, del faldón (es decir, un múltiplo de la separación s), la cual puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$S_{ch} = 1000 \sqrt{t^3} \left(50 + 10 \sqrt[3]{b_{fal}} \right) \frac{s}{h_w} \quad (\text{en N}), \quad (\text{todas las dimensiones en mm})$$

En el caso de que las fijaciones se establezcan en nervios alternados la rigidez de la chapa se reduce a una quinta parte.

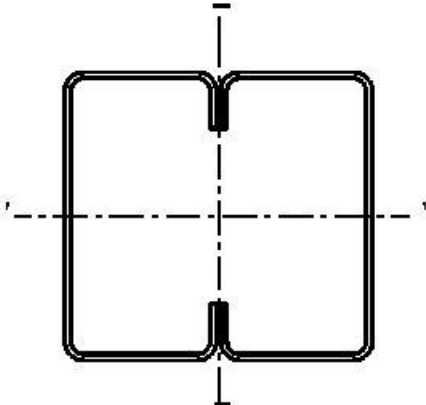
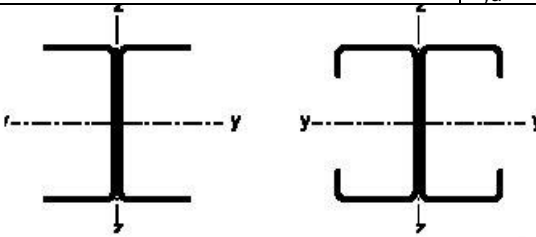

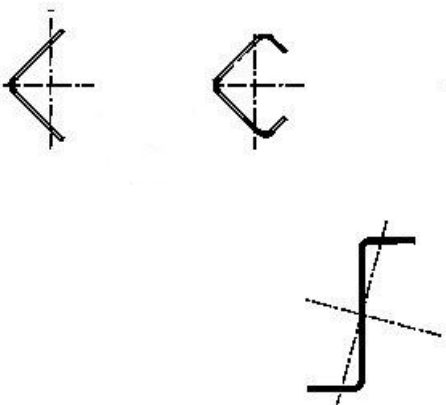
La comprobación de la inestabilidad de elementos sometidos a flexocompresión puede llevarse a cabo mediante la siguiente fórmula de interacción:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0,8} \leq 1$$

73.11.4. Curvas de pandeo

En la tabla 73.11.4 se dan las curvas de pandeo a aplicar en función del tipo de sección que se considere.

Tabla 73.11.4. Curvas de pandeo para secciones transversales ligeras

Tipo de sección transversal	Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo
	Si se utiliza f_{yb}	cualquiera
	Si se utiliza $f_{ya}^{*)}$	cualquiera
	y-y	a
	z-z	b
	cualquiera	b
 <p data-bbox="758 1720 906 1821">u otra sección transversal</p>	cualquiera	c
<p>*) El límite elástico medio mejorado f_{ya} no debería utilizarse a menos que A_{ef} (área reducida) = A_g (área bruta)</p>		

73.12. Estado límite de servicio

73.12.1. General

En la comprobación del estado límite de servicio son aplicables los requisitos generales con las particularidades adicionales que se indican en este apartado.

Las propiedades geométricas de la sección reducida eficaz se obtendrán de acuerdo con el punto 73.9.3. Dado que éstas varían con la tensión a partir de valores de $\bar{\lambda}_{p,ser} \geq 0,673$, los elementos pasan a tener una geometría e inercia variables, pudiendo considerarse de manera simplificada un momento de inercia ficticio obtenido de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I_{fic} = I_g - \frac{\sigma_g}{\sigma} (I_g - I_{\sigma,ef})$$

donde:

- I_g Momento de inercia de la sección bruta.
- σ_g Tensión de compresión máxima en servicio calculada con I_g .
- σ Máxima tensión de compresión $\sigma_{com,E,ser}$ en el vano.
- $I_{\sigma,ef}$ Momento de inercia de la sección eficaz correspondiente a σ .

73.12.2. Deformaciones plásticas.

En estructuras donde se admita el análisis global basado en ensayos se puede producir una redistribución plástica en estado de servicio que debe ser considerado. A tal efecto la comprobación de apoyos interiores de vigas continuas con el flector y la reacción no debe exceder 0,9 el valor de la resistencia de diseño.

73.12.3. Flechas.

Las flechas en correas y cerramientos deben estar limitadas para no afectar negativamente la estanqueidad, aislamiento o aspecto estético de la construcción.

Para su determinación se utilizará el cálculo lineal con propiedades geométricas realistas, que pueden obtenerse con la simplificación indicada en 73.12.1. En sistemas continuos de correas con solapes o manguitos debe preverse el aumento de deformación debido a deslizamiento de tornillos en uniones.

Como límite de flecha para sobrecarga variable de corta duración puede admitirse un valor de $l/200$ de la luz del vano.

73.13. Uniones

73.13.1. Generalidades

En este apartado se tratan las uniones de perfiles y chapas conformadas en frío de acero, galvanizado o no, así como sus empalmes y conexiones mutuas para formar elementos compuestos.

Los principios generales son los establecidos en los apartados del Capítulo XIV, ampliándose aquí el alcance a espesores inferiores a 4 mm.

En el caso de utilizar acero de resistencia última a tracción superior a 550 N/mm², la resistencia y ductilidad de las uniones deberá ser justificada mediante ensayo.

Los medios de unión que se contemplan en esta Instrucción, para los que se ofrecen fórmulas de cálculo, son fijaciones mecánicas (tornillos roscachapa y tornillos convencionales) y soldaduras (por puntos, de resistencia o de fusión, y por arco eléctrico). Otros medios de unión pueden ser utilizados con valores de su capacidad resistente basados en ensayos, cumpliendo los requisitos de EN 1993-1-3.

Dado que en este tipo de estructuras la estabilidad local es determinante en el diseño se impone garantizar que las uniones de elementos sometidos a compresión se realicen a través de la parte efectiva de la sección, teniendo en cuenta las posibles excentricidades locales.

La capacidad resistente de las uniones y empalmes a tracción debe ser, como mínimo, la mitad de la correspondiente a la de la sección neta. En el caso de diseño sismorresistente el requisito de ductilidad obliga a que sea un 20% superior al de la sección neta.

En los elementos sometidos a compresión, independientemente de la magnitud del esfuerzo, la unión debe ser capaz de resistir la capacidad a pandeo de los mismos. De este modo se asegura que en el agotamiento fallará antes el elemento que la unión o empalme.

73.13.2. Esfuerzos en las uniones y empalmes

Un recurso equivalente a la determinación de esfuerzos de segundo orden, que se añaden a los que actúan sobre una unión o empalme, consiste en considerar el efecto de un esfuerzo flector adicional ΔM_{Ed} y de un esfuerzo cortante adicional ΔV_{Ed} , obtenidos con las siguientes fórmulas:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{ef}}{A_{ef}}$$

$$\Delta V_{Ed} = \frac{\pi}{L} N_{Ed} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{ef}}{A_{ef}}$$



siendo:

A_{ef}, W_{ef}	Valores de la sección reducida del elemento.
L	Longitud.
χ	Coefficiente de reducción por pandeo en el plano de pandeo más desfavorable.
N_{Ed}	Esfuerzo axial de cálculo.

73.13.3. Uniones con fijaciones mecánicas.

Las uniones mediante tornillos roscachapas cumplirán la norma UNE-EN ISO 10666 “Tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Características mecánicas y funcionales” y el resto de normas específicas aplicable a su geometría particular (hexagonales, avellanados, de cabeza abombada etc. en UNE-EN ISO 15480 a 15483). Los tornillos convencionales cumplirán los requisitos del Artículo 29.

La disposición de elementos de fijación debe ser tal que permita el montaje y el mantenimiento posterior, así como acorde con las distancias mutuas y a bordes que se indican en las fórmulas de cálculo.

Un principio general en estas uniones es que la rotura debe ser dúctil, es decir que la capacidad a cortante del tornillo es superior a la correspondiente a cualquier otro modo de fallo.

73.13.3.1. Tornillos roscachapa

Este tipo de unión se utiliza frecuentemente para fijar las chapas de cubierta o fachada a las correas, para conectar dichas chapas entre sí en bordes longitudinales y en solapes transversales (perpendicular al sentido del grecado). También sirve para conectar barras simples entre sí, formando piezas compuestas.

La gama de diámetros suele variar entre 3 y 8 mm. Tanto en los autorroscantes como en los autotaladrantes se deben seguir las instrucciones de montaje del fabricante en cuanto a colocación. El par de apriete aplicado debe ser ligeramente superior al necesario para formar el roscado e inferior al de rotura por torsión de la cabeza del tornillo. Dicho par de formación de roscado deberá ser inferior a los dos tercios del correspondiente a rotura de espiras de rosca y de cabeza del tornillo a torsión.

Las distancias a borde libre e_1 y mutua entre fijaciones en ambos sentidos p_1 y p_2 debe ser superior a tres diámetros nominales. En el sentido transversal la distancia e_2 mínima al borde es de vez y media el diámetro.

Un caso frecuente de carga es el correspondiente a succión de viento que solicita a tracción las fijaciones entre chapas y correas. Para que sea válido aplicar las fórmulas que se citan más adelante es necesario que la chapa más fina tenga un espesor comprendido



entre 0,5 y 1,5 mm, debiendo ser el de la chapa más gruesa superior a 0,9 mm en todo caso.

La cabeza del tornillo debe situarse siempre en contacto con la chapa más fina. Deben estar dotados de una arandela de rigidez suficiente como para movilizar la capacidad resistente de la unión frente a dos tipos clásicos de fallo:

- a) Por extracción o arranque de la parte roscada, por ejemplo en una fijación sobre correa donde se rasga el roscado en esta última (pull-out)
- b) Por perforación o punzonado de la chapa en contacto con la cabeza del tornillo, por ejemplo el despegue con desgarro de la chapa fijada a las correas alrededor de la cabeza o arandela del tornillo (pull through)

La capacidad a extracción $F_{o,Rd}$ depende del paso de rosca en relación con el espesor de chapa afectada t_{sup} :

$$\text{Para } \frac{t_{sup}}{s} < 1 \qquad F_{o,Rd} = 0,45dt_{sup}f_{u,sup} / \gamma_{M2}$$

$$\text{Para } \frac{t_{sup}}{s} \geq 1 \qquad F_{o,Rd} = 0,65dt_{sup}f_{u,sup} / \gamma_{M2}$$

La capacidad a perforación es función del diámetro de la cabeza del tornillo o de la arandela d_w , del espesor t de la chapa afectada y de la naturaleza del esfuerzo.

$$\text{Para acciones estáticas:} \qquad F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{Para acciones que incluyen viento:} \qquad F_{p,Rd} = 0,5d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

En el caso de cubiertas debe proyectarse una disposición lo más uniforme y regular posible, si bien en los bordes de aleros y testeros es recomendable doblar el número de fijaciones a lo largo de un décimo de la dimensión en cuestión para prever efectos de amplificación local del viento. Otra regla de buena práctica es realizar los solapes transversales de chapa de cubierta sobre una correa doblada o con ala superior sobreabundante.

La colocación de las fijaciones sólo es válida a efectos estructurales si se sitúan en la parte baja o valle de la onda. Las fijaciones en cresta sólo pueden considerarse por razones de estanqueidad. En el caso de disponer una fijación no centrada, en mitad del ancho del valle, se debe reducir la capacidad de perforación en un 10 % y si se colocan dos fijaciones por onda cada una de ellas se reducirá un 30 % (ver figura 73.13.3.1).

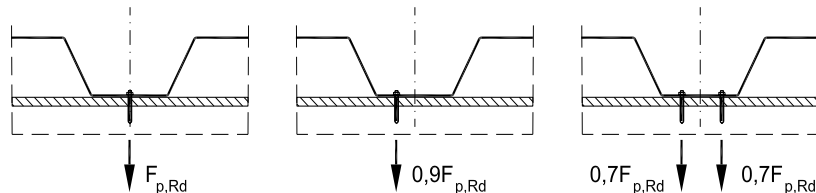


Figura 73.13.3.1. Reducción de la resistencia al arrancamiento según la posición de las fijaciones

La resistencia a tracción del propio tornillo $F_{t,Rd}$ estará garantizada por el fabricante y debe superar a las de extracción $F_{o,Rd}$ y perforación $F_{p,Rd}$. Es recomendable que la resistencia a extracción supere a la de perforación para evitar arrancamientos bruscos en el caso de cubiertas sometidas a cargas ascendentes.

Para esfuerzos cortantes, en el plano de la chapa, la resistencia frente a aplastamiento de la fijación contra la chapa depende de la relación de espesores:

- a) Cuando ambos espesores son iguales :

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2} \quad \text{siendo } \alpha = 3,2(t/d)^{0,5} \leq 2,1$$

- b) Si el mayor espesor t_1 es tal que $t_1 \geq 2,5t$, siendo t inferior a 1mm, se aplica el caso anterior.
- c) Si el mayor espesor t_1 es tal que $t_1 \geq 2,5t$, pero $t \geq 1\text{mm}$, se toma directamente para el valor de $\alpha = 2,1$
- d) Para casos intermedios, donde $t < t_1 < 2,5t$, α se obtiene por interpolación.

La resistencia a cortante del propio tornillo $F_{v,Rd}$, garantizada por el fabricante, debe ser un 20% superior a la de aplastamiento $F_{b,Rd}$.

La suma de resistencias individuales de tornillos debe superar también en un 20% la correspondiente a la rotura por sección neta $F_{n,Rd}$.

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

En bandas y pletinas sometidas a tracción es recomendable que el valor anterior no resulte inferior a la capacidad elástica de la sección bruta para provocar la plastificación de la barra antes de que fallen las uniones.

$$F_y = A f_y / \gamma_{M0}$$

En el caso de esfuerzos simultáneos de tracción y cortante se aplicará la expresión:



$$\left(\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{0,Rd})} \right) + \left(\frac{F_{v,Rd}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \right) \leq 1$$

73.13.3.2. Tornillos convencionales.

Las uniones mediante tornillos se utilizan frecuentemente para fijar las correas de fachada o cubierta a los ejiones y para empalmar correas formando sistemas de vigas continuas. Otra aplicación se da en la unión de puntos de correas cercanos a los apoyos sobre dinteles, mediante tornapuntas o jabalcones inclinados que entregan en el ala inferior de los dinteles para evitar el pandeo lateral de la misma.

El espesor de la chapa más fina debe ser inferior a 3 mm e igual o superior a 0,75 mm; el espesor de la chapa más gruesa t_1 no tiene influencia.

Las distancias mutuas entre tornillos deben ser superiores a tres diámetros tanto en la dirección del esfuerzo como en dirección transversal. Para el borde frontal e_1 se exige un diámetro, para bordes laterales e_2 diámetro y medio.

En esta uniones se suele dar una holgura entre el diámetro nominal d y el del agujero d_0 que facilite el montaje. Se pueden utilizar tornillos a partir de métrica M6, si bien un diámetro ventajoso es M16, con agujero $d_0=18$ mm para correas en C y Z.

La calidad del material del tornillo puede ser de 4.6 a 10.9, pero no puede contarse con el efecto de pretensado de los tornillos de alta resistencia.

El cálculo del tornillo a tracción y cortante se rige por lo establecido en el Capítulo XIV. Utilizando conjuntos estándar de tuercas y arandelas, no es previsible que se produzcan fenómenos de rotura por perforación (pull through).

La resistencia frente a esfuerzos cortantes debe ser comprobada para evitar el aplastamiento de la chapa o la rotura por sección neta. Está última sufre una reducción comparativamente más desfavorable que en los tornillos roscachapa.

La resistencia a aplastamiento de la chapa vale:

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u dt / \gamma_{M2}$$

siendo:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d}, 1\right)$$

$$k_t = (0,8t + 1,5) / 2,5 \quad \text{para} \quad 0,75 \leq t \leq 1,25$$

$$k_t = 1 \quad \text{para} \quad t > 1,25$$

La resistencia en la sección neta es:

$$F_{n,Rd} = \left(1 + 3r \left(\frac{d_0}{u} - 0,3 \right) \right) \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo:

r = número de tornillos en la sección / número total de tornillos.

$$u = \min(2e_2, p_2)$$

donde las variables recogidas en las fórmulas tienen el mismo significado que en el Capítulo XIV.

73.13.4. Uniones por puntos de soldadura

Las uniones entre elementos, galvanizados o no, de espesor máximo hasta 4 mm, pueden ser ejecutadas mediante soldadura por puntos, siempre que el espesor mínimo no supere los 3 mm.

Se puede utilizar soldadura por fusión o por resistencia. A menos que se realicen ensayos previos de producción, el diámetro de cálculo de un punto de soldadura será:

Para soldadura por fusión $d_s = 0,5t + 5$ (en mm)

Para soldadura por resistencia $d_s = 5t^{0,5}$ (en mm)

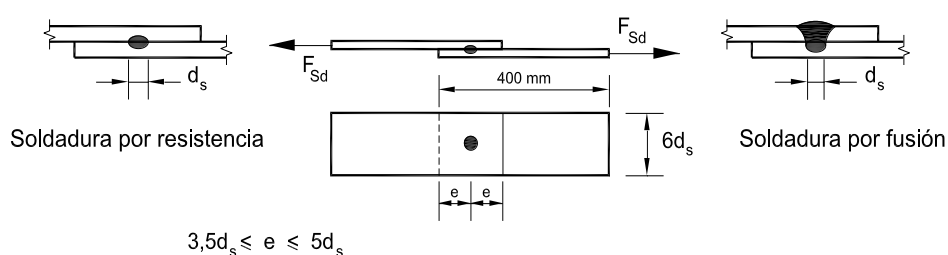


Figura 73.13.4. Probeta para ensayo de soldadura por puntos

La distancia entre el último punto de soldadura y el borde frontal e_1 estará comprendida entre dos y seis veces el diámetro de cálculo d_s . La distancia entre una fila de puntos y el borde paralelo e_2 debe ser inferior a cuatro veces el diámetro de cálculo d_s .

Las distancias mutuas entre puntos debe ser superior a tres diámetros e e inferior a 8 para p_1 y a seis diámetros para p_2 .

Este tipo de unión solamente es adecuado para transmitir esfuerzos en el plano de las chapas. La capacidad a cortante de cada punto $F_{v,Rd}$ debe superar en un 25 % a las de rasgado o aplastamiento y la suma de todos ellos también debe ser un 25% superior a la capacidad resistente de la sección neta $F_{n,Rd}$.



Se definen cuatro tipos de fallo:

- a) Cortante: $F_{v,Rd} = (\pi/4)d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$
- b) Sección neta: $F_{net,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
- c) Fallo del extremo: $F_{e,Rd} = 1,4t_e f_u / \gamma_{M2}$
- d) Aplastamiento y rasgado cuando $t \leq t_1 \leq 2,5 t$: $F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}d_s f_u / \gamma_{M2}$

Si $t_1 > 2,5t$, aplica la misma fórmula, con los siguientes límites superiores:

$$F_{tb,Rd} < 0,7d_s^2 f_u / \gamma_{M2} \qquad F_{tb,Rd} < 3,1d_s t f_u / \gamma_{M2}$$

73.13.5. Uniones por solape

Las uniones entre elementos de espesor máximo 4 mm se pueden ejecutar mediante el procedimiento de arco eléctrico de acuerdo con los requisitos de este apartado. El espesor de garganta debe ser elegido de forma que la resistencia de la unión quede determinada por el espesor de la chapa más fina. Si se toma un espesor de garganta igual al espesor de la chapa más fina se considera que el requisito anterior se cumple automáticamente.

73.13.5.1. Soldadura al arco de cordones de ángulo

La resistencia de los cordones en ángulo laterales, paralelos a la dirección del esfuerzo, depende de la separación entre los mismos, coincidente con el ancho b de la pletina o banda soldada.

Si la longitud del cordón es tal que $L_{w,s} \leq b$:

$$F_{w,Rd} = tL_{w,s} \left(0,9 - 0,45 \frac{L_{w,s}}{b} \right) \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Si la longitud del cordón es $L_{w,s} > b$:

$$F_{w,Rd} = 0,45tb f_u / \gamma_{M2}$$

Para un cordón frontal y con $L_{w,s} \leq b$:

$$F_{w,Rd} = tL_{w,e} \left(1 - 0,30 \frac{L_{w,e}}{b} \right) \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{siendo } L_{w,e} \text{ la longitud del cordón frontal extremo.}$$

En un conjunto de cordones laterales y frontales debe determinarse previamente el centro de gravedad y referir a él los esfuerzos que transmite el elemento. Las longitudes

efectivas de los cordones coincidirá con la geométrica incluyendo los remates de esquina, sin reducción por principio o final de soldadura.

Los cordones de soldadura de longitud inferior a 8 veces el espesor de la chapa más fina no tendrán la consideración de cordones estructurales.

73.13.5.2. Soldadura de arco de puntos

Al igual que en la soldadura de puntos, por fusión o resistencia, tratada en 73.13.4, sólo se permite la transmisión de esfuerzos cortantes, en el plano de la chapa. El espesor suma de chapas no debe ser superior a 4 mm y el diámetro de cálculo en la zona de la unión d_s no debe ser inferior a 10 mm.

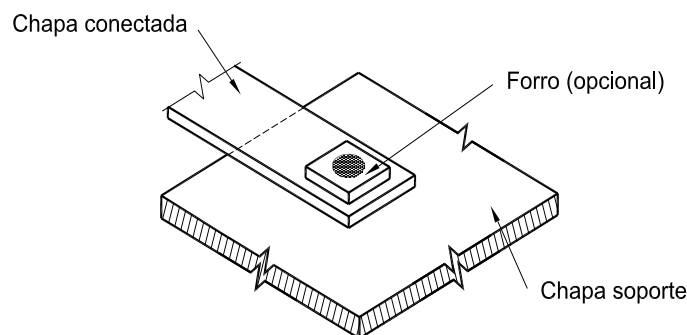


Figura 73.13.5.2.a. Soldadura de arco por puntos con forro

Las fórmulas a aplicar dependen del área de contacto entre chapas y del área lateral perimetral, a lo largo del borde, caracterizada por el denominado diámetro perimetral d_p . Ambos valores se obtendrán a partir del diámetro superficial d_w que se obtiene en la chapa o forro de soldadura más exterior.

$$d_p = d_w - t \quad \text{para dos chapas}$$

$$d_p = d_w - 2\sum t \quad \text{para varias chapas}$$

$$d_s = 0,7d_w - 1,5\sum t > 0,55d_w$$

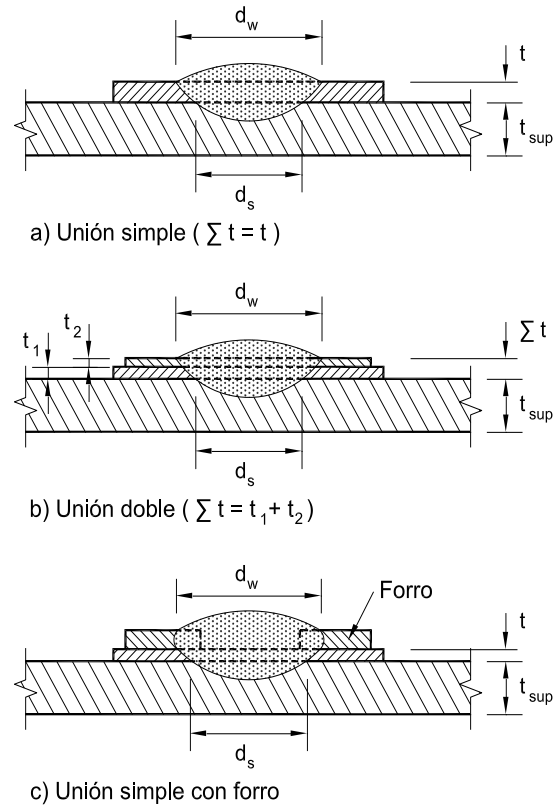


Figura 73.13.5.2.b. Posiciones de soldadura de arco por puntos

La distancia a bordes libres extremos del último punto de soldadura debe ser suficiente para evitar el aplastamiento local, comprobándose entonces que:

$$e_{\min} \geq 2,1 \frac{F_{w,Ed}}{t \frac{f_u}{\gamma_{M2}}}$$

siendo $F_{w,Ed}$ el cortante de cálculo sobre el punto de soldadura, que debe ser inferior a:

$$F_{w,Rd} = 0,625(\pi/4)d_s^2 f_{uw} / \gamma_{M2}$$

siendo f_{uw} la resistencia última del material del electrodo.

El valor de $F_{w,Rd}$ está limitado por la resistencia perimetral según los siguientes casos:

a) Si $\frac{d_p}{\sum t} \leq 18 \sqrt{\frac{420}{f_u}}$:

$$F_{w,Rd} = 1,5 d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

b) Si $18 \sqrt{\frac{420}{f_u}} < \frac{d_p}{\sum t} < 30 \sqrt{\frac{420}{f_u}}$:

$$F_{w,Rd} = 27 \sqrt{\frac{420}{f_u}} (\sum t)^2 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$c) \text{ Si } \frac{d_p}{\sum t} \geq 30 \sqrt{\frac{420}{f_u}} : \quad F_{w,Rd} = 0,9d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

Las soldaduras alargadas de tipo ranura de longitud L_w tienen una capacidad limitada por el mínimo de las formulas siguientes:

$$\text{En el contacto de chapas: } F_{w,Rd} = \left(\left(\frac{\pi}{4} \right) d_s^2 + L_w d_s \right) 0,625 \frac{f_{uw}}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{En la superficie perimetral: } F_{w,Rd} = (0,5L_w + 1,67d_s) \sum t \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Artículo 74 Mallas

74.1. Estructuras tubulares

Los perfiles tubulares se fabrican con aceros similares a los utilizados para otros tipos de perfiles de acero, por lo que en principio no existe diferencia alguna entre ellos; las propiedades mecánicas y resistentes se dan según parámetros estandarizados. En el Capítulo VI, en los apartados 28.2 y 28.3 se presentan los perfiles huecos laminados en caliente y conformados en frío, respectivamente. En lo referente al análisis estructural, aplica todo lo recogido en el Capítulo V, y lo recogido en este mismo Capítulo, en aquello que concierne al análisis de estructuras trianguladas o de celosía. Asimismo, el dimensionamiento y comprobación de elementos estructurales de sección tubular se lleva a cabo mediante la consideración de los estados límite últimos, recogidos en el Capítulo IX, y de los estados límite de servicio, recogidos en el Capítulo X.

Por otra parte, cuando se proyectan mallas, en general, o estructuras tubulares, ya sean espaciales o planas, es importante tener en cuenta el comportamiento de los nudos desde un principio. En el Artículo 64 de esta Instrucción se ofrecen los principios y reglas que permiten llevar a cabo un dimensionamiento adecuado de las uniones entre elementos de sección tubular. Asimismo, en el Capítulo XI se recogen los detalles constructivos de uniones en estructuras tubulares susceptibles de ser analizados frente a fatiga.